



CivilCAD2000

MANUAL DEL USUARIO

MÓDULO DE PUENTES MIXTOS

Versión 4.0

El presente documento es propiedad intelectual de *CivilCAD Consultores, S.L.* Queda totalmente prohibida su reproducción total o parcial, su tratamiento informático o la transmisión del mismo por cualquier medio electrónico, mecánico u otros métodos sin el permiso previo y por escrito de *CivilCAD Consultores, S.L.*

Barcelona, enero de 2015

MÓDULO DE PUENTES MIXTOS

El objetivo de este capítulo es exponer el funcionamiento del módulo que permite desarrollar el proyecto de un puente mixto.

A lo largo de este capítulo se abordan las temáticas siguientes:

- 1 ALCANCE DEL MODULO
- 2 ESTRUCTURA DEL MODULO
- 3 ENTRADA DE DATOS
- 4 CÁLCULOS REALIZADOS
- 5 SALIDA DE RESULTADOS

1 ALCANCE DEL MODULO

CivilCAD2000, en el presente módulo, ofrece al usuario la posibilidad de proyectar un puente mixto, esto es, constituido por un cajón metálico multicelular y una losa de hormigón unidos mediante conectadores. El puente se representa mediante una directriz de barras de trazado recto o curvo.

El puente puede tener una sección variable longitudinalmente y un número cualquiera de vanos de longitud variable. El usuario puede definir un proceso constructivo con libertad para escoger los tramos de viga y losa a ejecutar en cada fase y los apeos a disponer provisionalmente. Permite contemplar puentes de carretera y ferrocarril.

Sobre el puente se aplican las cargas siguientes:

- Peso propio (construcción por fases)
- Superestructura
- Sobrecarga repartida
- Carro de cargas puntuales (carretera) o tren de cargas ferroviario
- Temperatura
- Descenso de apoyos
- Retracción del Hormigón
- Acción vertical del viento
- Acción sísmica vertical

El usuario puede elegir, de entre las opciones disponibles en la biblioteca de materiales, el hormigón para las losas superior e inferior y el acero para el cajón, los rigidizadores y la armadura pasiva.

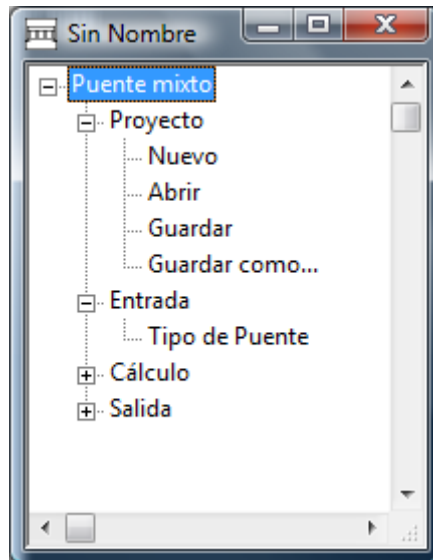
CivilCAD2000 realiza el cálculo de esfuerzos causados por las acciones de acuerdo con los criterios establecidos en la “*Instrucción de Acciones en Puentes*” (IAP) o “*Instrucción de Acciones en Puentes de ferrocarril*” (IAPF) y las “*Recomendaciones para el proyecto de Puentes Mixtos para Carreteras*” (RPX-95). Estas normas son tomadas también como guía para evaluar las tensiones máximas y mínimas que se dan a lo largo del puente y para obtener el flector, cortante y torsor últimos en una sección cualquiera. El programa permite asimismo obtener diagramas de interacción.

El usuario puede obtener figuras, cuadros y archivos de listados para documentar los cálculos realizados, así como una memoria de cálculo completa.

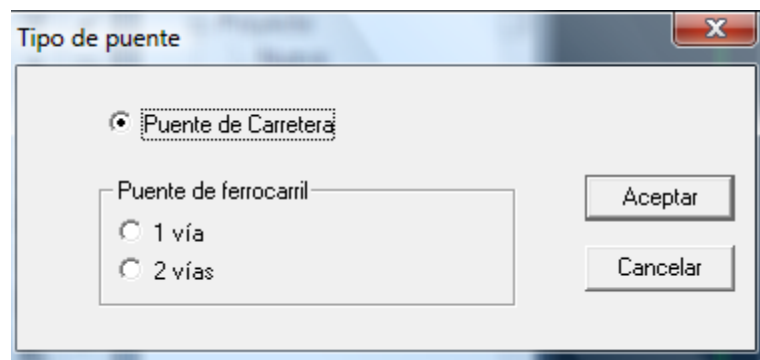
2 ESTRUCTURA DEL MODULO

Al módulo de Puentes mixtos se accede al seleccionar la orden " *Proyecto – Puentes mixtos* " del menú principal del programa o bien pinchando el botón correspondiente de la Barra de Proyectos. Al hacerlo, se abre la ventana de proyecto que permite activar las órdenes de dicho módulo.

Estas órdenes están estructuradas según el siguiente esquema:



En primer lugar es necesario acceder al diálogo 'Tipo de puente' para seleccionar si se trata de un puente de carretera, o de ferrocarril con una o dos vías.



Una vez seleccionado el tipo de puente se desplegará la totalidad del menú principal:

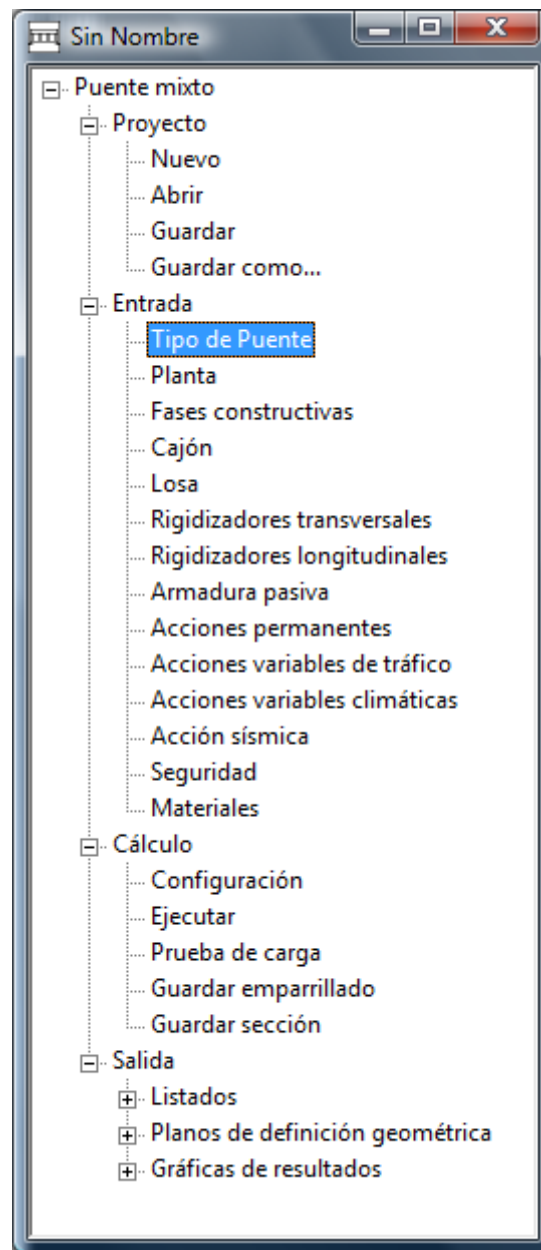


Figura 2-1: Ventana del proyecto de puentes mixtos.

2.1 Ordenes de Proyecto.

Permiten abrir o guardar un proyecto o crear uno nuevo. La extensión de los archivos será del tipo “*.mix”

2.2 Ordenes de Entrada.

Se trata de la entrada de datos para la definición geométrica del puente mixto y para la definición de los parámetros que intervienen en el cálculo.

Permiten abrir y modificar los diálogos de definición del cajón, la losa, los rigidizadores, las fases constructivas, las armaduras pasivas, las características de los materiales, y de las acciones sobre el puente.

2.3 Ordenes de Cálculo.

Sirven para configurar los parámetros de cálculo y ejecutar el cálculo. Así mismo permiten guardar los emparrillados generados y las secciones transversales para ser analizados con los módulos de Barras y de secciones mixtas de *CivilCAD2000*.

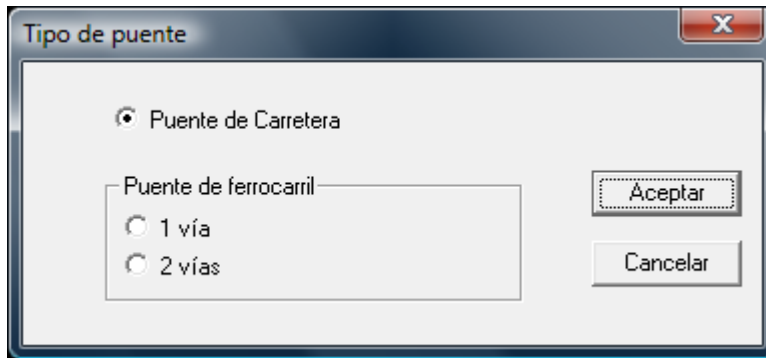
2.4 Ordenes de Salida.

Se utilizan para obtener los listados, las figuras de definición geométrica y las gráficas de resultados.

3 ENTRADA DE DATOS

3.0 Tipo de puente

A través de este cuadro de diálogo, *CivilCAD2000* pregunta al usuario el tipo de puente a proyectar.



En función del tipo escogido, la entrada de datos mostrará unas u otras opciones.

3.1 Definición en planta

El puente se representa en planta mediante su directriz. Esta se define a su vez con una polilínea de puntos correlativos seleccionados por el usuario. La elección de los puntos viene condicionada por los siguientes aspectos del funcionamiento del programa:

- Un segmento es una línea que une dos puntos consecutivos de la directriz. El programa calcula los esfuerzos en el puente mixto realizando un cálculo matricial en el que los nodos son los puntos de la directriz y las barras son los segmentos de la misma. El usuario puede obtener resultados (esfuerzos y desplazamientos) en los puntos de la directriz que él defina.
- En el apartado de definición de las condiciones de apoyo del puente, el programa permite imponer coacciones al tablero en puntos de la directriz. Ello se refiere tanto a los apoyos definitivos como a los apeos provisionales dispuestos en una fase constructiva. Los ejes de apoyo se definen en el subdiálogo 'Ejes de apoyo', en el que el usuario debe asignar en aquellos nodos donde habrá apoyos provisionales o definitivos, el esviaje del apoyo respecto a la directriz del puente y la distancia de los apoyos a dicha directriz.

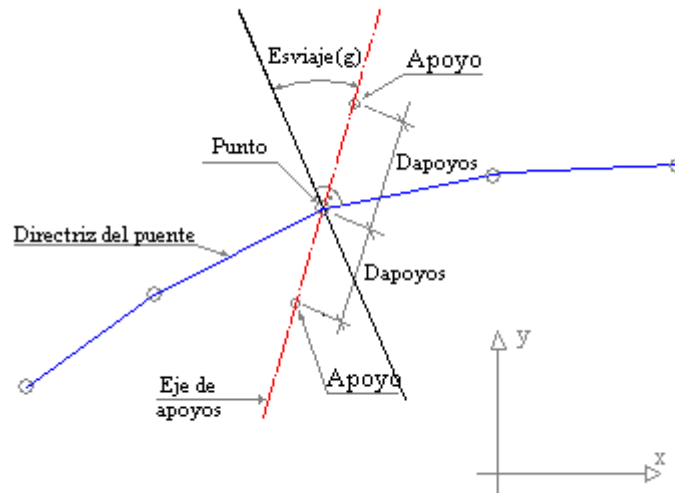


Figura 3.1-1: Definición de los ejes de apoyos.

- Al definir las fases constructivas del puente, *CivilCAD2000* pide al usuario que indique en qué fase se dispone la viga metálica y se hormigonan las losas superior e inferior de hormigón. El usuario puede tramificar la colocación del cajón o los hormigonados definiéndolos por segmentos de la directriz. Por tanto, hay que situar puntos de definición de la directriz en los inicios y finales de los tramos constructivos del puente.

El programa sitúa la directriz del puente en el plano $x - y$. Las cargas verticales siguen con ello la dirección del eje z . Un eje auxiliar, el s , va siguiendo la directriz del puente. La coordenada s sirve por tanto para referenciar una sección transversal del puente. Ver figura 3.1-2.

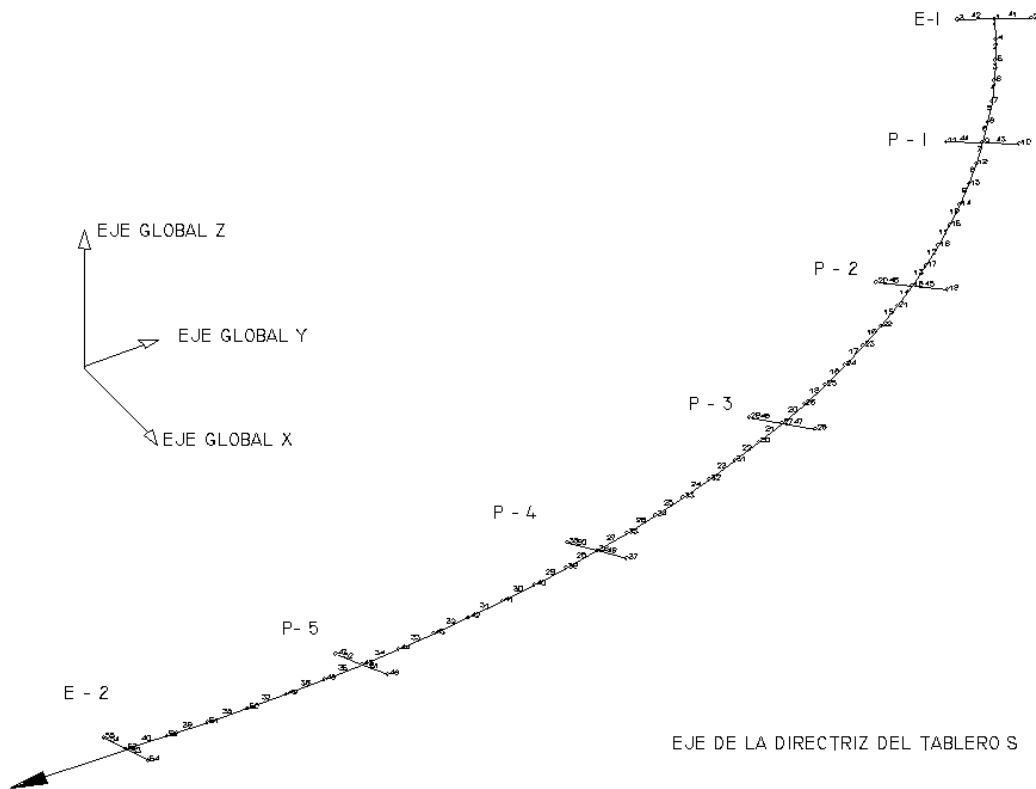


Figura 3.1-2: Disposición de los ejes globales.

Finalmente, en el diálogo de Planta, Civilca2000 permite definir las condiciones de vinculación al giro de los dos extremos del puente respecto a los ejes X e Y, ya sea impidiendo el giro, liberándolo o imponiendo una coacción elástica (muelle), para lo que se deberá introducir su constante elástica en mt/rad .

3.2 Las Fases constructivas

Las fases constructivas se introducen en el diálogo ‘Fases constructivas’.

3.2.1 El calendario de ejecución del puente

CivilCAD2000 permite considerar la posibilidad de una ejecución del puente mixto por fases. Dado que la sección del puente está constituida por 3 elementos (cajón metálico, losa superior y losa inferior, ésta última opcional), el usuario tiene que indicar cuándo se dispone cada uno de ellos en el tiempo. Asimismo habrá que considerar la disposición y retirada de los apoyos, provisionales o definitivos, para una correcta evaluación de los esfuerzos durante el proceso constructivo.

Por todo ello, el usuario debe, en primer lugar, elegir el número de fases constructivas que se prevén en su puente, teniendo en cuenta los siguientes criterios:

- Si en una fase se dispone un tramo de cajón metálico, éste se considera resistente en la propia fase en que se dispone y en las siguientes.
- Si se hormigona un tramo de losa superior o inferior en una fase constructiva, no se considerará resistente (es decir, fraguado) hasta la siguiente fase en que hubiera sido dispuesto. Si el hormigonado tuviera lugar en la última fase constructiva, *CivilCAD2000* considerará el hormigón como resistente ante todas las acciones posteriores (superestructura, cargas de tráfico, etc.), pero no en la propia fase en que se hormigonará (la última).
- Si de la fase anterior a la actual ha habido un cambio en las condiciones de apoyo, *CivilCAD2000* aplica una carga igual a menos la suma de reacciones habidas en dicho apoyo durante las fases anteriores. El programa permite suprimir apoyos, pero no añadirlos.

La definición del proceso constructivo se realiza al ejecutar la opción “*Fases constructivas*” y definiendo para dicho proceso constructivo

- 1) El número de fases constructivas del puente y el día de ejecución de cada una de ellas (el día \emptyset debe corresponder al de la primera fase). *CivilCAD2000* permite introducir un texto que identifique la fase (nombre de la fase).
- 2) El número de días transcurridos entre el hormigonado y la entrada en carga del hormigón a efectos de evaluación de la fluencia.

3.2.2 El proceso constructivo

La definición del proceso constructivo pasa por la determinación de en qué fase se ejecutan los distintos elementos del puente (cajón y losas). Al invocar la orden “*Fases constructivas*” aparece un cuadro de diálogo en el que el usuario debe entrar, para cada segmento del puente (esto es, para cada tramo entre dos puntos de la directriz), la fase constructiva en que se dispone el cajón metálico, se hormigona la losa inferior y se hormigona la losa superior. En aquellos segmentos para los que no se haya previsto la existencia de una losa inferior, puede escribirse un valor nulo en la casilla correspondiente a la losa inferior. En los demás casos, en la casilla debe anotarse un número comprendido entre 1 y el número total de fases constructivas, ambos inclusive.

3.2.3 Las condiciones de apoyo

Dentro de la opción “*Fases constructivas*”, el usuario puede definir la historia de coacciones del puente a lo largo del proceso constructivo. Existe un cuadro de diálogo en el que el usuario puede elegir la coacción a imponer en cada punto de la directriz en cada fase constructiva. Las posibilidades son las siguientes:

- Inexistencia de coacción en el punto correspondiente (Libre).
- Coacción solo en el desplazamiento vertical. Se impide el movimiento vertical (equivale a un apoyo único).
- Coacción frente a movimiento vertical y a giro torsional. Se coacciona el movimiento vertical y el giro a torsión (equivale a un apoyo doble). *CivilCAD2000* dispone los dos puntos de apoyo según el esviaje del eje de apoyos y la distancia a la directriz definida en el diálogo de Planta.
- Muelle vertical. Se coacciona elásticamente el movimiento vertical. En este caso el usuario debe introducir en el dialogo inferior ‘Constantes elásticas de los muelles’ el valor de la constante elástica en t/m.
- Muelle vertical y giro torsional. Se coacciona elásticamente el movimiento vertical y el giro a torsión. Dicha coacción se materializa mediante dos muelles elásticos situados en cada uno de los dos puntos separados de la directriz en que el programa sitúa los apoyos. La distancia entre los apoyos y el punto de la directriz, así como su esviaje, corresponde a los valores introducidos por el usuario en el diálogo Planta

Si se desea mantener una coacción en un punto durante varias fases constructivas, hay que especificarlo así en las casillas correspondientes a todas las fases elegidas.

Tal como se ha explicado anteriormente, si el usuario retira una coacción en un punto existente hasta la fase anterior, el programa aplicará en la fase actual una carga igual a la reacción acumulada en ese punto, pero con signo contrario. Ello ocurre también si se pasa

de un apoyo coaccionado a torsión a uno coaccionado verticalmente, en lugar de a uno sin ningún tipo de coacción directamente.

El programa permite retirar coacciones al puente, pero no así añadirselas. Es decir, el índice que indica la coacción en cada punto no puede aumentar de una fase a otra.

La coacción del giro torsión de un determinado nodo se materializa imponiendo movimiento vertical nulo a los dos apoyos situados en el eje de apoyos que pasa por dicho nodo (y separados una distancia 'd' de la directriz), y que previamente se ha definido en el cuadro de diálogo de Planta.

3.3 La sección transversal

3.3.1 La forma de la sección

La sección transversal del puente está constituida por un cajón metálico y una losa superior de hormigón. Opcionalmente puede definirse una losa inferior de hormigón por tramos. En las almas y en la ala inferior del cajón cabe definir la presencia de rigidizadores longitudinales. También pueden definirse rigidizadores transversales a lo largo del puente.

Por último, el usuario debe completar la entrada de datos de la armadura pasiva de la losa superior. En la figura siguiente se presenta la sección transversal del puente mixto.

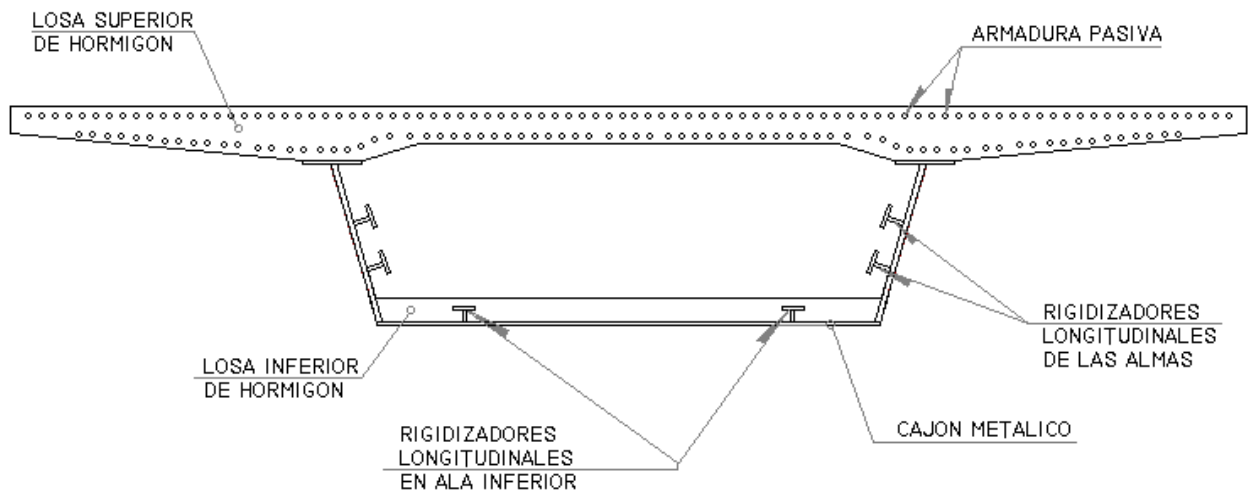


Figura 3.3.1-1: Sección transversal del puente.

3.3.2 El Cajón Metálico

CivilCAD2000 permite escoger entre dos tipologías de cajón metálico:

- Cajón metálico multicelular abierto
- Cajón metálico multicelular cerrado

En las siguientes figuras se muestran dichas tipologías.

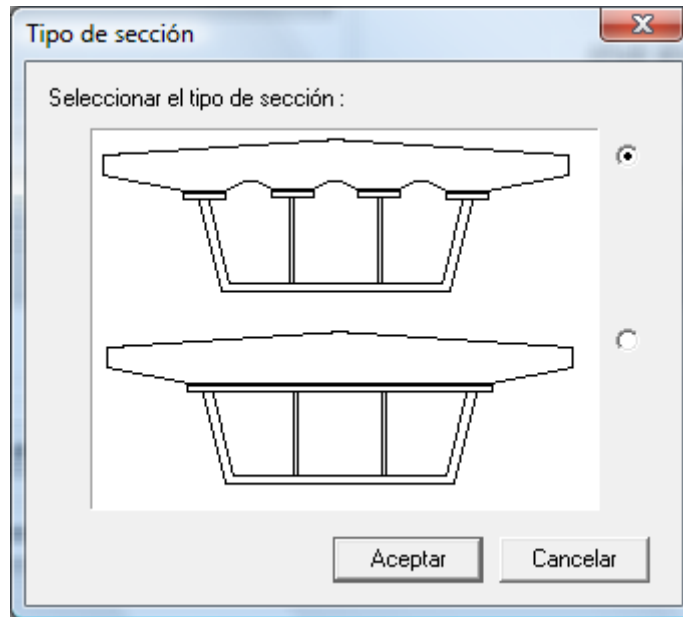


Figura 3.3.2-1: Diálogo de selección del tipo de cajón metálico.

La definición geométrica del cajón metálico se realiza al seleccionar la opción “Cajón”. Al hacerlo, el usuario debe definir la forma y los espesores del cajón, que describimos a continuación.

- Forma del cajón

Los parámetros a introducir para la sección multicelular abierta son los definidos en la Figura 3.3.2-2.

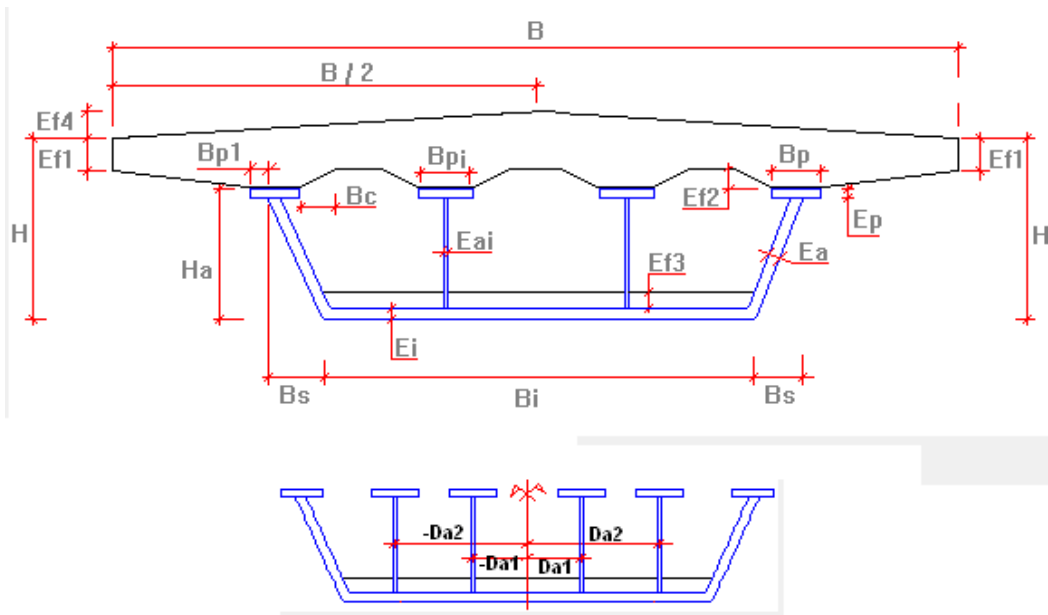


Figura 3.3.2-2: Sección transversal del puente (cajón multicelular abierto).

Permite definir al usuario los valores de H_a (canto), B_i (ancho del ala inferior), B_s (desplome de la cara lateral), B_p (ancho de las alas superiores correspondientes a las almas exteriores) y B_{pi} (ancho de las alas superiores correspondientes a las almas interiores). La definición puede hacerse por tramos (opción "Añadir tramo/ Eliminar tramo"), debiendo introducir el usuario la longitud de cada tramo y el valor de los anteriores parámetros en los inicios de los tramos. La suma total de longitudes deberá coincidir con la longitud de la directriz (facilitada por el programa al activar la opción). La unidad a utilizar es el m.

Los parámetros a introducir para la sección multicelular cerrada son los definidos en la Figura 3.3.2-3.

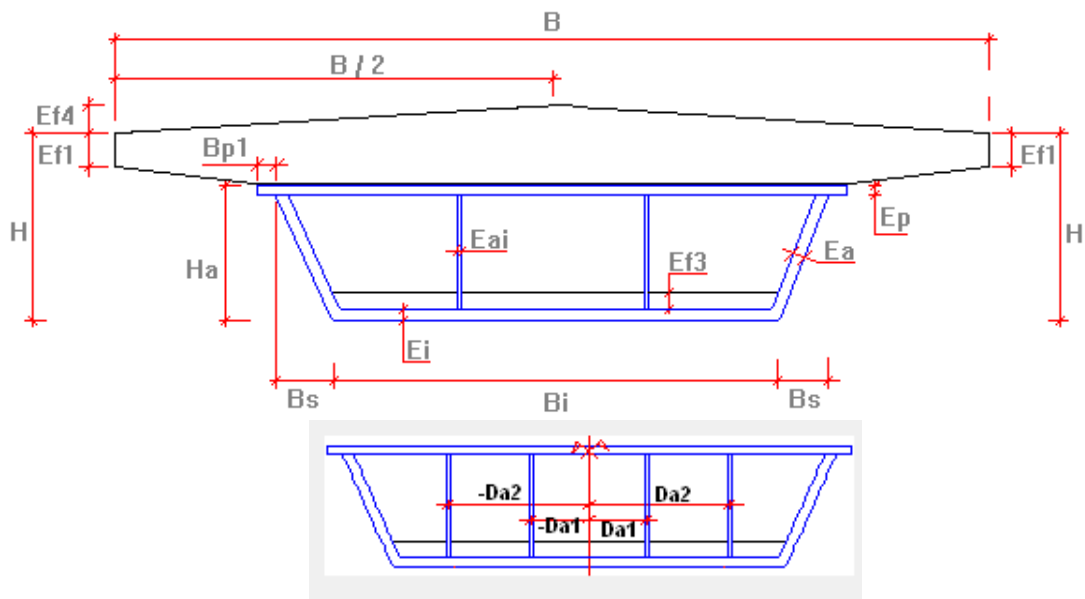


Figura 3.3.2-3: Sección transversal del puente (cajón multicelular cerrado).

Permite definir al usuario los valores de H_a (canto), B_i (ancho del ala inferior), B_s (desplome de la cara lateral) y B_{pl} (ancho del alas superior que sobresale de las almas exteriores).

La definición puede hacerse por tramos (opción “*Añadir tramo/ Eliminar tramo*”), debiendo introducir el usuario la longitud de cada tramo y el valor de los anteriores parámetros en los inicios de los tramos. La suma total de longitudes deberá coincidir con la longitud de la directriz (facilitada por el programa al activar la opción). La unidad a utilizar es el m.

Si se desea que varíen a lo largo de un tramo, se dispone en el apartado “*Variación de la forma*” para entrar los coeficientes de variación polinómica a lo largo de la directriz.

La expresión que utiliza *CivilCAD2000* para evaluar un parámetro variable longitudinalmente es la siguiente:

$$x(s) = x_0 + a * s + b * s^2 + c * s^3$$

, donde:

s es la distancia del punto considerado al inicio del tramo.

x es el valor de la variable considerada en el punto.

x_0 es el valor en el inicio del tramo.

a , b y c son los coeficientes de variación entrados por el usuario.

- *Almas intermedias*

El número de almas intermedias y su posición respecto al eje de la sección se define en el cuadro del subdiálogo *Almas intermedias*. Para cada tramo, el usuario debe añadir las almas intermedias que desee con la opción *Añadir ala intermedia* definiendo la distancia de cada una de ellas al eje de la sección. La única condición es que las alas intermedias han de ser simétricas respecto al eje de la sección. Las almas se deben introducir ordenadamente de izquierda a derecha.

- *Espesor*

Permite definir al usuario los valores de E_a (espesor de las almas exteriores), E_{ai} (espesor de las almas interiores), E_i (espesor del ala inferior), y E_p (espesor de las alas superiores) en mm (ver figuras 3.3.2-2 y 3.3.2-3). Al igual que en el caso de la forma, los espesores del cajón pueden tramificarse y hacerse variables a lo largo de un tramo cualquiera. La tramificación definida para los espesores no tiene porqué coincidir con la definida para la forma del cajón. Usar “*Añadir tramo/ Eliminar tramo*” y luego “*Variación del espesor de las chapas*”.

- *Espesor de la chapa de rigidización torsional.*

Este diálogo aparece únicamente para las secciones multicelulares abiertas. En él, el usuario puede definir para cada una de las fases constructivas del puente en la que la sección del tablero es abierta (es decir, la losa superior aún no es resistente) el espesor (en mm) de una chapa superior ficticia (que simule los arriostramientos superiores), de forma que a efectos torsionales únicamente, la sección pasa a ser cerrada. Como es sabido, la inercia torsional de una sección abierta es muy baja, por lo que en las fases constructivas dará lugar a fuertes giros y tensiones altas en el acero. La consideración de la rigidización del ala superior permite evitar estos efectos.

3.3.3 La losa superior de hormigón

La definición de la losa superior se realiza al seleccionar la opción “Losa”. Al hacerlo, el usuario debe definir la anchura y canto de la losa.

- *Anchura de la Losa*

Permite definir al usuario el valor de B (anchura total de la losa). En las secciones de cajón multicelular abierto se debe introducir además el valor de B_c (anchura de las cartelas interiores) en m (ver figuras 3.3.3-1 y 3.3.3-2). La definición de los valores de estos parámetros se realiza con los mismos criterios que en el cajón. Usar “*Añadir tramo/ Eliminar tramo*” y luego “*Variación del ancho superior de la losa*”.

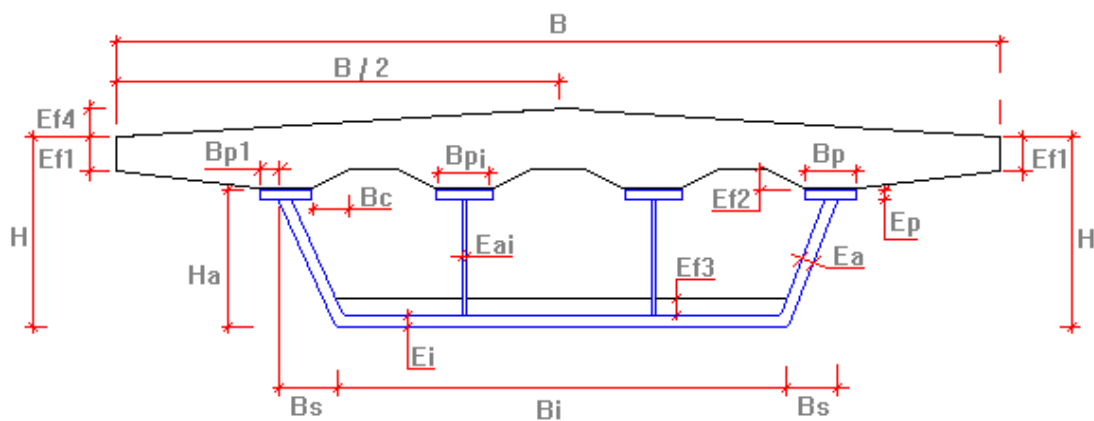


Figura 3.3.3-1: Sección transversal del puente (cajón multicelular abierto).

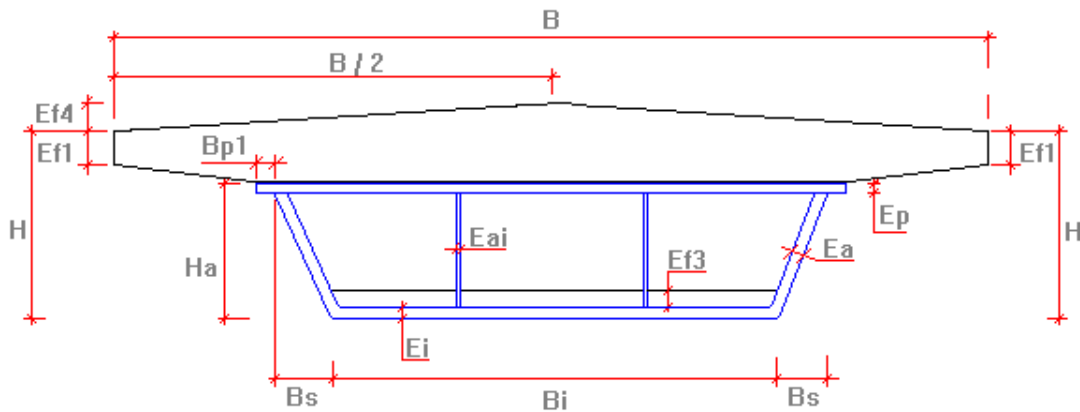


Figura 3.3.3-2: Sección transversal del puente (cajón multicelular cerrado).

- *Canto de la Losa superior*

Cabe dar los valores de H (canto total de la sección en el borde del voladizo), E_{f1} (canto de la losa en el extremo del voladizo), E_{f2} (retranqueo del espesor de la losa por las cartelas interiores – solo en los cajones abiertos-) y E_{f4} (bombeo de la losa en su centro) en m (ver figuras 3.3.3-1 y 3.3.3-2). Al igual que para la anchura, la definición de los parámetros anteriores puede tramificarse. También se puede hacer que sean variables a lo largo de un tramo cualquiera.

3.3.4 La losa inferior de hormigón

Opcionalmente, el usuario puede definir la presencia de una losa de hormigón sobre el ala inferior del cajón. Ello se realiza al seleccionar la opción “Losa”. Para su definición, el usuario debe entrar:

- *Los Tramos de definición de la losa inferior.*

El usuario debe indicar la coordenada s (según el eje de la directriz) del inicio y final de cada tramo donde desea que exista losa inferior.

- *El valor del parámetro E_{f3} .*

Canto de la losa inferior en m en el inicio de cada tramo (ver figura 3.3.2-2 y 3.3.2-3).

- *Los coeficientes de variación polinómica.*

En caso de desear que el canto no sea constante, se deben definir los coeficientes de variación polinómica del mismo modo que en los apartados anteriores.

3.3.5 Los rigidizadores transversales

Al seleccionar la opción *Rigidizadores transversales*, *CivilCAD2000* permite definir los rigidizadores transversales, las cartelas superiores y la anchura de la conexión cajón-losa en el caso de conexión densa.

- *Rigidizadores transversales*

El usuario puede definir los rigidizadores transversales separados entre sí una cierta distancia a lo largo de la directriz. Esta distancia puede ser definida por tramos.

El usuario puede definir el número de rigidizadores transversales previstos *en el interior* de cada tramo, es decir, sin incluir los rigidizadores que el programa situará en los extremos de cada tramo. Por tanto, siempre que no defina como mínimo un tramo, *CivilCAD2000* considerará rigidizadores transversales en los estribos. Los rigidizadores serán equidistantes en el interior de cada tramo. También hay que dar el peso en toneladas de cada rigidizador transversal para cada uno de los tramos. Al rigidizador común a dos tramos se le asocia el peso del tramo con numeración impar de los tramos que limita.

Por último, *CivilCAD2000* pide al usuario que determine si el rigidizador transversal que se emplazará sobre los apoyos en los estribos es un rigidizador sin capacidad, simple o doble (según establece la clasificación de la RPX-95 en el apartado 6.3.3.2.3). En el caso de seleccionar la opción de rigidizador simple, se deberá introducir el ancho y espesor del rigidizador en metros y su límite elástico en t/m².

- *Cartela superior*

CivilCAD2000 permite introducir una cartela superior entre las almas exteriores y el ala superior. Esta cartela queda definida por los tres parámetros indicados en la figura 3.3.5-1. Dichos valores se deben introducir en metros.

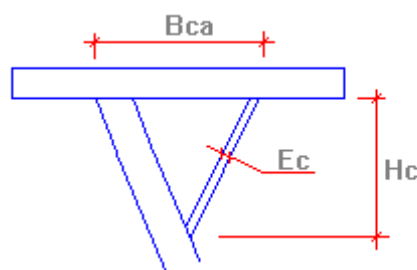


Figura 3.3.5-1: Definición de la cartela superior.

- *Conexión densa losa-cajón*

En este apartado *CivilCAD2000* permite definir el ancho de una conexión densa entre el cajón metálico y la losa de hormigón.

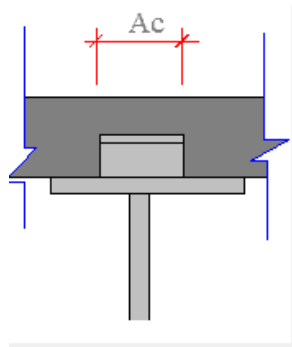


Figura 3.3.5-2: Definición de la anchura de una conexión densa.

La conexión densa, así como la cartela superior, influyen en la obtención de las anchuras eficaces. Si existe una conexión densa (tacos o similares) o una cartela superior, el ancho eficaz elástico se incrementa con el ancho de la mayor anchura de la conexión o de la cartela.

Caso 1: *Alma sin cartela superior y con conexión densa:*

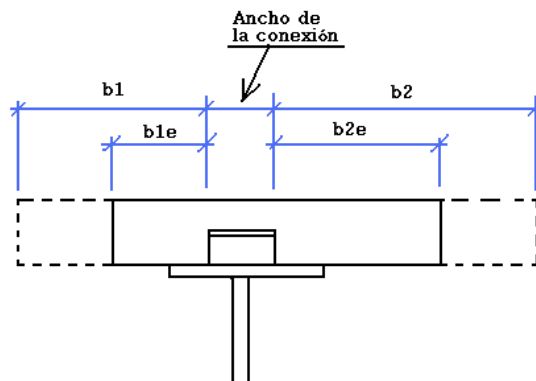


Figura 3.3.5-3: Definición del ancho eficaz con conexión densa sin cartela superior.

La conexión se sitúa centrada con el alma (no con la platabanda superior).

Caso 2: *Alma con cartela superior de anchura inferior a la de la conexión:*

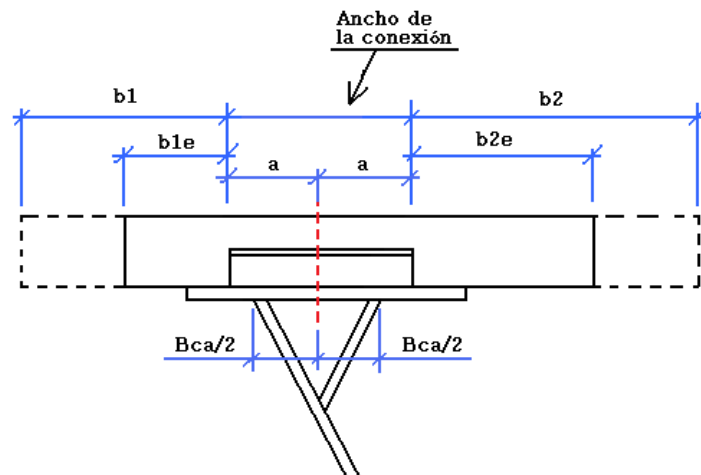


Figura 3.3.5-4: Definición del ancho eficaz con conexión densa y con cartela superior.

La conexión se sitúa centrada con el punto medio de la cartela superior

Caso 3: Alma con cartela superior de anchura superior a la de la conexión:

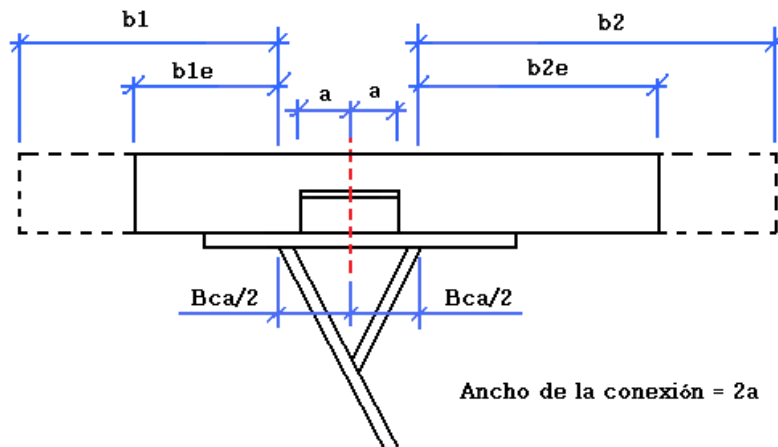


Figura 3.3.5-5: Definición del ancho eficaz con conexión densa y con cartela superior.

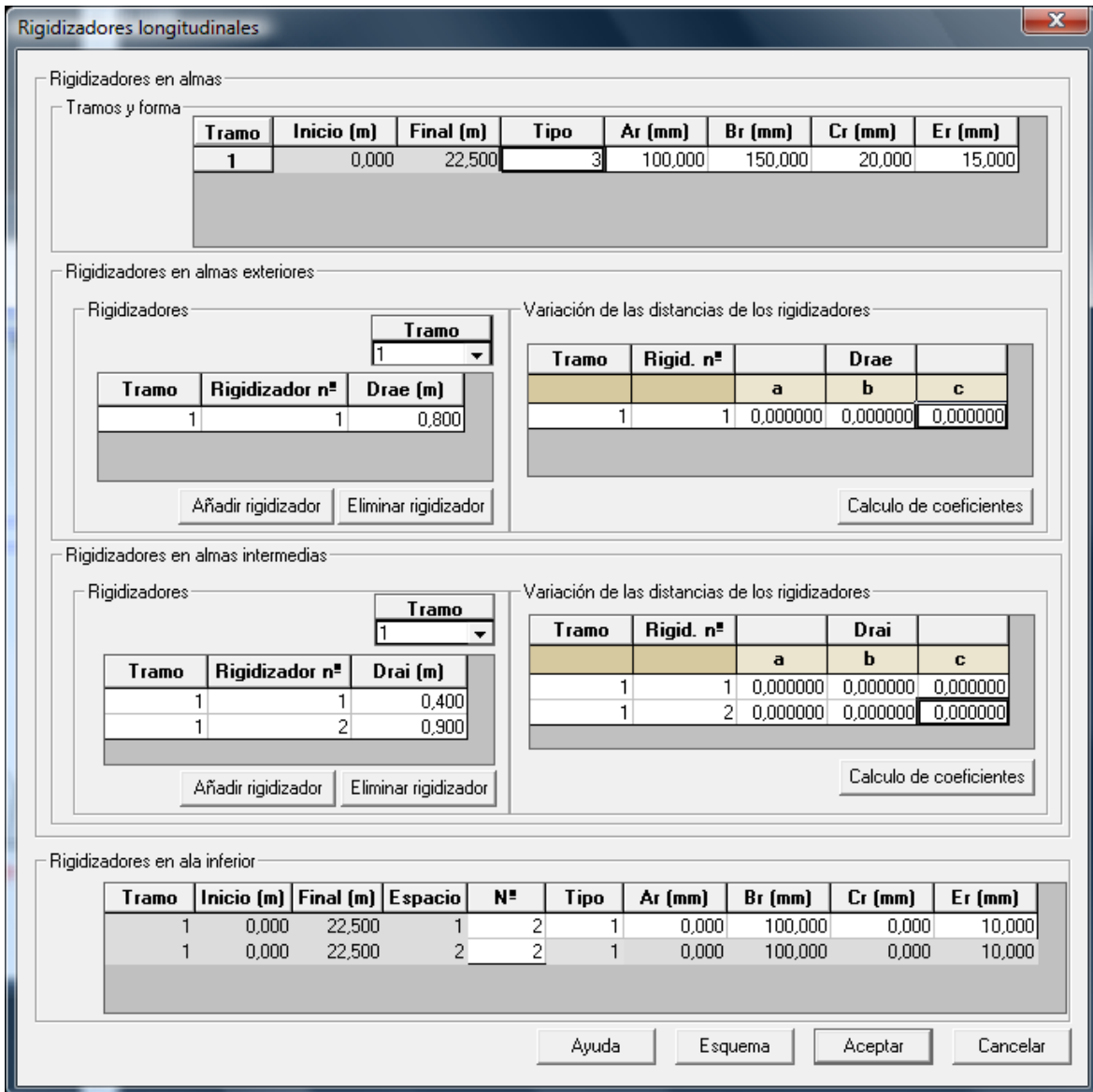
La conexión se sitúa centrada con el punto medio de la cartela superior

3.3.6 Los rigidizadores longitudinales

CivilCAD2000 permite al usuario definir la existencia de rigidizadores en el cajón metálico. Se permite definir rigidizadores distintos en las almas y en el ala inferior del cajón metálico.

Los tramos en que se definen los rigidizadores longitudinales coinciden con los tramos de definición del cajón metálico.

Para introducir los rigidizadores longitudinales se debe activar la opción “*Rigidizadores longitudinales*”, apareciendo el siguiente diálogo:



Rigidizadores longitudinales

Rigidizadores en almas

Tramos y forma

Tramo	Inicio (m)	Final (m)	Tipo	Ar (mm)	Br (mm)	Cr (mm)	Er (mm)
1	0,000	22,500	3	100,000	150,000	20,000	15,000

Rigidizadores en almas exteriores

Rigidizadores

Tramo: 1

Tramo	Rigidizador nº	Drae (m)
1	1	0,800

Variación de las distancias de los rigidizadores

Tramo	Rigid. nº	a	b	c
1	1	0,000000	0,000000	0,000000

Rigidizadores en almas intermedias

Rigidizadores

Tramo: 1

Tramo	Rigidizador nº	Drai (m)
1	1	0,400
1	2	0,900

Variación de las distancias de los rigidizadores

Tramo	Rigid. nº	a	b	c
1	1	0,000000	0,000000	0,000000
1	2	0,000000	0,000000	0,000000

Rigidizadores en ala inferior

Tramo	Inicio (m)	Final (m)	Espacio	Nº	Tipo	Ar (mm)	Br (mm)	Cr (mm)	Er (mm)
1	0,000	22,500	1	2	1	0,000	100,000	0,000	10,000
1	0,000	22,500	2	2	1	0,000	100,000	0,000	10,000

Ayuda Esquema Aceptar Cancelar

Figura 3.3.6-1: Cuadro de diálogo de definición de los rigidizadores longitudinales.

- *Rigidizadores longitudinales en las almas.*

El usuario debe definir el tipo y las dimensiones de los rigidizadores a disponer en las almas. El programa da a elegir entre 4 tipos de rigidizadores (planos, en T, en L y cerrados), tal como se muestra en la figura 3.3.6-2. En dicha figura se representan también las dimensiones geométricas a entrar para cada tipo de rigidizadores, en milímetros.

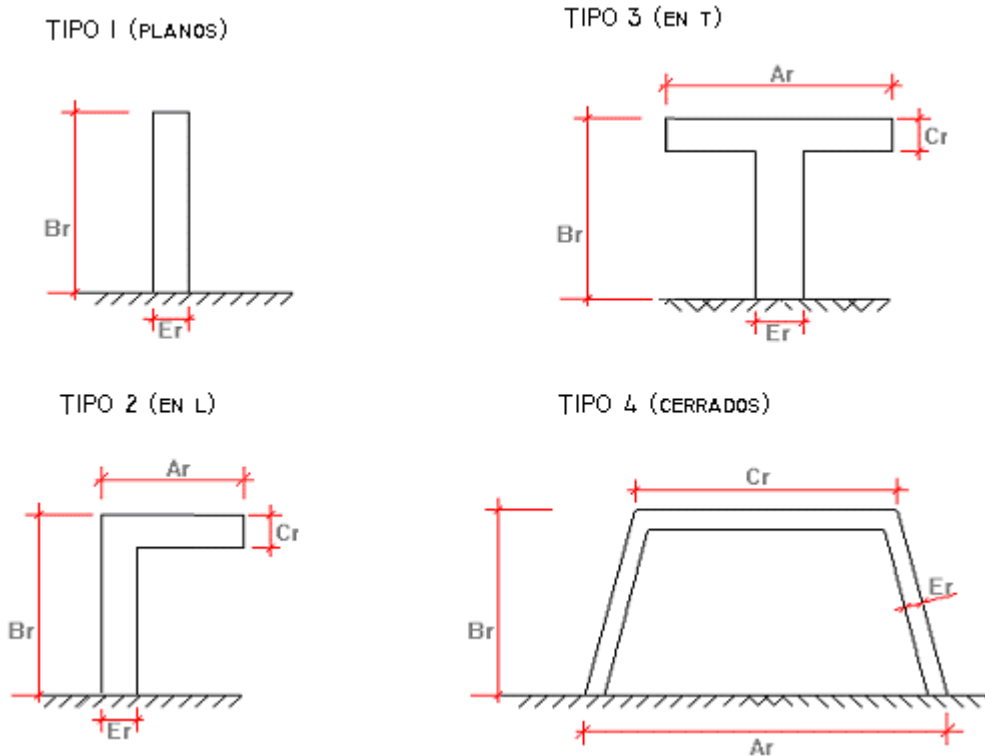


Figura 3.3.6-2: Sección transversal de los rigidizadores longitudinales. Parámetros de definición de la forma geométrica.

A continuación, el usuario puede añadir cuantos rigidizadores desee en las almas exteriores, dando la altura del rigidizador respecto a la cara inferior del cajón metálico.

Deberá hacer lo mismo para definir el número y posición de los rigidizadores de las almas interiores, que pueden ser distintos (en número y posición) a los de las almas exteriores.

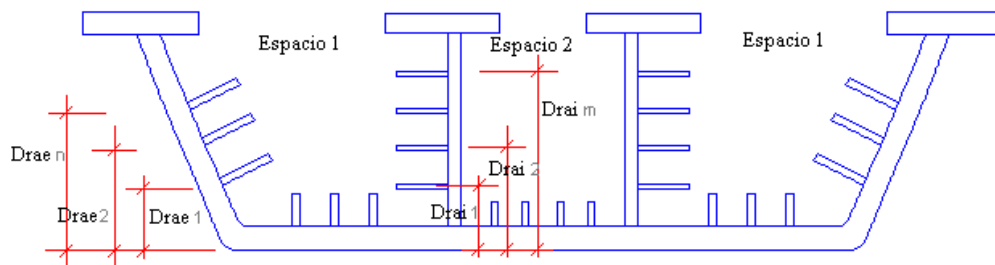


Figura 3.3.6-3: Definición de la posición de los rigidizadores de las almas.

Los rigidizadores se deben introducir de abajo a arriba.

La posición de los rigidizadores se puede variar a lo largo de cada tramo según una ley polinómica.

- Rigidizadores longitudinales en el ala inferior del cajón.

El usuario debe seleccionar el tipo de rigidizadores longitudinales del ala inferior de entre los cuatro tipos posibles, y entrar sus dimensiones. El tipo de rigidizador del ala inferior, no tiene que coincidir con los de las almas.

Así mismo debe definir el número de rigidizadores en cada uno de los espacios existentes entre dos almas, con la única limitación de que la distribución de rigidizadores sea simétrica respecto al eje de la sección. *CivilCAD2000* distribuye uniformemente los rigidizadores en cada uno de los espacios entre almas.

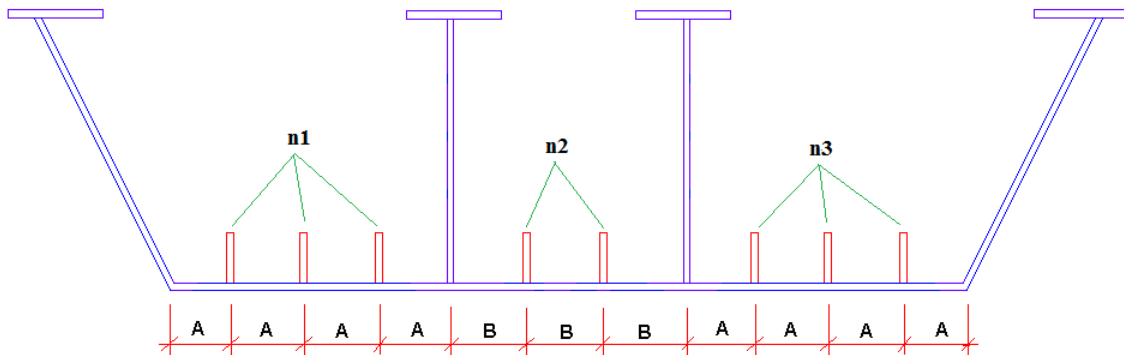


Figura 3.3.6-4: Disposición de rigidizadores en el ala inferior.

3.4 La armadura pasiva

El usuario debe concretar el diámetro y separación de las barras de armadura longitudinal y transversal a disponer en la losa superior de hormigón. Ello es posible al invocar la opción “*Armadura pasiva*”, que da paso a una parte dedicada al armado longitudinal y otra al transversal de la losa superior de hormigón.

Armadura longitudinal (paralela al eje del puente).

En la figura siguiente se han representado las posiciones con que se define el armado de la losa en el caso de cajón multicelular abierto. Todas ellas son opcionales.

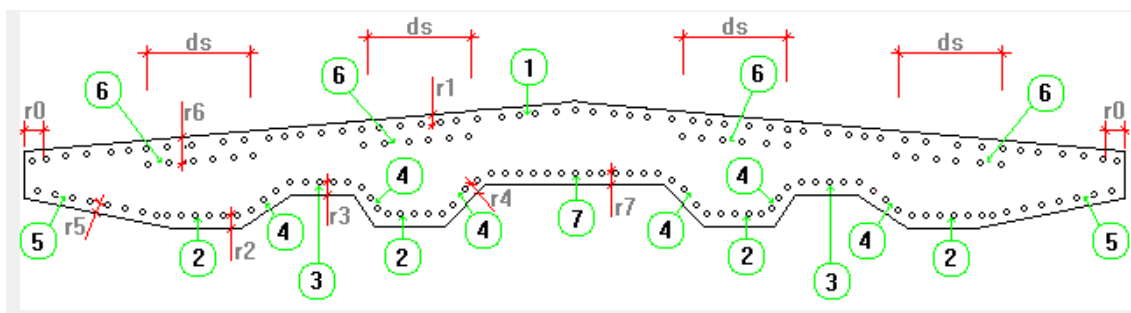


Figura 3.4-1: Armadura pasiva de la losa superior de hormigón. Definición de las posiciones de armado y de los recubrimientos para un cajón abierto.

Para el caso de cajón multicelular cerrado, las posiciones de armado son las siguientes:

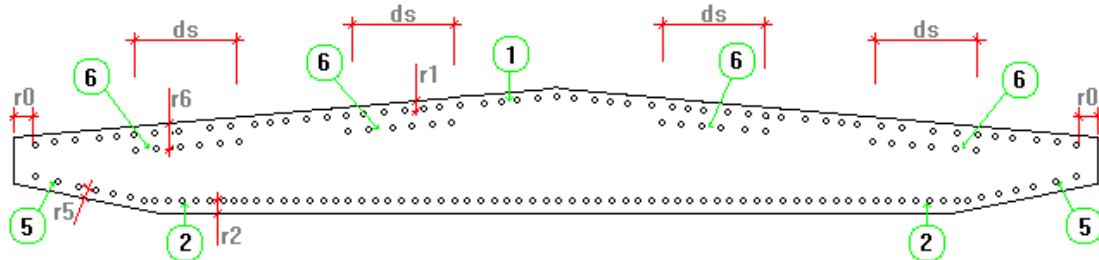


Figura 3.4-2: Armadura pasiva de la losa superior de hormigón. Definición de las posiciones de armado y de los recubrimientos para un cajón cerrado.

Se debe introducir:

- Los valores de los recubrimientos de cada una de las 7 posiciones de armado, en m. Los recubrimientos son constantes a lo largo de todo el tablero.
- Las longitudes de los tramos de definición del armado a lo largo del puente.
- Los valores de las áreas (en cm^2) de armadura para cada una de las 7 posiciones de armado para cada tramo. La sección de acero de armadura A_{s1} se refiere a todo el ancho de la sección (no a la mitad de la sección). La armadura a introducir para las posiciones 2, 3, 4, 5, 6 y 7 es la correspondiente a cada alma, cartela o zona de la sección. Así por ejemplo, en el caso de una sección con tres almas intermedias (4 células), la armadura a introducir correspondiente a la posición 3 será la armadura existente en una de las células, y no la suma de las dos células exteriores.
- La distancia d_s (m) que define la anchura abarcada por la posición 6 del armado (ver figuras 3.4-1 y 3.4-2). En el caso de las almas exteriores, si no existen cartelas superiores, las armaduras de la posición 6 se centran con las almas. Si por el contrario, sí existen cartelas superiores, las armaduras de la posición 6 se centran con el punto medio de la cartela superior según se indica en la figura siguiente.

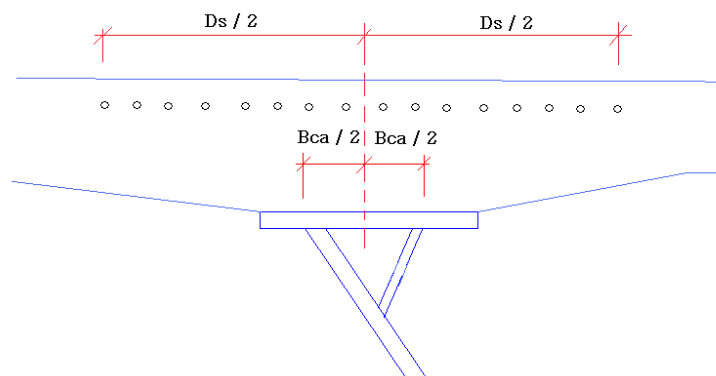


Figura 3.4-3: Ubicación de la armadura correspondiente a la posición 6 cuando existe cartela

- Los valores de los diámetros en mm de las barras elegidas para cada posición en cada tramo.

Armadura transversal (perpendicular al eje del puente).

Se debe indicar al programa la longitud de los tramos de definición decididos por el usuario y la cuantía (en cm^2 de área de armadura por m. lineal de puente) para la armadura transversal. Esta armadura se utiliza únicamente para evaluar el torsor último.

3.5 Acciones permanentes

3.5.1 Peso Propio

CivilCAD2000 pide el valor a considerar para la densidad de hormigón y acero.

En una fase constructiva cualquiera el programa consulta las operaciones que el usuario ha previsto segmento a segmento para ella.

Si se ha proyectado disponer del cajón metálico en un segmento de puente, el programa carga la estructura con su peso propio.

Si se ha previsto el hormigonado de la losa superior o inferior de dicho segmento en la fase analizada, el programa genera la carga correspondiente de peso propio.

Por último si se retira un apoyo provisional, se añade una carga en el punto del apoyo igual a las reacciones en el apoyo de las fases anteriores, con signo contrario.

En el caso de disponer el cajón metálico en un segmento, *CivilCAD2000* verifica si existe algún rigidizador transversal en dicho segmento. De ser así, genera la carga correspondiente al peso propio de dicho rigidizador, como carga puntual.

El usuario puede definir, para cada fase constructiva, la presencia de una carga muerta. Esta acción se entra como carga repartida en cada una de las barras de la directriz del puente y actuará simultáneamente con el resto de cargas asociadas al proceso constructivo en esa fase.

El valor entrado se tomará como carga vertical descendente si se entra con signo positivo. Si se desea una carga ascendente debe dársele signo negativo.

3.5.2 Superestructura

- *Para puentes de carretera:*

El programa permite definir diferentes hipótesis de carga para la superestructura.

Para cada una de las hipótesis, el usuario debe dar:

- carga por metro lineal de puente
- carga por metro cuadrado de superficie de la losa de hormigón. El usuario puede definir un sobre ancho en m. a sumar (o restar, si se le da un valor negativo) al ancho total de la losa.
- momento torsor repartido actuante a lo largo de todo el puente. Dicho momento tiene un vector según el sentido de avance de la directriz del puente cuando se entra con valor positivo.

Las diferentes hipótesis definidas por el usuario serán consideradas excluyentes entre sí.

- *Para puentes con ferrocarril:*

Se define por un lado la acción de la carga muerta (peso de aceras y barandillas) dando los valores siguientes:

- carga repartida vertical por metro lineal longitudinal del puente.
- momento torsor repartido por metro lineal del puente.

Asimismo se define el peso del balasto, proporcionando los valores siguientes:

- carga por metro lineal longitudinal del puente, q_b .
- coeficientes de ampliación y de reducción del peso del balasto, que permiten considerar dos hipótesis diferentes en lo relativo al valor de dicho peso. Estos coeficientes multiplicarán directamente en cada una de las 2 hipótesis el valor de la carga q_b referida anteriormente.

Además, el usuario debe señalar el número de vías presentes en el tablero. Para el caso en que se tengan dos vías se debe especificar asimismo:

- La excentricidad del balasto de una vía, esto es, la distancia del centro de gravedad de la sección del balasto de una cualquiera de las 2 vías al eje del tablero. Ello permite evaluar el momento torsor asociado al peso del balasto de cada vía.
- Si se desea incluir en el cálculo la posibilidad de retirar el 50 % del balasto a lo largo de la longitud completa de una cualquiera de las 2 vías.
- Si se desea incluir en el cálculo la posibilidad de retirar el 100 % del balasto a lo largo de un tramo de longitud 15 m en una posición cualquiera de una cualquiera de las 2 vías.

3.5.3 Descenso de apoyos

El programa aplicará en cada apoyo de la configuración final del puente, un descenso igual al valor entrado por el usuario y buscará la envolvente de esfuerzos causada por las peores combinaciones de asientos en los distintos apoyos definidos. El asiento se define en m.

3.6 Acciones variables

3.6.1 Acción del tráfico

La información depende del tipo de normativa seleccionada.

3.6.1.1 Normativas IAP98/ IAPF

3.6.1.1.1 Sobrecarga repartida

CivilCAD2000 pide el valor de la sobrecarga de tráfico a considerar en el cálculo. El usuario puede elegir el valor de las anchuras en m. de unas aceras a izquierda y derecha según el sentido de avance de la directriz no afectadas por la sobrecarga (Opción “*Aceras*”) (ver figura siguiente). El programa obtiene la envolvente de esfuerzos causados por la sobrecarga teniendo en cuenta que puede actuar independientemente a ambos lados del centro de la sección del puente.

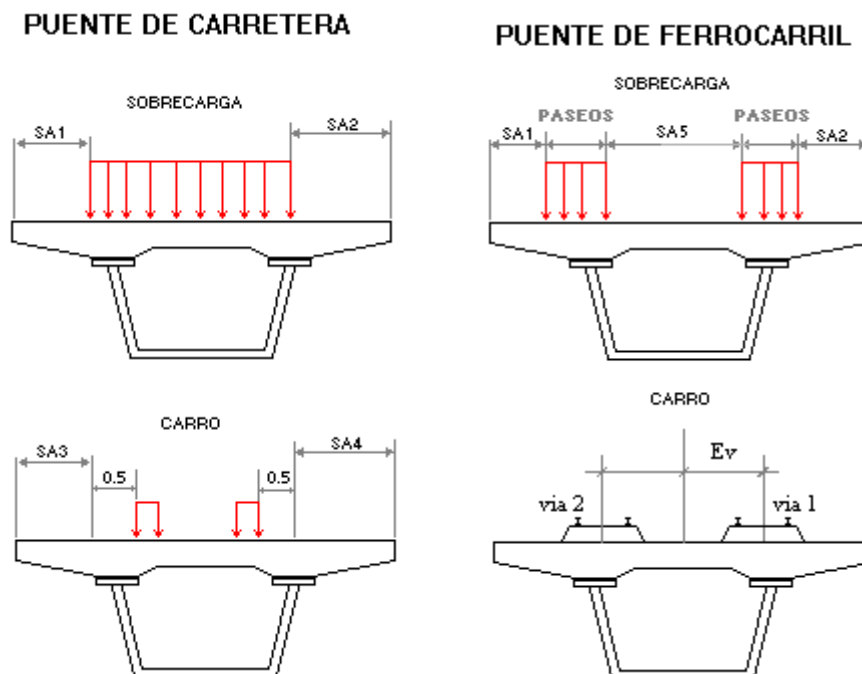


Figura 3.6.1-1: Definición de los anchos de aceras (m).

3.6.1.1.2 Carro de cargas puntuales

- *Tren móvil de cargas puntuales (camión):*

El usuario puede elegir el carro con que trabajar. Un carro es un conjunto de cargas separadas longitudinalmente y transversalmente por unas distancias fijas (m) (la dirección longitudinal es la de avance del carro y la transversal es su perpendicular). El usuario puede dar el valor de la distancia (m.) con que el programa hará avanzar el carro a la hora de obtener la envolvente de esfuerzos. *CivilCAD2000* sitúa el carro en los extremos derecho e izquierdo de la sección para maximizar los torsos generados. Por otro lado, el usuario puede elegir (opción “*Aceras*”) el valor de las anchuras de unas aceras izquierda y derecha no invadidas por el carro (ver figura 3.6.1-1). El programa sitúa la rueda más exterior del carro a 0.5 metros del borde interior de la acera.

El usuario puede establecer el número de carros (1 o 2) a pasear de acuerdo con la normativa IAP.

- *Acción del carro en puentes de ferrocarril:*

El usuario puede definir varias hipótesis excluyentes de carga. Para cada una de ellas deber especificar el tipo de tren a pasear en la vía o vías existentes sobre el puente. Cuando en el puente se ha previsto 2 vías, el usuario tiene la posibilidad de dejar una de ellas vacía.

En el caso de puentes con 2 vías el programa pide asimismo el valor de la excentricidad de las vías, definida como distancia constante entre el eje de cada vía y el eje del tablero.

CivilCAD2000 permite definir asimismo una excentricidad adicional como distancia entre el eje teórico de la vía y el eje real. Esta excentricidad adicional se sumará a la excentricidad de la vía para evaluar los torsos repartidos que cada vía generará a lo largo de la directriz del puente.

Los tipos de tren disponibles para pasear por la vía son los siguientes:

- * Tren tipo A de la instrucción IPF-75
- * Tren tipo B de la instrucción IPF-75
- * Tren tipo UIC 71 de la instrucción IAPF-2001
- * Tren tipo SW/0
- * Tren tipo SW/2
- * Tren tipo D de la instrucción IPF-75

A continuación se describen las características que definen cada tren de carga.

Tren tipo A IPF-75

Consiste en 3 cargas puntuales de 30 T separadas longitudinalmente 1.5 m entre ellas. Este tren se desplaza a lo largo de la directriz del puente avanzando en cada hipótesis de carga una distancia cuyo valor es propuesto por el usuario.

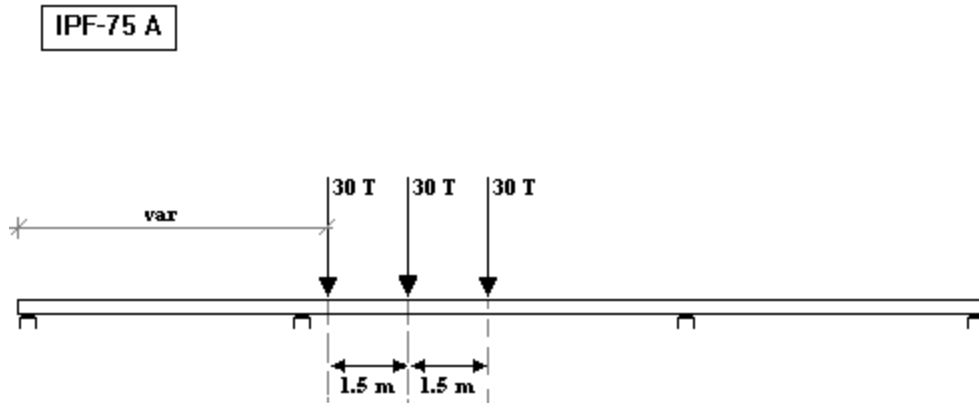


Figura 3.6.2-1: Esquema tren IPF-75 A.

Tren tipo B IPF-75

Este tipo de tren está compuesto por una locomotora con carga repartida de 12 T/m y una serie de vagones de longitud indefinida. Cada vagón puede tener una longitud cualquiera y su carga puede ser de 1 T/m o bien de 10 T/m. La longitud de la locomotora puede ser 15 ó 30 m. Este tren se desplaza a lo largo de la directriz del puente avanzando en cada hipótesis de carga una distancia cuyo valor es propuesto por el usuario. El programa considera, para cada emplazamiento de la locomotora distintas longitudes de vagones en el tramo comprendido entre el final de la locomotora y el inicio del puente.

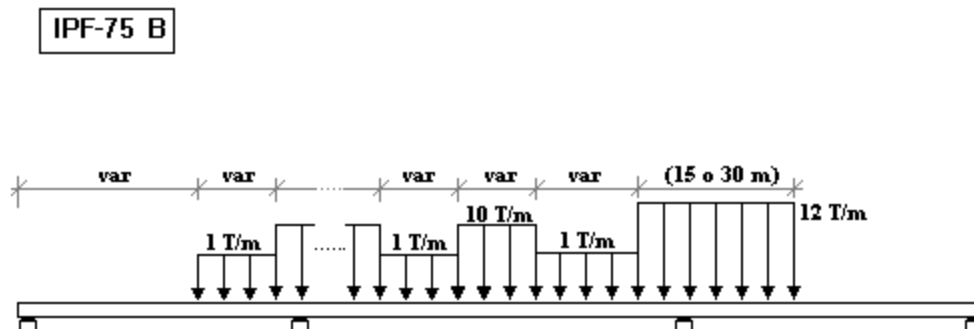


Figura 3.6.2-2: Esquema tren IPF-75 B.

Tren tipo UIC 71

Este tren tiene una locomotora compuesta por 4 cargas puntuales de 25 T separadas 1.6 m entre sí y dos zonas exentas de carga de 0.8 m antes y después de la misma. El resto de la directriz del puente puede estar cargado o no por tramos de longitud cualquiera con una carga lineal repartida de 8 T/m. *CivilCAD2000* desplaza la locomotora a lo largo de la directriz del puente avanzando en cada hipótesis de carga una distancia cuyo valor es propuesto por el usuario.

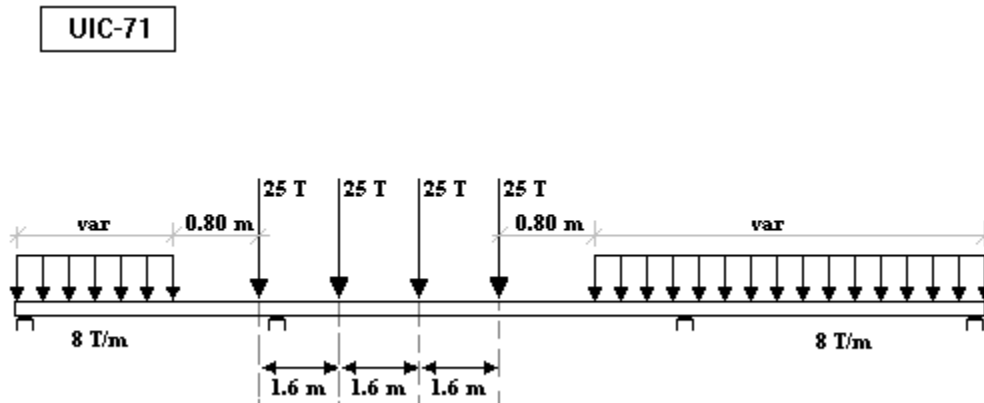


Figura 3.6.2-3: Esquema tren UIC-71.

Tren tipo SW/0

Se trata de un tren compuesto por dos locomotoras con carga repartida de 13.3 T/m. Cada locomotora tiene 15 m de longitud. Las locomotoras están separadas entre sí por 5.3 m de zona sin cargar. El resto del tablero no tiene carga alguna. El programa desplaza el tren desde la posición en que la primera locomotora entra íntegramente en el puente hasta aquella en la que la segunda locomotora empieza a salir del tablero. *CivilCAD2000* desplaza el tren a lo largo de la directriz del puente avanzando en cada hipótesis de carga una distancia cuyo valor es propuesto por el usuario.

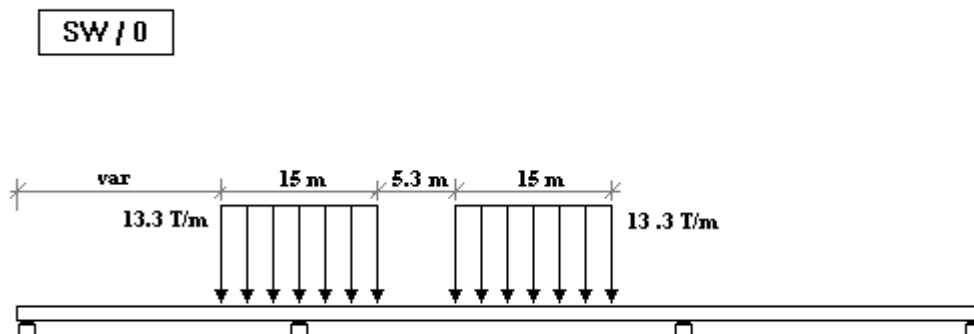


Figura 3.6.2-4: Esquema tren SW/0.

Tren tipo SW/2

Se trata de un tren compuesto dos locomotoras con carga repartida de 15.0 T/m. Cada locomotora tiene 25 m de longitud. Las locomotoras están separadas entre sí por 7.0 m de zona sin cargar. El resto del tablero no tiene carga alguna. El programa desplaza el tren desde la posición en que la primera locomotora entra íntegramente en el puente hasta aquella en la que la segunda locomotora empieza a salir del tablero.

CivilCAD2000 desplaza el tren a lo largo de la directriz del puente avanzando en cada hipótesis de carga una distancia cuyo valor es propuesto por el usuario.

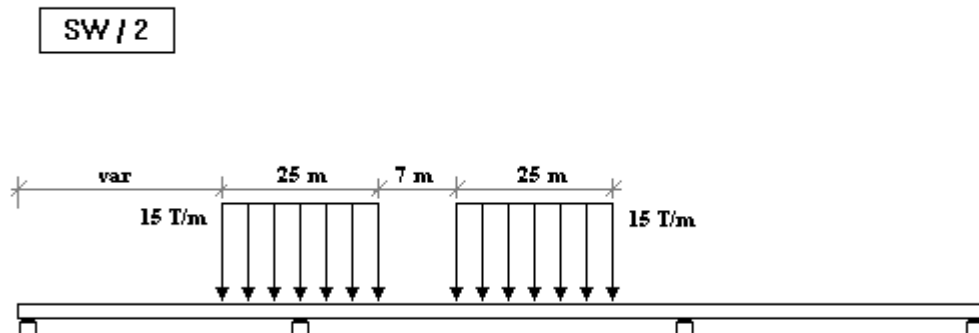


Figura 3.6.2-5: Esquema tren SW/2.

Tren tipo D IPF-75

Este tipo de tren está compuesto por una locomotora con carga repartida de 9 T/m y una serie de vagones de longitud indefinida. Cada vagón puede tener una longitud cualquiera y su carga puede ser de 1 T/m o bien de 7 T/m. La longitud de la locomotora puede ser 15 ó 30 m. Este tren se desplaza a lo largo de la directriz del puente avanzando en cada hipótesis de carga una distancia cuyo valor es propuesto por el usuario. El programa considera, para cada emplazamiento de la locomotora distintas longitudes de vagones en el tramo comprendido entre el final de la locomotora y el inicio del puente.

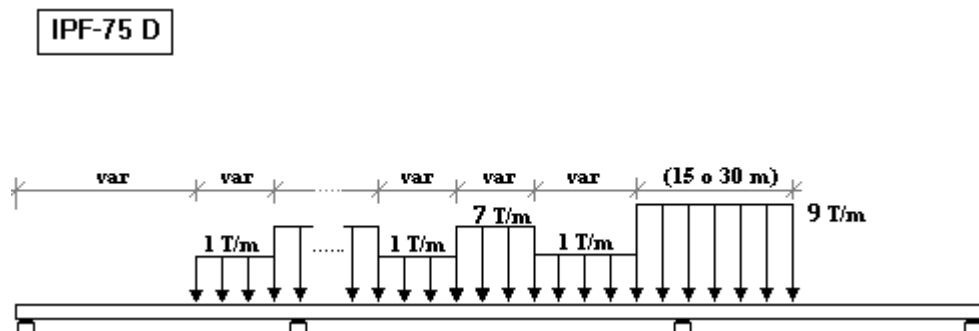


Figura 3.6.2-6: Esquema tren IPF-75 D.

El programa permite definir para cada hipótesis un coeficiente de impacto que afectará directamente a todas las cargas generadas para la misma. El usuario puede dar también el valor del coeficiente de clasificación, el cual se aplicará sobre todas las cargas generadas para los trenes tipo UIC 71 y sobre las de aquellos trenes tipo SW/0.

CivilCAD2000 permite dar valor a los coeficientes de excentricidad del flector y del cortante para cada barra de la directriz del puente. Al terminar el cálculo de esfuerzos, el flector y cortante en cada barra serán multiplicados por los coeficientes de excentricidad entrados por el usuario.

3.6.1.2 Normativas IAP11/ IAPF

En el caso de ferrocarril la entrada de datos es análoga al caso anterior. En el caso de puentes de carretera, los parámetros a introducir se definen en los siguientes apartados.

3.6.1.2.1 División del tablero en aceras, carriles y área restante.

A efectos del cálculo de la acción de tráfico, la sección del puente se divide en:

- Acera izquierda
- Acera derecha
- Plataforma.(zona entre aceras)

El usuario debe introducir el valor del ancho de las aceras izquierda y derecha.

Habida cuenta de la división anterior, cabe diferenciar entre las acciones siguientes:

- Tráfico sobre las aceras.
- Tráfico sobre la plataforma.

3.6.1.2.2 Tráfico sobre las aceras

Para la consideración de la acción el tráfico sobre las aceras, el usuario deberá dar valor a la sobrecarga que actúa sobre cada una de dichas aceras, así como la anchura de las mismas.

3.6.1.2.3 Tráfico sobre la plataforma

El cálculo de la acción de tráfico sobre la plataforma se lleva a cabo de acuerdo con lo establecido en la IAP11.

Tal como allí se indica, la plataforma debe dividirse en cada sección transversal del puente en un número de carriles virtuales con un valor de ancho determinado. La zona no ocupada por los carriles se denomina entonces el área restante.

Sobre cada carril debe aplicarse las acciones correspondientes a un vehículo pesado y a una sobrecarga uniforme. El valor de las acciones depende del carril o área restante considerados en cada caso.

La información anterior debe introducirse en el cuadro de diálogo Acción de tráfico que se reproduce a continuación:

Acciones de tráfico

Tráfico sobre aceras:

Acera izquierda: Anchura: 1.5 m, Carga repartida: 0.255 T/m²

Acera derecha: Anchura: 1.5 m, Carga repartida: 0.255 T/m²

Tráfico sobre plataforma:

Valores característicos de las cargas:

Situación	Vehículo pesado Carga por rueda (T)	Sobrecarga repartida Sobrecarga (T/m ²)
Carril nº 1	15,291	0,917
Carril nº 2	10,194	0,255
Carril nº 3	5,097	0,255
Resto carriles	0,000	0,255
Area restante	0,000	0,255

Ubicación ruedas vehículo pesado:

	X (m)	Y (m)
1	0,000	-1,000
2	0,000	1,000
3	1,200	-1,000
4	1,200	1,000

Añadir carga, Eliminar carga

Ancho de los carriles:

Punto	Ancho Plataforma(m)	Ancho Carril (m)
1	0,000	0,000
2	3,000	3,000
3	5,399	3,000
4	5,400	2,700
5	6,000	3,000
6	1000,000	3,000

Añadir punto, Eliminar Punto

Coefficientes de excentricidad:

Barra	Cq	Cm
64	1,000	1,000
65	1,000	1,000
66	1,000	1,000

Distancia desplazamiento vehículo pesado: 1 m

Ayuda, Aplicar, Aceptar, Cancelar

Figura 3.6.1.2.3: cuadro de diálogo correspondiente a la acción de tráfico

Tal como puede apreciarse de la figura anterior, el usuario puede modificar la siguiente información con los valores de la normativa IAP11 introducidos por defecto:

- La definición del vehículo pesado, (según la IAP11, constituido por 4 huellas separadas 1.2 x 2m).
- Los valores característicos de la sobrecarga uniforme en función del número de carril.

- Los valores característicos del vehículo pesado en función del número de carril.
- La ley que permite obtener el ancho de carril en función del ancho de la plataforma.
- El incremento de avance del vehículo pesado a considerar en el cálculo.

3.6.2 Incremento de temperatura

El usuario puede definir dos situaciones de carga a considerar en el cálculo:

- Hipótesis 1: Aumento de temperatura. Se deben introducir los aumentos de temperatura en la losa y el cajón metálico (ambos positivos) con la condición de que el aumento de temperatura en la losa sea inferior al del cajón.
- Hipótesis 2: Disminución de temperatura. Se deben introducir los descensos de temperatura en la losa y el cajón metálico (ambos negativos) con la condición de que la de temperatura en la losa en valor absoluto sea inferior a la del cajón (también en valor absoluto).

Se deben introducir además los coeficientes de dilatación térmica del acero y del hormigón.

En cualquiera de las dos hipótesis de carga, los esfuerzos totales sobre el puente resultan ser la suma de tres componentes (ver figura siguiente):

- Un axil actuante sobre el centro de gravedad de la sección de hormigón de la losa superior para mantener la compatibilidad de deformaciones (1).
- Un axil igual al anterior, pero de signo contrario actuando sobre la sección global del puente a la misma altura que el anterior y generando, por tanto, un momento isostático (2).
- Unos esfuerzos hiperestáticos (cuando el puente no es isostático) resultante de aplicar a la estructura una ley de curvaturas impuestas generadas por los anteriores momentos isostáticos (3).

Los esfuerzos (1) actúan sólo sobre la losa de hormigón, mientras que los (2) + (3) están aplicados sobre la sección mixta total del puente.

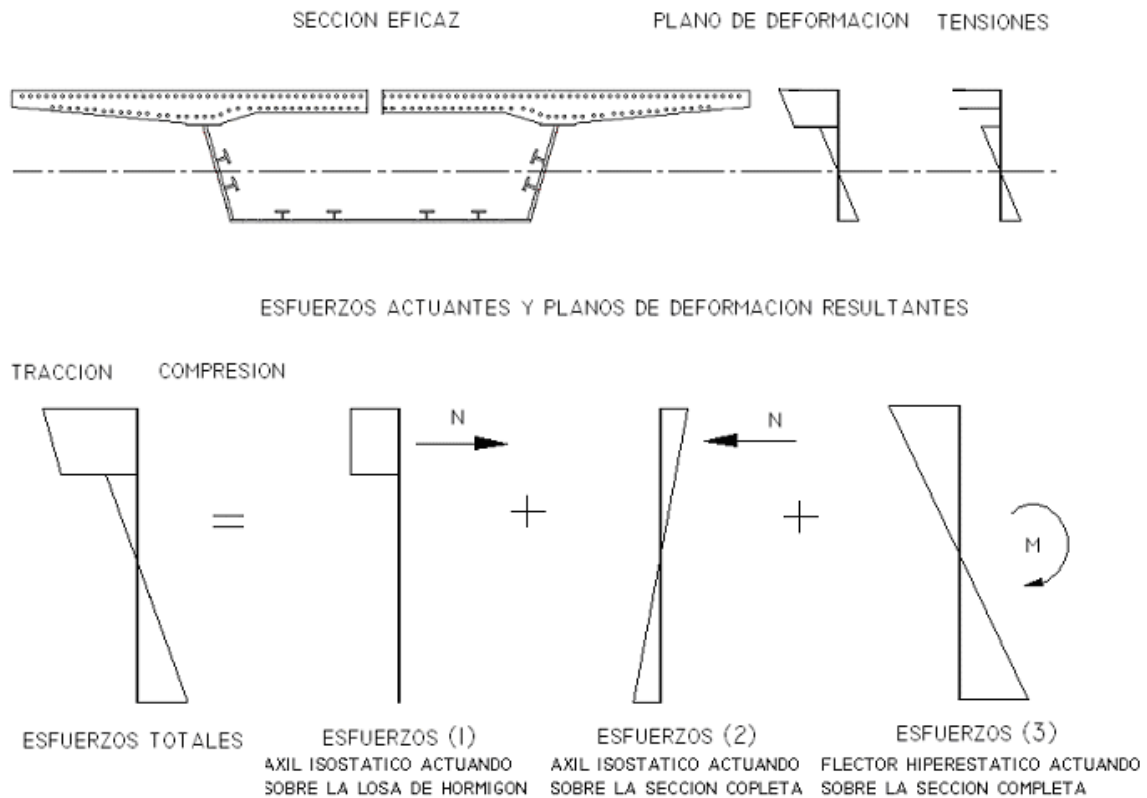


Figura 3.6.2-1: Esfuerzos generados por un aumento de temperatura distinto en losa y cajón.

3.6.3 Retracción

La retracción del hormigón genera unos esfuerzos en el puente debido a que el cajón metálico coacciona la libre deformación del hormigón. Como resultado de dicha coacción surgen tres grupos de esfuerzos totalmente análogos a los descritos para el caso del incremento de temperatura.

El programa pide al usuario el porcentaje de humedad previsto en el entorno en que se hallará la estructura. Con él podrá evaluar el coeficiente de retracción del hormigón del puente, de acuerdo con las expresiones expuestas en la EHE.

3.6.4 Acciones vertical del viento

3.6.4.1.- IAP/98

El programa pide el valor de la velocidad de cálculo del viento V_c (m/s). Con él, evaluará la carga vertical debida al viento de acuerdo con la expresión expuesta en el apartado 3.2.3.2.1. e 1.2 de la IAP. *CivilCAD2000* considerará además la presencia de un momento torsor repartido asociado al desplazamiento de la carga vertical en dirección transversal una distancia igual a la cuarta parte del ancho total del tablero. Combinando los sentidos ascendente y descendente de la carga vertical con los 2 posibles sentidos del momento torsor, *CivilCAD2000* establece 4 hipótesis excluyentes entre sí.

3.6.4.2.- IAP/10

El programa pide el valor de la velocidad básica asociada al periodo de retorno para el que se calcula el tablero $V_b(T)$ (m/s), así como los coeficientes de exposición y el coeficiente de fuerza en dirección vertical de acuerdo con el apartado 4.2.5.1.2 de la IAP11. Con él, evaluará la carga vertical debida al viento de acuerdo con la expresión expuesta en el apartado 4.2.5.1.2 de la IAP11. *CivilCAD2000* considerará además la presencia de un momento torsor repartido asociado al desplazamiento de la carga vertical en dirección transversal una distancia igual a la cuarta parte del ancho total del tablero. Combinando los sentidos ascendente y descendente de la carga vertical con los 2 posibles sentidos del momento torsor, *CivilCAD2000* establece y hipótesis excluyentes entre sí.

3.7 Acción sísmica vertical

El usuario puede definir la acción sísmica dando el conjunto de fuerzas verticales a aplicar en los puntos de la directriz del puente. *CivilCAD2000* generará entonces 2 hipótesis de carga excluyentes entre sí, una con las fuerzas aplicadas con los signos entrados por el usuario y otras con las mismas fuerzas con signo contrario.

3.8 Coeficientes de seguridad

CivilCAD2000 realiza distintas combinaciones de cargas entre los tipos de carga definidos para evaluar las envolventes de esfuerzos, reacciones y desplazamientos para las situaciones persistente y accidental del estado límite último y para el estado límite de servicio. Los coeficientes de seguridad utilizados en la obtención de las envolventes pueden ser modificados por el usuario al activar la opción “*Seguridad*”.

El programa pide también el valor de los coeficientes de combinación ψ_0, ψ_1, ψ_2 . Los diálogos de entrada de los coeficientes dependen de la normativa seleccionada.

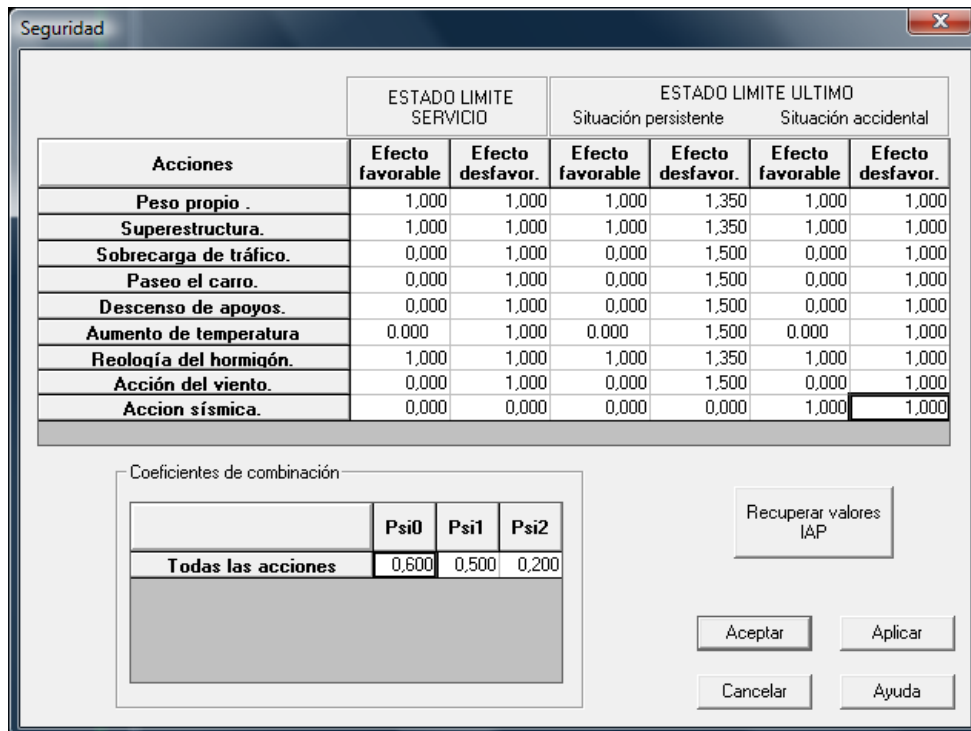


Figura 3.8.1: Diálogo para la introducción de los coeficientes de seguridad y combinación para la norma IAP98 y IAPF

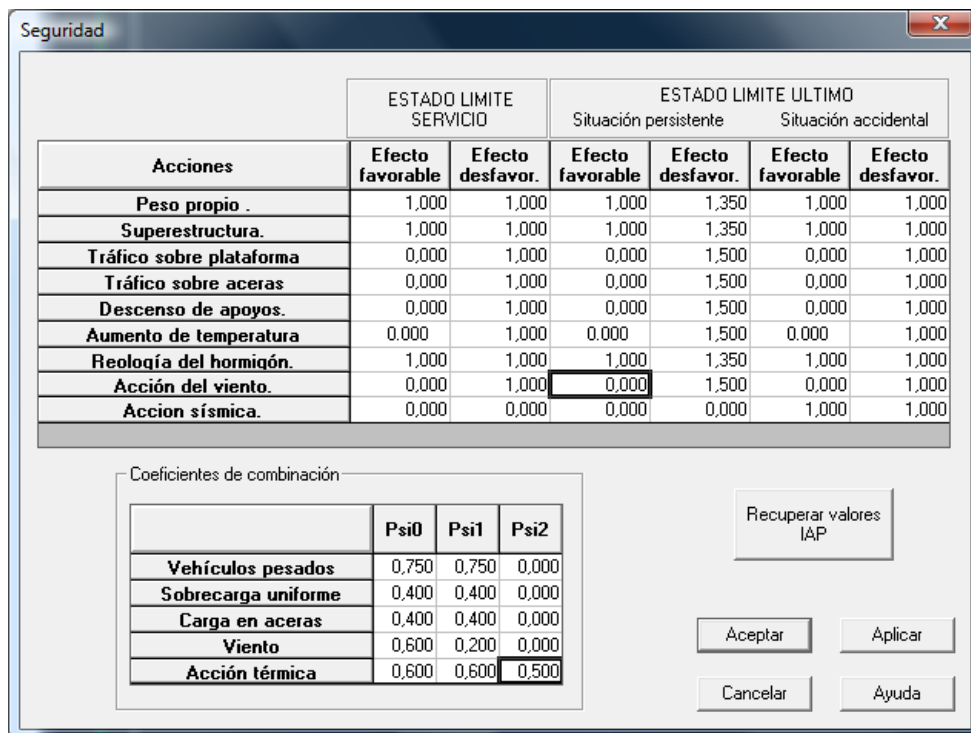


Figura 3.8.2: Diálogo para la introducción de los coeficientes de seguridad y combinación para la norma IAP11

3.9 Los materiales

El usuario debe elegir, de entre los materiales disponibles en la biblioteca de *CivilCAD2000*, aquellos con que ejecutar los distintos elementos del puente mixto:

- Acero estructural del cajón metálico
- Hormigón de la losa superior
- Acero de la armadura pasiva a disponer en la losa superior
- Acero de los rigidizadores longitudinales de las almas
- Acero de los rigidizadores longitudinales de las chapas inferiores
- Hormigón de la losa inferior

En la figuras siguientes se han representado los diagramas tensión-deformación con que se modeliza el comportamiento de los aceros, por un lado, y de los hormigones, por otro, de la sección. En ambos casos se presenta un conjunto de diagramas a utilizar para el cálculo de tensiones y deformaciones.

En los sucesivos apartados del *Manual de Usuario* y del *Manual Técnico* se hace referencia a estos diagramas para exponer qué metodología se ha seguido en cada uno de los cálculos de sección realizados en éste módulo del programa.

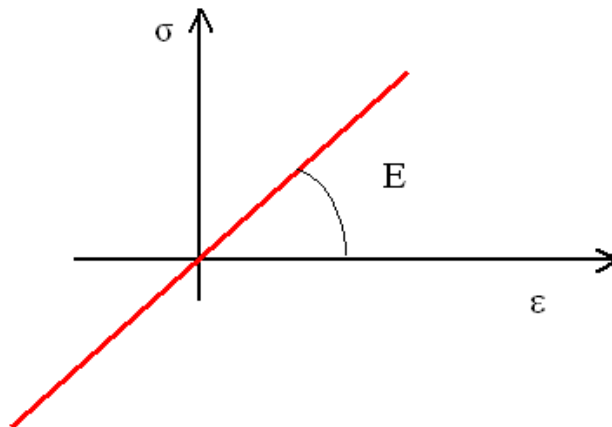


Figura 3.9-1: Diagrama 1 tensión-deformación del acero de la sección metálica y de la armadura pasiva.

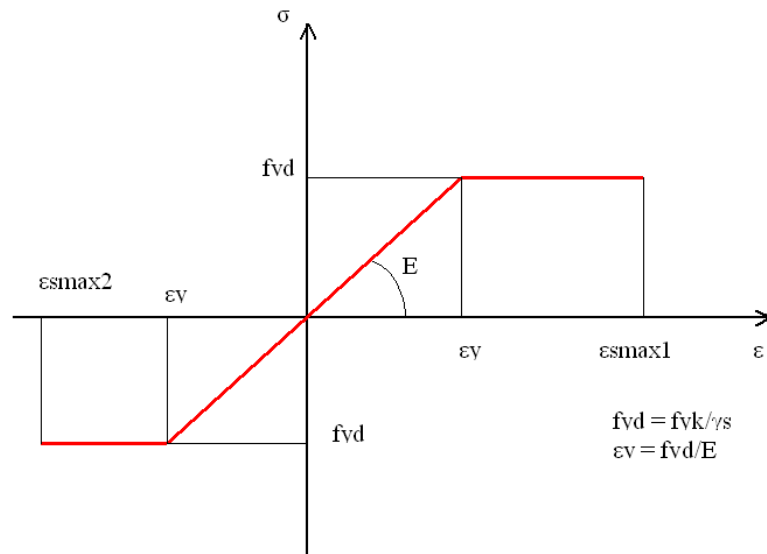


Figura 3.9-2: Diagrama 2 tensión-deformación del acero de la sección metálica y de la armadura pasiva

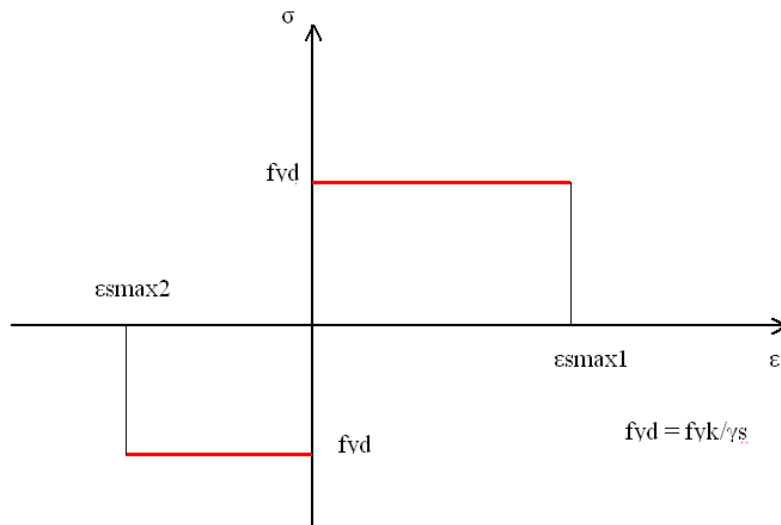


Figura 3.9-3: Diagrama 3 tensión-deformación del acero de la sección metálica y de la armadura pasiva

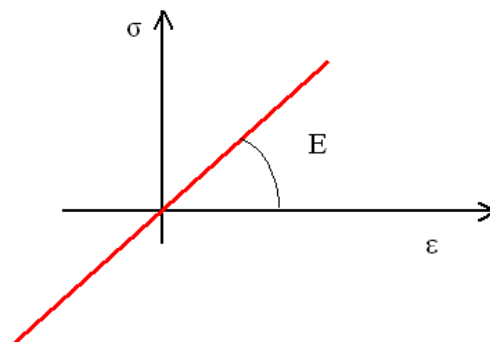


Figura 3.9-4: Diagrama 1 tensión-deformación del hormigón.

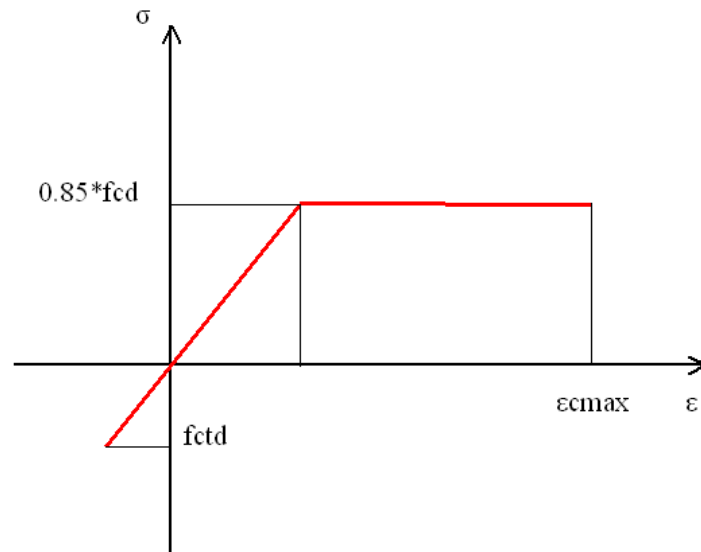


Figura 3.9-5: Diagrama 2 tensión-deformación del hormigón.

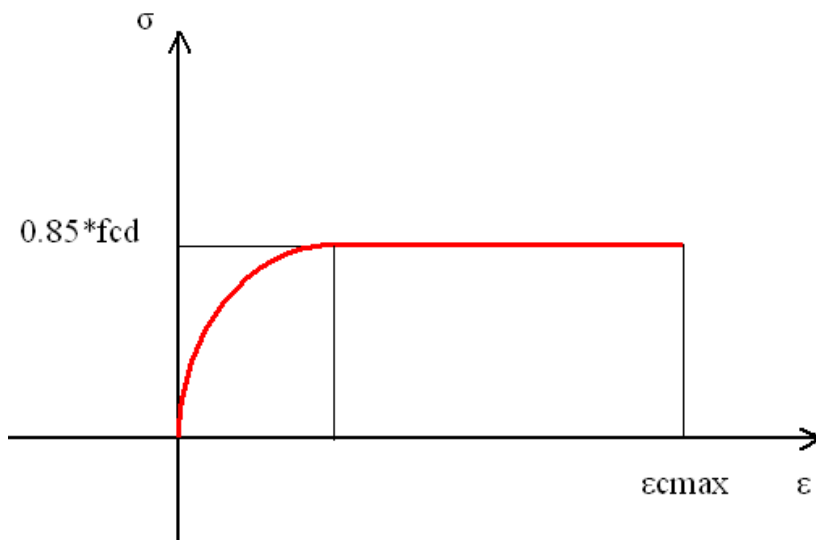


Figura 3.9-6: Diagrama 3 tensión-deformación del hormigón.

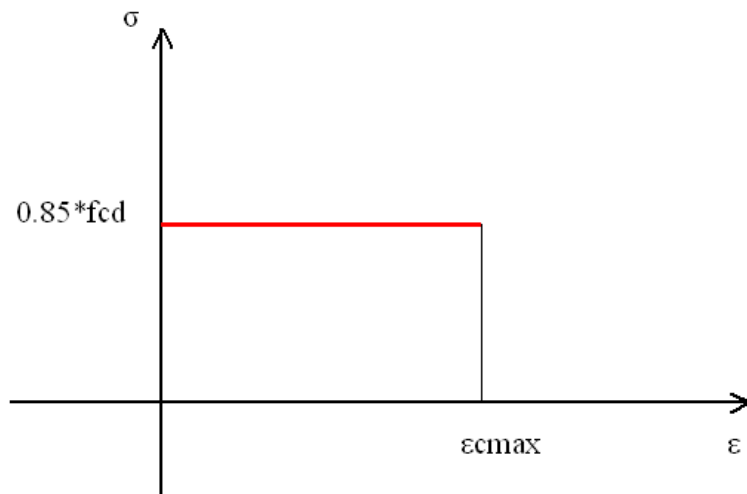


Figura 3.9-7: Diagrama 4 tensión-deformación del hormigón.

3.10 Guardar emparrillado

Existe la posibilidad de generar un proyecto de barras a partir del puente mixto para poder ser editado desde el módulo de “*Cálculo matricial*”.

3.11 Guardar sección

Existe la posibilidad de generar un proyecto de secciones a partir del puente mixto para poder ser editado desde el módulo de “*Secciones*”.

4 CÁLCULOS REALIZADOS

4.1 Cálculo de esfuerzos

El procedimiento seguido en el cálculo de esfuerzos se ha ajustado a los planteamientos que se hacen en el capítulo 4 de la *RPX-95* y a los procedimientos de combinación expuestos en la IAP.

Dado que en algunos aspectos del cálculo las recomendaciones de la *RPX* ofrecen distintas alternativas al proyectista, el programa dispone de una serie de opciones en el algoritmo de cálculo que dan libertad al usuario para personalizar el análisis efectuado.

El puente se representa por su directriz. Las fases constructivas y las condiciones de apoyo se pueden fijar tal como se explicita en el apartado 3.2. Las cargas generadas son las descritas en el punto 3.5 y 3.6. Los esfuerzos son evaluados valiéndose del cálculo matricial de la estructura.

El programa utiliza tres tipos de secciones transversales según sea el cálculo que esté realizando: la *sección real*, la *eficaz* y *reducida*. Básicamente, la primera sirve para efectuar el cálculo de esfuerzos, la segunda se genera para desarrollar el cálculo tensional y la tercera es con la que se obtienen los esfuerzos últimos.

La sección completa coincide con la real cuando la tensión en el hormigón no supera la resistencia a tracción. Si es así, el programa considera el hormigón de la sección completa total o parcialmente fisurado (sección fisurada).

Al realizar el cálculo de esfuerzos, cada segmento del puente es caracterizado con un material cuyas propiedades mecánicas son evaluadas en función de la fase constructiva a la que se refiere el cálculo, el tipo de acción solicitante y el grado de fisuración del hormigón. El programa ofrece distintas opciones al usuario para calcular la inercia a flexión para las distintas etapas de cálculo.

Al evaluar las características geométricas del material para desarrollar el cálculo de esfuerzos, *CivilCAD2000* se vale de la sección "*completa*", es decir no considera el efecto del arrastre de cortante ni los fenómenos de inestabilidad de las chapas.

4.1.1.- Tipos de sección

4.1.1.1 Tipos de secciones.

El programa utiliza tres tipos de secciones transversales según sea el cálculo que esté realizando: La *sección real*, la *eficaz* y *reducida*, mostradas de forma esquemática en la figura 4.1.1.1-1. Básicamente, la primera sirve para efectuar el cálculo de esfuerzos, la segunda se genera para desarrollar el cálculo tensional y la tercera es con la que se obtienen los esfuerzos últimos.

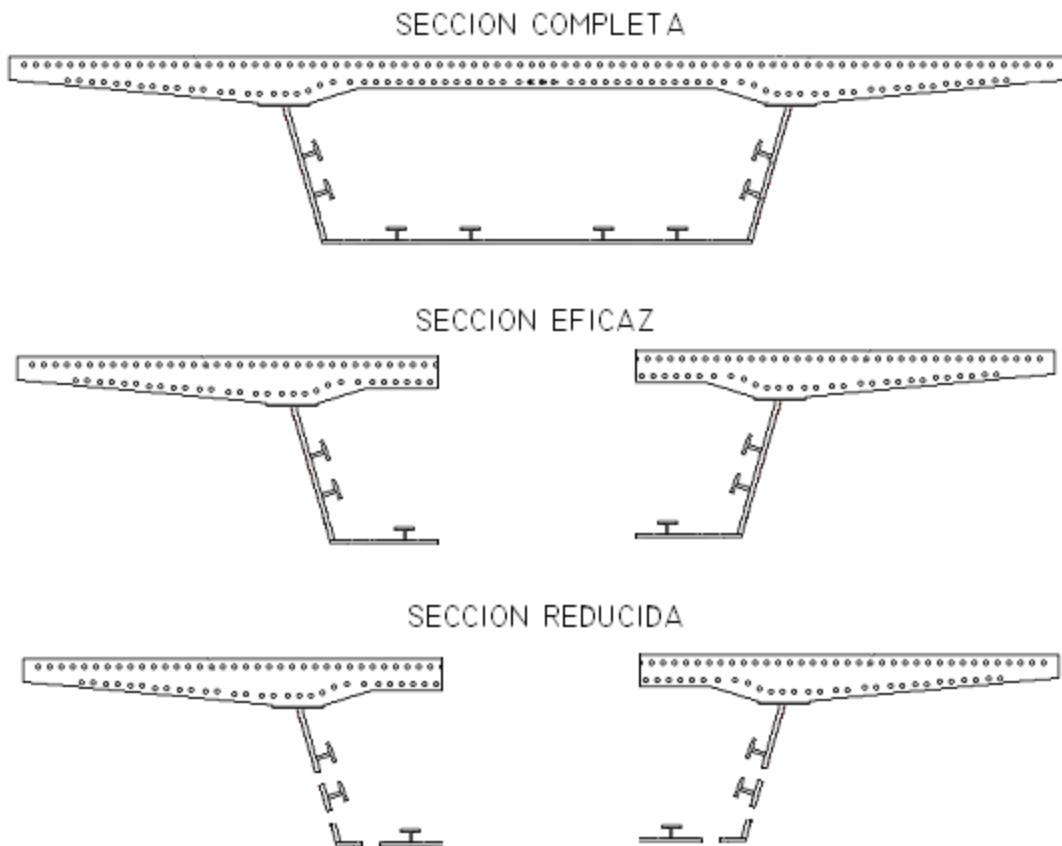


Figura 4.1.1.1-1: Sección completa (real), eficaz y reducida.

4.1.1.2 Sección real y sección fisurada

La **sección real** corresponde a la sección propiamente dicha. Las características geomecánicas de la sección se homogeneizan respecto al módulo elástico del acero del cajón metálico, por lo que dependen del coeficiente de homogeneización de los hormigones de la losa superior e inferior, y en consecuencia del módulo elástico del hormigón. A su vez, éste depende de la naturaleza de la acción, es decir, de si la acción es instantánea, permanente o permanente variable en el tiempo. En consecuencia existen tres valores para las características geomecánicas de la sección real en función de la naturaleza de la acción.

Cuando la losa superior está totalmente traccionada, no se considera la contribución del hormigón; en este caso hablamos de la **sección real con losa superior totalmente fisurada**. Las características geomecánicas se obtienen de igual forma que en la sección real pero sin considerar la presencia del hormigón de la losa superior; sí se considera el hormigón de la losa inferior con el correspondiente coeficiente de homogeneización en función de la naturaleza de la acción.

Finalmente se considera la **sección fisurada** en la que la contribución de la losa superior de hormigón se considera en función del grado de fisuración de la misma. En este caso la inercia a flexión se obtiene a partir de una interpolación lineal entre la *inercia de la sección real* (denominada también inercia bruta) y la *inercia de la sección real con la losa superior totalmente fisurada*, con el siguiente criterio:

- Si la deformación en la fibra más traccionada de la losa superior ε_s es menor que ε_{ct} , se considera que la sección está sin fisurar y se mantendrá la inercia bruta homogeneizada I_b de la sección real (ε_{ct} es la deformación correspondiente a la resistencia a tracción del hormigón f_{ctm}).
- Si la deformación en la fibra menos traccionada ε_i es mayor que ε_{cf} , se considera que la sección está totalmente fisurada y se toma la inercia de la sección real homogeneizada con la losa superior totalmente fisurada I_f . (Para ε_{cf} se toma la deformación correspondiente al límite elástico del acero de las armaduras).
- Si no se cumple ninguna de las dos condiciones anteriores, se toma una inercia intermedia entre las inercias bruta homogeneizada I_b y la inercia de la sección real homogeneizada con la losa superior totalmente fisurada I_f , obtenida según la expresión:

$$I = \left(\frac{\varepsilon_{ct}}{\varepsilon_s}\right)^3 \cdot I_b + \left(1 - \left(\frac{\varepsilon_{ct}}{\varepsilon_s}\right)^3\right) \cdot I_f$$

donde ε_s es la deformación de la fibra más traccionada de la losa superior de hormigón que se evalúa con el momento máximo negativo que actúa sobre la sección.

Al valor $K = \left(\frac{\varepsilon_{ct}}{\varepsilon_s}\right)^3$ lo denominamos *Coficiente de fisuración*.

Al tratarse de una interpolación, se calcula únicamente la inercia a flexión, no pudiéndose obtener la posición de la fibra neutra. Así mismo, en este caso se obtiene únicamente la inercia para acciones instantáneas, es decir, el módulo de elasticidad del hormigón que se considera para la evaluación de I_b e I_f corresponde al de acciones instantáneas, dado que por lo general, las cargas que fisuran el hormigón son de tipo variable (instantáneas).

Finalmente, para la sección fisurada se obtiene también la inercia a torsión considerando la fisuración de la losa superior de hormigón. Así, esta inercia a torsión se calcula a partir de la teoría de la elasticidad aplicada a secciones de pared delgada multicelulares homogeneizando el espesor de la losa superior a partir de un coeficiente de homogenización del módulo de deformación transversal fisurado G_f

$$e_{red} = e \cdot \frac{G_f}{G_a}$$

donde 'e' es el espesor de la losa superior y G_a el módulo de deformación transversal del acero del cajón metálico.

G_f se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$G_f = K \cdot G_b + (1 - K) \cdot G_{tf}$$

donde,

- K Coeficiente de fisuración a flexión = $\left(\frac{\varepsilon_{ct}}{\varepsilon_s}\right)^3$
G_b Módulo de deformación transversal de la sección no fisurada
G_{tf} Módulo de deformación transversal de la sección fisurada a flexión

De acuerdo con la RPX-95, G_b y G_{tf} adoptan los siguientes valores

- Para acciones instantáneas:

$$G_b = 0,30 E_c$$
$$G_{tf} = 0,10 E_c$$

- Para acciones permanentes y permanentes variables en el tiempo:

$$G_b = \frac{0,30 \cdot E_c}{1 + \varphi(t, t_0)}$$

$$G_{tf} = \frac{0,10 \cdot E_c}{1 + 0,3 \cdot \varphi(t, t_0)}$$

Al evaluar las características geométricas del material para desarrollar el cálculo de esfuerzos, *CivilCAD2000* se vale de la sección “*real*”, es decir no considera el efecto del arrastre de cortante ni los fenómenos de inestabilidad de las chapas metálicas del cajón. Las inercias a flexión y torsión de la sección fisurada son las inercias que se utilizan para el cálculo de esfuerzos.

Al realizar el cálculo de esfuerzos, cada segmento del puente es caracterizado con un material cuyas propiedades mecánicas son evaluadas en función de la fase constructiva a la que se refiere el cálculo, el tipo de acción solicitante y el grado de fisuración del hormigón de la losa. Tal como se detalla en apartados posteriores, el programa ofrece distintas opciones al usuario para calcular la inercia a flexión empleada en el cálculo de esfuerzos de las distintas fases constructivas.

4.1.1.3 Sección eficaz

La **sección eficaz** establece unas disminuciones en las anchuras de las alas superiores e inferiores debido a la no linealidad en la transmisión localizada de los esfuerzos rasantes a través de las almas (efecto de arrastre del cortante). La reducción de las anchuras de las alas superiores e inferiores entre almas y en el voladizo se obtienen aplicando a las anchuras reales unos coeficientes que denominaremos coeficientes de anchura eficaz elásticos que se obtienen a partir del esquema de apoyos longitudinales del puente y de la geometría de la sección.

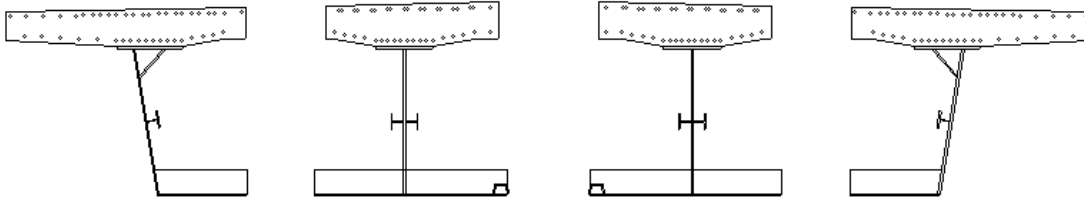


Figura 4.1.1.3-1: Sección Eficaz.

CivilCAD2000 permite obtener las características geomecánicas de la sección eficaz homogeneizada para los tres tipos de carga actuantes. Así mismo permite obtener dichas características para la sección eficaz considerando el hormigón de la losa superior totalmente fisurado.

La sección eficaz es la sección que se utiliza para el cálculo de tensiones. Opcionalmente el usuario puede definir el diálogo Configuración, que para el cálculo de tensiones se considere la reducción de la sección.

4.1.1.4 Sección reducida

La sección reducida, por último, tiene en cuenta el efecto de transmisión de esfuerzos anterior (con unos coeficientes de anchura eficaz distintos) y aplica además una disminución en las anchuras de las chapas metálicas del cajón para tener en cuenta los fenómenos de inestabilidad local o abolladuras.



Figura 4.1.1.4-1: Sección Reducida.

Los coeficientes de anchura eficaz que se consideran para la sección reducida son el doble de los coeficientes de anchura eficaz elásticos

4.2 Configuración del cálculo

Los cálculos se llevan a cabo con arreglo a lo establecido en la RPX-95. Concretamente, el usuario puede escoger entre las siguientes posibilidades:

- Cálculo de la inercia fisurada: método detallado o simplificado, (ap. 4.4.3 de la RPX).

- Análisis a tiempo infinito: método detallado o simplificado, (ap. 4.6 de la RPX).
- Cálculo de esfuerzos por retracción: método detallado o simplificado.
- Cálculo de esfuerzos por aumento uniforme de temperatura: método detallado o simplificado.
- Cálculo de la inercia fisurada: método detallado o simplificado, (ap. 4.4.3 de la RPX).

Además de las opciones anteriores, el usuario puede establecer el valor de las siguientes variables de configuración:

- Generar archivos ASCII del cálculo matricial para cada tipo de carga (Sí / No).
- Calcular sólo las envolventes afectadas por los cambios. (Sí / No).
- Realizar el cálculo de esfuerzos al Aceptar o Aplicar un diálogo. (Sí / No).
- Ejecutar la revisión de datos entrados por el usuario (Sí / No).
- Personalizar el valor de las inercias torsionales en las barras del modelo para cada una de las fases constructivas.
- Personalizar el valor de las inercias a flexión en las barras del modelo para cada una de las fases constructivas., para el cálculo de flechas y contra flechas, para el cálculo de la superestructura y para el cálculo de acciones sobre el puente terminado.
- Establecer el valor de las áreas e inercias a asignar a las barras transversales en apoyos.

5 SALIDA DE RESULTADOS

CivilCAD2000 ofrece tres maneras de conocer los esfuerzos evaluados por el programa: listados, planos de definición geométrica y gráficas de resultados.

5.1 Listados

Al actuar la función “*Listados*”, el usuario puede elegir entre las siguientes posibilidades:

- *La memoria de cálculo*

Al ejecutar la orden “*Memoria*”, el usuario puede elegir entre obtener, en un archivo ASCII con extensión “.txt”, un listado únicamente con los datos de definición del puente o también con los resultados. En el primer caso se listan los siguientes puntos:

- Puntos de definición de la directriz en planta.
- Definición de las fases constructivas.
- Definición paramétrica de la sección transversal.
- Materiales con que se ejecuta el puente.
- Descripción de las cargas actuantes.
- Coeficientes de seguridad para las combinaciones de cargas.

Si el usuario desea obtener la memoria completa, el programa escribe a continuación la siguiente información añadida:

- Listado de esfuerzos para cada tipo de carga, dando esfuerzos máximos y mínimos y sus valores concomitantes.
- Envolvente global de esfuerzos a tiempo inicial y tiempo infinito para los estados límite último y de utilización.
- Listado de reacciones verticales máximas y mínimas para cada tipo de carga.

- *Listado de características geomecánicas.*

Listado de características geomecánicas de la sección transversal a lo largo del puente para las distintas fases constructivas. *CivilCAD2000* proporciona las características de las distintas secciones consideradas en los cálculos realizados en función de la naturaleza de la acción. Así proporciona los siguientes listados:

- Características geomecánicas para Acciones Instantáneas:
 - o *Coefficiente de Fluencia* y *Coefficiente de Homogeneización*.
 - o *Sección Real Homogeneizada*: Para cada fase proporciona en cada nodo del tablero el área (A), la inercia a flexión (I), la distancia del centro de gravedad a la fibra superior (v_s positiva) y a la fibra inferior (v_i negativa) y la inercia a torsión. La sección corresponde a la sección real homogeneizada.
 - o *Sección Eficaz Homogeneizada*: Para cada fase proporciona en cada nodo del tablero el área (A), la inercia a flexión (I) y la distancia del centro de gravedad a la fibra superior (v_s positiva) y a la fibra inferior (v_i negativa),

así como los coeficientes de anchura eficaz elásticos para el voladizo (F_{i1}), para las alas interiores superiores ($F_{i2,j}$, siendo j el número de la célula de izquierda a derecha) y para las alas interiores inferiores ($F_{i3,j}$, siendo j el número de la célula de izquierda a derecha). La sección corresponde a la sección eficaz homogeneizada, es decir, con el voladizo y las alas superiores e inferiores modificadas a partir de los coeficientes de anchura eficaz elásticos.

- *Sección Eficaz Homogeneizada con la losa superior totalmente fisurada:* Para cada fase proporciona en cada nodo del tablero el área (A), la inercia a flexión (I) y la distancia del centro de gravedad a la fibra superior (v_s positiva) y a la fibra inferior (v_i negativa), así como los coeficientes de anchura eficaz elásticos para el voladizo (F_{i1}), para las alas interiores superiores ($F_{i2,j}$, siendo j el número de la célula de izquierda a derecha) y para las alas interiores inferiores ($F_{i3,j}$, siendo j el número de la célula de izquierda a derecha). La sección corresponde a la sección eficaz homogeneizada pero sin considerar la presencia de la losa superior de hormigón (sí de las armaduras dentro de la zona de ancho eficaz), es decir, con el voladizo y las alas superiores e inferiores modificadas a partir de los coeficientes de anchura eficaz elásticos.
 - *Sección Real Homogeneizada con la Losa Superior Totalmente Fisurada:* Para la situación final (tablero acabado) y para cada punto (nodo) del tablero, proporciona el área (A), la inercia a flexión (I), la distancia del centro de gravedad a la fibra superior (v_s positiva) y a la fibra inferior (v_i negativa) y la inercia a torsión, de la sección real homogeneizada en la hipótesis de losa superior totalmente fisurada, es decir, sin considerar el hormigón de esta losa. Sí se consideran las armaduras
 - *Sección Fisurada(cálculo de esfuerzos):* Para cada segmento (barra) del tablero proporciona las inercias a flexión y torsión utilizadas para el cálculo de esfuerzos. En concreto proporciona los siguientes valores:
 - Inercia bruta: Inercia de la sección real homogeneizada
 - Inercia tot. Fisur.: Inercia de la sección real con la losa superior totalmente fisurada
 - Coeficiente de fisuración: Define el grado de fisuración a flexión de la losa superior
 - Inercia a flexión: Inercia a flexión considerada para el cálculo de esfuerzos
 - Inercia bruta a torsión: Inercia a torsión de la sección real homogeneizada
 - Inercia a torsión tot. Fisur.: Inercia a torsión de la sección real con la losa superior totalmente fisurada
 - Coeficiente de fisuración: Define el grado de fisuración a flexión de la losa superior
 - Inercia a torsión: Inercia a torsión considerada para el cálculo de esfuerzos
- Características geomecánicas para Acciones Permanentes:
- *Coeficiente de Fluencia y Coeficiente de Homogeneización.*
 - *Sección Real Homogeneizada*
 - *Sección Eficaz Homogeneizada*

- *Sección Eficaz Homogeneizada con la losa superior totalmente fisurada*
 - *Sección Real Homogeneizada con la Losa Superior Totalmente Fisurada*
 - *Sección Fisurada(cálculo de esfuerzos)*
- Características geomecánicas para Acciones Permanentes Variables en el tiempo:
- *Coefficiente de Fluencia y Coeficiente de Homogeneización.*
 - *Sección Real Homogeneizada*
 - *Sección Eficaz Homogeneizada*
 - *Sección Eficaz Homogeneizada con la losa superior totalmente fisurada*
 - *Sección Real Homogeneizada con la Losa Superior Totalmente Fisurada*
 - *Sección Fisurada(cálculo de esfuerzos)*

- *Listados de esfuerzos*

Seleccionando la opción “*Salida/Listados/Esfuerzos*” el usuario puede volcar en un archivo ASCII el listado de valores máximos y mínimos de axil, cortante, torsor, y flector existentes en cada envolvente de las señaladas anteriormente, y los valores de los esfuerzos concomitantes.

En el caso del listado de esfuerzos de temperatura y retracción se listan en primer lugar los esfuerzos isostáticos(2) más los hiperestáticos (3), es decir, sumados, y a continuación se listan ambos esfuerzos por separado.

Los listados de combinaciones de esfuerzos en ELS y en ELU, los valores listados incluyen únicamente los esfuerzos hiperestáticos (3) de temperatura y retracción; es decir, no incluyen los esfuerzos isostáticos (2).

- *Listado de tensiones*

Listado de tensiones en distintos puntos significativos de la sección transversal, a lo largo del puente. El listado permite obtener las tensiones normales de flexión y las tangenciales de cortante y torsión, así como la tensión de comparación en la estructura metálica. Las tensiones se evalúan para los esfuerzos mayorados por los coeficientes de seguridad correspondientes al estado límite de servicio (ELS).

Se calcula la tensión en los puntos indicados en la figura siguiente.

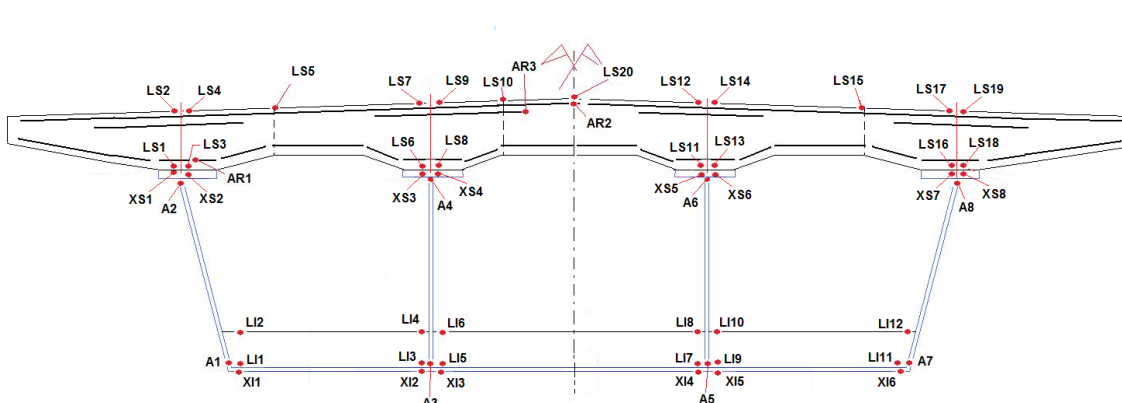


Figura 5.1-1: Puntos de la sección en que se evalúa la tensión en la sección abierta.

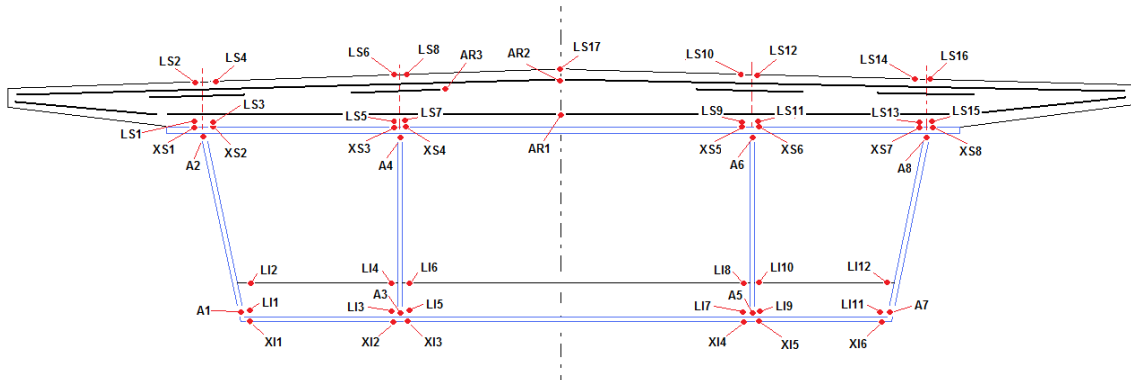


Figura 5.1-2: Puntos de la sección en que se evalúa la tensión en la sección cerrada.

En los listados las almas se enumeran de izquierda a derecha.

- *Listado de rotura. Cortante*

El usuario puede obtener el valor de los esfuerzos últimos y de cálculo para la situación persistente o accidental en un conjunto de puntos de la directriz del puente, para el cálculo a cortante. *CivilCAD2000* escribe los resultados del cálculo en un archivo ASCII con extensión “.txt” y nombre a determinar por el usuario.

- *Listado de rotura. Torsión*

El usuario puede obtener el valor de los esfuerzos últimos y de cálculo para la situación persistente o accidental en un conjunto de puntos de la directriz del puente, para el cálculo a torsión. *CivilCAD2000* escribe los resultados del cálculo en un archivo ASCII con extensión “.txt” y nombre a determinar por el usuario.

- *Listado de rotura. Flexión*

El usuario puede obtener el valor de los esfuerzos últimos y de cálculo para la situación persistente o accidental en un conjunto de puntos de la directriz del puente, para el cálculo a flexión. *CivilCAD2000* escribe los resultados del cálculo en un archivo ASCII con extensión “.txt” y nombre a determinar por el usuario.

- *Listado de flechas*

Lista la flecha máxima y mínima en los puntos de la directriz del puente.

- *Listado del grado de fisuración*

Listado del grado de fisuración del hormigón de la losa superior a lo largo del puente. El programa da el coeficiente K en el centro de cada segmento del puente con el cual obtiene la inercia de la sección fisurada en el cálculo de esfuerzos según la expresión siguiente:

$$I = K * I_b + [1 - K] * I_f$$

I_b , inercia de la sección homogeneizada sin fisurar.

I_f , inercia de la sección homogeneizada fisurada

5.2 Planos de definición geométrica

El usuario puede generar automáticamente las figuras siguientes:

- *Directriz*

Se trata de la planta de discretización. El programa dibuja el esquema de la estructura de barras que utiliza para realizar el cálculo de esfuerzos.

- *Sección transversal. Geometría*

CivilCAD2000 representa la sección transversal del puente, a una distancia s medida sobre la directriz e indicada por el usuario, tras ejecutarse la fase constructiva que se desee. El programa dibuja la sección tal como queda tras finalizar dicha fase de ejecución. Es decir considera fraguado el hormigón de las losas dispuesto en esa fase.

- *Sección longitudinal. Geometría*

Se trata de una figura en que se representa el estado del puente para una fase constructiva determinada, elegida por el usuario. En la sección longitudinal se dibujan los tramos de cajón ya dispuestos, los segmentos cuya losa superior o inferior ya ha sido hormigonada y los apoyos (verticales o a torsión) definidos por el usuario para esa fase.

- *Sección longitudinal. Parámetros*

En este apartado el usuario puede obtener una sección longitudinal del puente con una figura descriptiva del valor determinado parámetro geométrico a lo largo del tablero. Así, se puede representar la variación longitudinal de los siguientes parámetros:

- Anchuras de la viga metálica.
- Espesores de chapa de la viga metálica
- Anchura de la losa superior
- Canto de la losa superior
- Canto de la losa inferior
- Armadura pasiva a disponer en la losa superior y rigidizadores.

- *Proceso constructivo*



Muestra una sección longitudinal del puente en las distintas fases constructivas del proyecto.

5.3 Gráficas de resultados

- *Esquema de discretización*

El programa dibuja en perspectiva axonométrica el esquema de la estructura de barras que utiliza para realizar el cálculo de esfuerzos. Las condiciones de coacción de los nodos representados dependen de la fase en que estén actuando cada una de las cargas.

- *Sección transversal de cálculo*

- *Alzado longitudinal. Esfuerzos*

Muestra los esfuerzos axil, cortante, torsor o flector procedente de una de las siguientes envolventes:

- Peso propio de una fase constructiva.
- Peso propio a tiempo infinito.
- Superestructura a tiempo inicial.
- Superestructura a tiempo infinito.
- Sobrecarga repartida.
- Carro de cargas puntuales.
- Gradiente térmico.
- Descenso de apoyos.
- Retracción.
- Aumento de temperatura distinto en cajón y losa.
- Viento.
- Acción sísmica.
- Situación tras ejecutar una fase constructiva.
- Envolvente global a tiempo inicial.
- Envolvente global a tiempo infinito.

- *Alzado longitudinal. Tensiones normales*

El programa ofrece de forma gráfica los resultados del cálculo de tensiones normales en 11 puntos de control, los cuales tienen especial relevancia (figura 5.3-1):

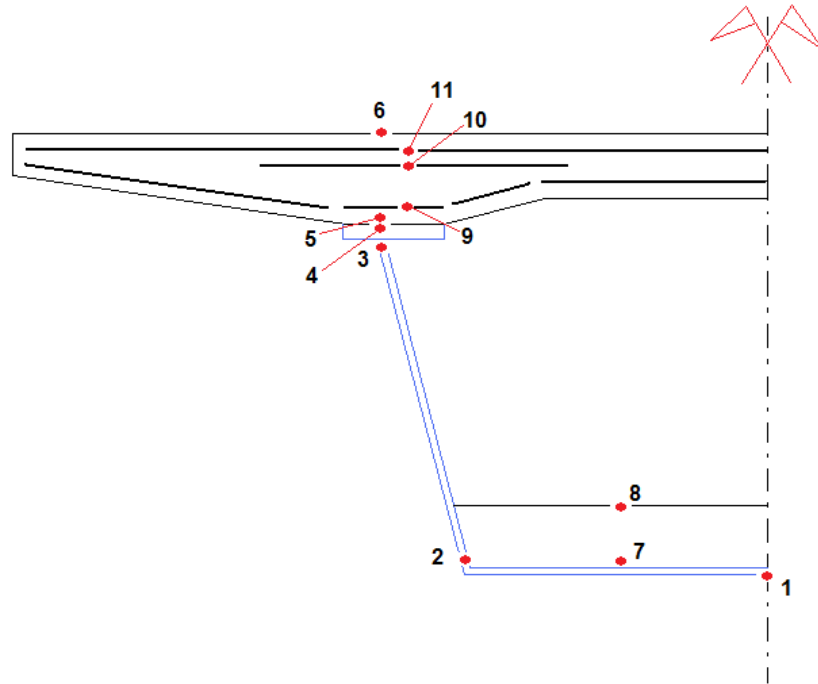


Figura 5.3-1: Puntos de la sección en que se evalúa la tensión normal.

- 1) Fibra inferior del cajón.
- 2) Fibra superior del ala inferior del cajón.
- 3) Fibra inferior del ala superior del cajón.
- 4) Fibra superior del ala superior del cajón.
- 5) Fibra inferior de la losa superior de hormigón.
- 6) Fibra superior de la losa superior de hormigón.
- 7) Fibra inferior de la losa inferior de hormigón.
- 8) Fibra superior de la losa inferior de hormigón.
- 9) Armadura longitudinal inferior de la losa.
- 10) Armadura longitudinal superior de la losa.
- 11) Armadura longitudinal sobre almas de la losa.

Estos puntos se equiparan a los puntos de control tensional definidos en las figuras 5.1-1 para el cajón abierto según el siguiente criterio:

Puntos de control tensiones normales	Puntos de control tensiones tangenciales
1	XI1, XI2,....., XI _n
2	A1, A3, A5,.....
3	A2, A4, A6,.....

4	XS1, XS2,, XS _n
5	LS1, LS4,, LS _n (excepto último)
--	LS2, LS5,
--	LS3, LS6
6	LS12
7	LI1, LI3, LI5,.....
8	LI2, LI4, LI6,.....
9	Armadura de menor cota (excepto posición 6)
10	Armadura de mayor cota (excepto posición 6)
11	Punto de mayor cota de la armadura de la posición 6

El programa permite calcular las tensiones en una sección del puente para un conjunto de 4 esfuerzos (axil, cortante, torsor y flector) procedente de una de las siguientes envolventes:

- Peso propio de una fase constructiva.
- Peso propio a tiempo infinito.
- Superestructura a tiempo inicial.
- Superestructura a tiempo infinito.
- Sobrecarga repartida.
- Carro de cargas puntuales.
- Gradiente térmico.
- Descenso de apoyos.
- Aumento de temperatura distinto en cajón y losa.
- Retracción.
- Viento.
- Situación tras ejecutar una fase constructiva.
- Envolvente global a tiempo inicial.
- Envolvente global a tiempo infinito.

Si se ha escogido una de los 3 últimos tipos de envolventes, el usuario debe determinar si desea obtener las tensiones en la situación característica, frecuente o cuasi-permanente del estado límite de utilización.

El usuario elige entonces la envolvente y el esfuerzo que desea mayorar *CivilCAD2000* obtiene éste y los valores del resto de los tres esfuerzos concomitantes con el máximo escogido. Cuando la situación a calcular así lo implica, *CivilCAD2000* aplica los esfuerzos a las distintas secciones sobre las que actúan, calculando los planos de deformaciones inducidos por cada carga aislada, de forma incremental.

- Alzado longitudinal. Rotura por flexión

El programa genera un gráfico dando los valores de los esfuerzos últimos y los de cálculo por flector para la situación persistente o accidental a lo largo de la directriz del puente.

- Alzado longitudinal. Rotura por cortante

El programa genera un gráfico dando los valores de los esfuerzos últimos y los de cálculo por cortante para la situación persistente o accidental a lo largo de la directriz del puente.

- Alzado longitudinal. Rotura por torsión

El programa genera un gráfico dando los valores de los esfuerzos últimos y los de cálculo por torsor para la situación persistente o accidental a lo largo de la directriz del puente.

- Alzado longitudinal. Clasificación de la sección

El programa necesita clasificar las secciones del puente para determinar el riesgo de inestabilidades locales como pandeo o abolladura. Esta clasificación depende de la geometría de la sección y del signo del flector actuante. El usuario obtiene un diagrama en que se da el valor de la clasificación de la sección transversal en cada uno de los nodos del puente.

- Alzado longitudinal. Ancho eficaz

El programa genera una gráfica en que se representa la variación de los coeficientes de anchura eficaz a lo largo del puente. Dichos coeficientes sirven para simular el efecto de no linealidad en la transmisión del esfuerzo rasante. Hay tres tipos de coeficientes:

- El que mide la reducción del voladizo de la losa superior.
- El que controla la reducción de la zona central de la losa superior.
- El que acota la reducción del ala inferior de la sección.

- Sección transversal. Tensiones normales

Esta opción permite obtener la figura de deformaciones y tensiones normales en una determinada sección del puente para una acción determinada o combinación en ELS.

- Sección transversal. Rotura a flexión

Esta opción permite obtener la figura de deformaciones y tensiones normales en rotura a flexión.

- Diagramas de interacción

CivilCAD2000 permite obtener diagramas de interacción flector-cortante-torsión de la sección transversal del puente mixto para los distintos nodos del tablero. Para ello el usuario debe introducir los puntos inicial y final en que obtener el diagrama de interacción.

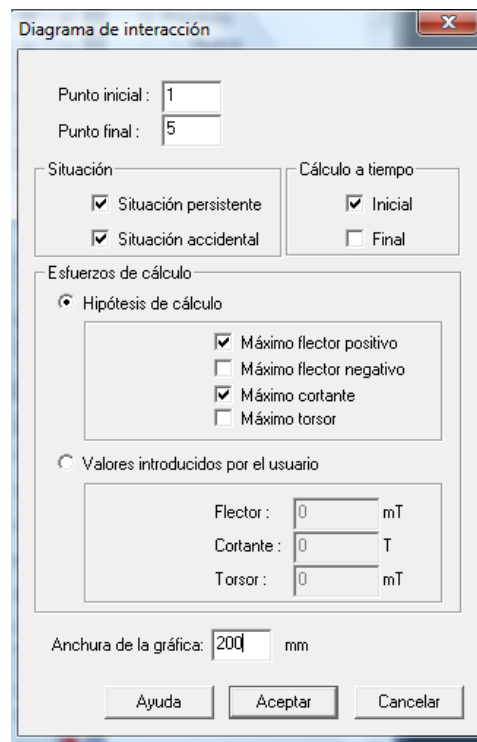


Figura 5.3-2: Cuadro de diálogo del diagrama de interacción.

Así mismo se debe seleccionar la situación de cálculo de Estado Límite Último (Persistente o Accidental o ambas) y si el cálculo se desea realizar a tiempo inicial, final o en ambos. Finalmente *CiviCAD2000* ofrece la posibilidad de obtener el diagrama de interacción para unos esfuerzos introducidos por el usuario o bien para los esfuerzos correspondientes al máximo flector positivo (con el cortante y torsor concomitante), y/o al máximo flector negativo (con el cortante y torsor concomitante), y/o al máximo cortante en valor absoluto (con el flector y torsor concomitantes) y/o al máximo torsor en valor absoluto (con el flector y torsor concomitante correspondientes a la situación seleccionada). El programa dibujará todos los diagramas de interacción derivados de las selecciones realizadas por el usuario.

El diagrama se obtiene de acuerdo con el apartado 6.3.6.1 de la RPX-95. *CivilCAD2000* genera el diagrama de interacción asociado al torsor T_d y representa el punto (V_d, M_d) de los esfuerzos concomitantes entrados. Para la interacción entre torsor último y el flector y cortante se han seguido los mismos criterios que los reflejados en el apartado 6.3.6.6 de las citadas recomendaciones.