

**Versión**  
**noviembre de 2012**

**Programa**

# **RFEM 5**

**Cálculo de estructuras por el  
método de los elementos finitos**

## **Ejemplo introductorio**

Todos los derechos reservados, incluidos los de traducción.

El contenido de esta publicación no podrá reproducirse ni total ni parcialmente, ni por procedimientos mecánicos, ni electrónicos o por cualquier otro medio, incluyendo la fotocopia sin el permiso previo de ING.-SOFTWARE DLUBAL.

© Ing.-Software Dlubal

**Am Zellweg 2, D-93464 Tiefenbach**

Tel.: +49 (0) 9673 9203-0

Fax: +49 (0) 9673 9203-51

Correo electrónico: [info@dlubal.com](mailto:info@dlubal.com)

Web: [www.dlubal.com/es](http://www.dlubal.com/es)



# Contenidos

|            | Contenidos                                              | Página    |            | Contenidos                                        | Página    |
|------------|---------------------------------------------------------|-----------|------------|---------------------------------------------------|-----------|
| <b>1.</b>  | <b>Introducción</b>                                     | <b>4</b>  | <b>5.2</b> | <b>Caso de carga 2: Sobrecarga de uso, zona 1</b> | <b>29</b> |
| <b>2.</b>  | <b>Sistema y cargas</b>                                 | <b>5</b>  | <b>5.3</b> | <b>Caso de carga 3: Sobrecarga de uso, zona 2</b> | <b>31</b> |
| <b>2.1</b> | <b>Boceto del sistema</b>                               | <b>5</b>  | 5.3.1      | Carga superficial                                 | 31        |
| <b>2.2</b> | <b>Materiales, espesores y secciones</b>                | <b>5</b>  | 5.3.2      | Carga lineal                                      | 32        |
| <b>2.3</b> | <b>Cargas</b>                                           | <b>6</b>  | <b>5.4</b> | <b>Caso de carga 4: Imperfecciones</b>            | <b>33</b> |
| <b>3.</b>  | <b>Creación del modelo</b>                              | <b>7</b>  | <b>5.5</b> | <b>Comprobación de casos de carga</b>             | <b>35</b> |
| <b>3.1</b> | <b>Iniciar RFEM</b>                                     | <b>7</b>  | <b>6.</b>  | <b>Combinación de casos de carga</b>              | <b>36</b> |
| <b>3.2</b> | <b>Creación del modelo</b>                              | <b>7</b>  | <b>6.1</b> | <b>Crear combinaciones de carga</b>               | <b>36</b> |
| <b>4.</b>  | <b>Datos estructurales</b>                              | <b>8</b>  | <b>6.2</b> | <b>Crear combinaciones de resultados</b>          | <b>40</b> |
| <b>4.1</b> | <b>Ajustar ventana de trabajo y rejilla</b>             | <b>8</b>  | <b>7.</b>  | <b>Cálculo</b>                                    | <b>41</b> |
| <b>4.2</b> | <b>Crear superficies</b>                                | <b>10</b> | <b>7.1</b> | <b>Comprobación de los datos de entrada</b>       | <b>41</b> |
| 4.2.1      | Primera superficie rectangular                          | 10        | <b>7.2</b> | <b>Generación de la malla de EF</b>               | <b>42</b> |
| 4.2.2      | Segunda superficie rectangular                          | 11        | <b>7.3</b> | <b>Cálculo de la estructura</b>                   | <b>42</b> |
| 4.2.3      | Conectar líneas                                         | 13        | <b>8.</b>  | <b>Resultados</b>                                 | <b>43</b> |
| <b>4.3</b> | <b>Crear barras</b>                                     | <b>13</b> | <b>8.1</b> | <b>Resultados gráficos</b>                        | <b>43</b> |
| 4.3.1      | Vigas de soporte                                        | 13        | <b>8.2</b> | <b>Tablas de resultados</b>                       | <b>45</b> |
| 4.3.1.1    | Viga de acero                                           | 13        | <b>8.3</b> | <b>Filtrar resultados</b>                         | <b>47</b> |
| 4.3.1.2    | Vigas en T                                              | 16        | 8.3.1      | Visibilidades                                     | 47        |
| 4.3.2      | Pilares                                                 | 18        | 8.3.2      | Resultados en objetos                             | 48        |
| <b>4.4</b> | <b>Disposición de apoyos</b>                            | <b>22</b> | <b>8.4</b> | <b>Mostrar diagramas de resultados</b>            | <b>50</b> |
| <b>4.5</b> | <b>Conectar barras con articulación y excentricidad</b> | <b>24</b> | <b>9.</b>  | <b>Documentación</b>                              | <b>51</b> |
| 4.5.1      | Articulación                                            | 24        | <b>9.1</b> | <b>Creación del informe</b>                       | <b>51</b> |
| 4.5.2      | Excentricidad de la barra                               | 25        | <b>9.2</b> | <b>Ajuste del informe</b>                         | <b>52</b> |
| <b>4.6</b> | <b>Comprobación de los datos de entrada</b>             | <b>26</b> | <b>9.3</b> | <b>Incluir gráficos en el informe</b>             | <b>53</b> |
| <b>5.</b>  | <b>Cargas</b>                                           | <b>27</b> | <b>10.</b> | <b>Conclusiones</b>                               | <b>56</b> |
| <b>5.1</b> | <b>Caso de carga 1: Peso propio y acabados</b>          | <b>27</b> |            |                                                   |           |
| 5.1.1      | Peso propio                                             | 28        |            |                                                   |           |
| 5.1.2      | Estructura del forjado                                  | 28        |            |                                                   |           |

# 1. Introducción

Con el presente ejemplo introductorio nos gustaría darle a conocer las funciones más importantes de RFEM. Con frecuencia, existen varias opciones para conseguir sus objetivos. Dependiendo de la situación y sus preferencias, puede jugar con el software para aprender más sobre las posibilidades del programa. Con este sencillo ejemplo, queremos animarle a encontrar las útiles funciones existentes en RFEM.

Modelaremos una losa de forjado soportada mediante pilares incluyendo dos vigas en T. A continuación, calcularemos la estructura de acuerdo con el análisis lineal estático y de segundo orden con respecto a los siguientes casos: peso propio incluyendo los acabados, sobrecarga de uso e imperfección.

El ejemplo introductorio se puede introducir, calcular y evaluar también con las restricciones de la demo - máximo 2 superficies y 12 barras. Por este motivo, esperamos que entienda que el modelo satisfaga los proyectos de construcción reales tan sólo con cierto alcance. Con las funciones presentadas, queremos mostrar cómo se pueden definir objetos estructurales y de carga de varias maneras.



Note que los datos del modelo no se pueden guardar en la versión demo. Por tanto, recomendamos que se tome el tiempo necesario (aproximadamente una hora) para que se puedan probar con tranquilidad las funciones. Sin embargo, siempre que no cierre RFEM, es posible interrumpir su trabajo en el modelo en la versión demo: cuando quiera tomar una pausa, no apague el equipo, déjelo en modo de espera.



Es más fácil introducir los datos si se utilizan dos pantallas, o se puede imprimir la descripción para evitar tener que cambiar entre los datos del archivo PDF y la entrada de datos de RFEM.



El texto del manual muestra los **botones** descritos entre corchetes, por ejemplo [Aplicar]. Al mismo tiempo, se ilustran a la izquierda. Además, las **expresiones** utilizadas en los cuadros de diálogo, tablas y menús se disponen en *cursiva* para clarificar las expresiones. La entrada de datos necesitada está escrita en **negrita**.

Puede mirar la descripción de las funciones del programa en el manual de RFEM, el cual se puede descargar del sitio web de Dlubal en <http://www.dlubal.com/es/downloading-manuals.aspx>.

El archivo **Ejemplo-06-RFEM.rf5** que contiene los datos del modelo del presente ejemplo, se puede encontrar en el proyecto llamado *Ejemplos* que se creó automáticamente durante la instalación. Sin embargo, para los primeros pasos con RFEM se recomienda introducir el modelo manualmente. Si no se dispone de tiempo para ello, se pueden ver los videos en nuestro sitio web en <http://www.dlubal.com/es/videos-de-la-categoria-de-rfem-elementos-finitos.aspx>.

## 2. Sistema y cargas

### 2.1 Boceto del sistema

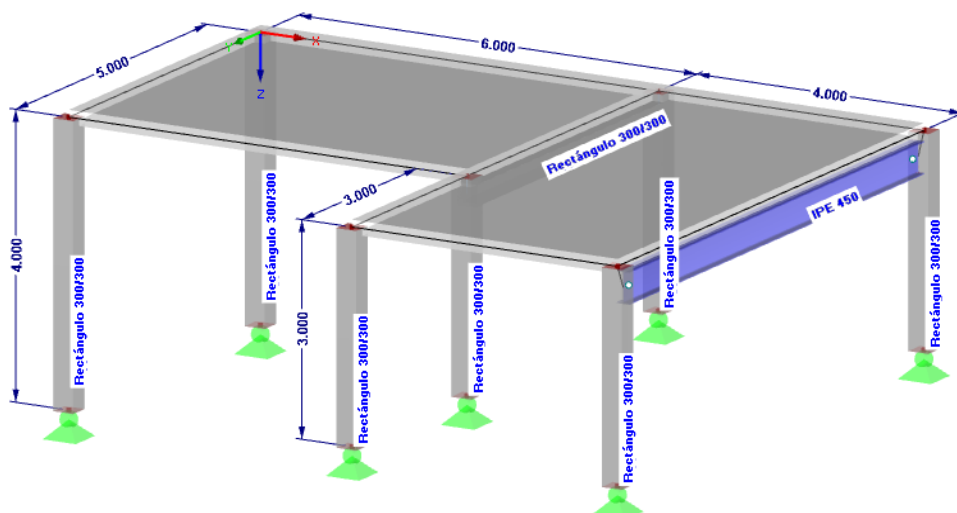


Figura 2.1: Sistema estructural

El forjado de hormigón armado se compone de dos losas de forjado continuas con una viga en T de hormigón armado y otra compuesta de acero. La construcción se soporta mediante pilares, que son resistentes a flexión y están integrados en la losa.

Como comentado anteriormente, el modelo representa una estructura "abstracta" que puede ser calculada también en la versión demo, cuyas funciones están restringidas a un máximo de 2 superficies y 12 barras.

### 2.2 Materiales, espesores y secciones

Como materiales se emplean el hormigón (concreto) C30/37 y el acero S 235.

El espesor del forjado es de 20 cm. Los pilares de hormigón y la viga en T se componen de secciones cuadradas con longitudes laterales de 30 cm. Para la viga de acero se utiliza una sección IPE 450.

### 2.3 Cargas

#### **Caso de carga 1: peso propio con acabados (carga permanente)**

La primera carga de la estructura es el peso propio incluyendo la estructura del forjado que se aplica con  $0,75 \text{ kN/m}^2$ . El peso propio no se necesita determinar manualmente. RFEM calculará el peso automáticamente según los materiales, espesores de superficies y secciones definidos.

#### **Caso de carga 2: sobrecarga de uso, zona 1**

La superficie del forjado representa un área doméstica de categoría A2 con una sobrecarga de uso de  $1,5 \text{ kN/m}^2$ . La carga se aplica en dos casos de carga diferentes para determinar los efectos de continuidad.

#### **Caso de carga 3: sobrecarga de uso, zona 2**

La sobrecarga de uso de  $1,5 \text{ kN/m}^2$  se aplica en la segunda zona. Además, se considera una carga lineal de  $5,0 \text{ kN/m}$  actuando verticalmente en el borde del forjado, representando una carga debida a la estructura de un balcón.

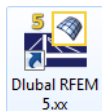
#### **Caso de carga 4: imperfecciones**

Frecuentemente, se han de considerar las imperfecciones, por ejemplo según el Eurocódigo 2. Las inclinaciones y contraflechas se pueden tratar en un caso de carga separado. Por tanto, es posible asignar unos coeficientes parciales de seguridad al combinar la carga con otras acciones.

La inclinación se simplifica para todos los pilares asumiendo  $\varphi_0 = 1/200$  contra la dirección Y. No es necesario considerar las contraflechas de acuerdo con el Eurocódigo 12.

## 3. Creación del modelo

### 3.1 Iniciar RFEM



Para iniciar RFEM en la barra de herramientas,

haga clic en **Inicio**, sitúese en **Programas**, luego en **Dlubal**, y finalmente seleccione **Dlubal RFEM 5.xx**

o haga doble clic en el icono **Dlubal RFEM 5.xx** en el escritorio de su equipo.

### 3.2 Creación del modelo

La ventana de trabajo de RFEM aparece mostrando el cuadro de diálogo siguiente. Se pedirá introducir los datos básicos del nuevo modelo.

En caso que RFEM ya esté mostrando un modelo, ciérrelo haciendo clic en **Cerrar** en el menú **Archivo**. Luego, abra el cuadro de diálogo *Datos básicos* haciendo clic en **Nuevo** en el menú **Archivo**.

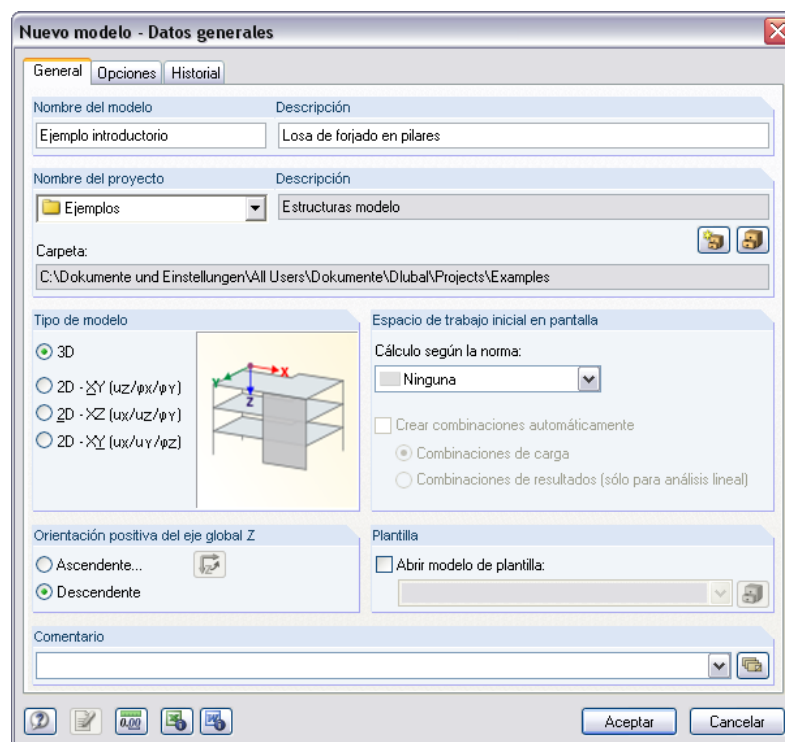


Figura 3.1: Cuadro de diálogo *Nuevo modelo - Datos básicos*

Escriba **Ejemplo introductorio** en el campo de entrada *Nombre del modelo*. En la parte derecha, introduzca por ejemplo **Losa de forjado en pilares** en el campo de entrada *Descripción*. Siempre se ha de definir un *Nombre del modelo* porque éste determina el nombre del archivo de RFEM. El campo *Descripción* no se necesita rellenar necesariamente.

En el campo de entrada *Nombre del proyecto*, seleccionaremos **Ejemplos** de la lista si no se presenta de forma predeterminada. La *Descripción* y la *Carpeta* del proyecto correspondiente se muestran automáticamente.

En la sección de diálogo *Tipo de modelo*, la opción **3D** está predefinida. Este ajuste permite un modelado en tres dimensiones. Se mantiene también la configuración predeterminada **Descendente** para la *Orientación positiva del eje global Z*.

Los datos básicos del modelo ya están definidos. Cierre el cuadro de diálogo haciendo clic en el botón [Aceptar]

## 4. Datos estructurales

### 4.1 Ajustar ventana de trabajo y rejilla

La ventana de trabajo de RFEM se muestra vacía.

#### Vista



Primero, haga clic en el botón de [Maximizar] en la barra de título para agrandar la ventana de trabajo. Los ejes de coordenadas se muestran con las direcciones globales X, Y, Z mostradas en el espacio de trabajo.



Para cambiar la posición del eje de coordenadas, haga clic en el botón [Encuadre (mover, aplicar zoom, girar)] en la barra de herramientas situada en la parte superior. El puntero se convierte en una mano. Ahora, se puede posicionar el plano de trabajo de acuerdo con sus preferencias moviendo el puntero y manteniendo presionado el botón primario del ratón.

Además, se puede utilizar la mano para aplicar un zoom o girar la vista:

- Zoom: mover el puntero y mantener pulsada la tecla [Mayúsculas]
- Giro: mover el puntero y mantener pulsada la tecla [Ctrl]

Para salir de la función, existen diferentes maneras:

- Hacer clic en el icono de nuevo.
- Pulsar [Esc] en el teclado.
- Hacer clic con el botón secundario en el espacio de trabajo.

#### Funciones del ratón

Las funciones del ratón siguen los estándares generales de las aplicaciones de Windows. Para seleccionar un objeto para su posterior edición, haga clic una vez con el botón **primario** del ratón. Haga doble clic en el objeto cuando quiera abrir su cuadro de diálogo para la edición.

Cuando se hace clic en un objeto con el botón **secundario** del ratón, aparece su menú contextual mostrando comandos relacionados con el objeto y funciones.



Para cambiar el tamaño del modelo mostrado, utilizamos el **botón de rueda** del ratón. Presionando el botón de rueda se puede mover el modelo directamente. Si además se presiona la tecla [Ctrl], se puede girar la estructura. El giro de la estructura también es posible utilizando el botón rueda y manteniendo presionado el botón secundario al mismo tiempo. Los símbolos del puntero mostrados a la izquierda muestran la función seleccionada.



## Rejilla

La rejilla forma parte del fondo del plano de trabajo. En el cuadro de diálogo *Plano de trabajo y rejilla/forzar cursor*, se puede ajustar la separación de los puntos de rejilla. Para abrir el cuadro de diálogo, utilice el botón [Configuración del plano de trabajo].

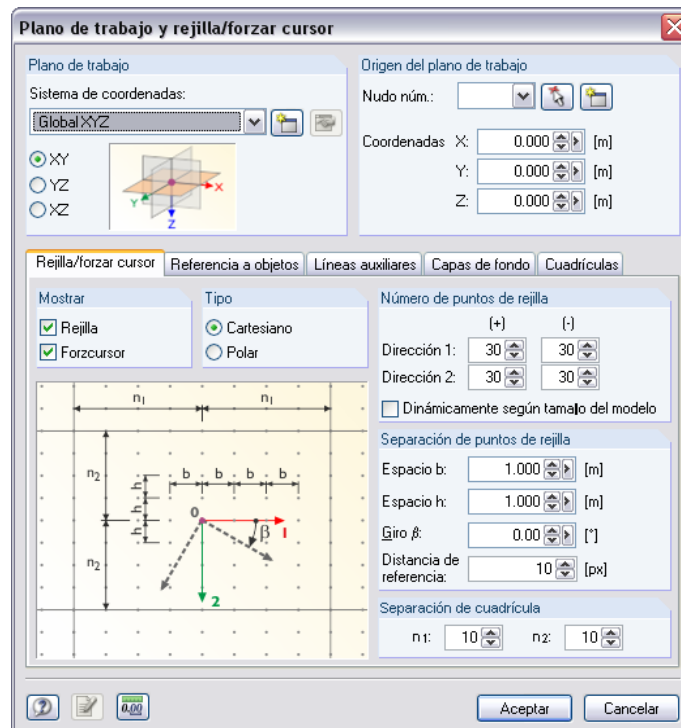


Figura 4.1: Cuadro de diálogo *Plano de trabajo y rejilla/forzar cursor*

FORZC REJILLA

Para la introducción de datos en los puntos de rejilla, es importante que los campos de control *FORZC* y *REJILLA* estén activos en la barra de estado. De esta manera, la rejilla se vuelve visible y los puntos se forzarán a la rejilla al hacer clic.

## Plano de trabajo

El plano de trabajo XY está definido como plano de trabajo de manera predeterminada. Con esta configuración, todos los objetos introducidos gráficamente se generarán en el plano horizontal. El plano no tiene importancia para la entrada de datos en los cuadros de diálogo o tablas.

Los ajustes predeterminados son los apropiados para el presente ejemplo. Cierre el cuadro de diálogo con el botón [Aceptar] e inicie la entrada de datos del modelo.

## 4.2 Crear superficies

Sería posible definir primero los nudos en las esquinas para unirlos con líneas, las cuales se podrían usar para crear el forjado. Pero en el presente ejemplo se utilizará la introducción gráfica directa de líneas y superficies.

Puede definir el techo como una superficie continua por medio de líneas de contorno. Sin embargo, también es posible representar el forjado mediante dos superficies rectangulares unidas rígidamente en una línea común. La segunda manera de modelado hace más fácil la aplicación de cargas en las dos zonas.

### 4.2.1 Primera superficie rectangular

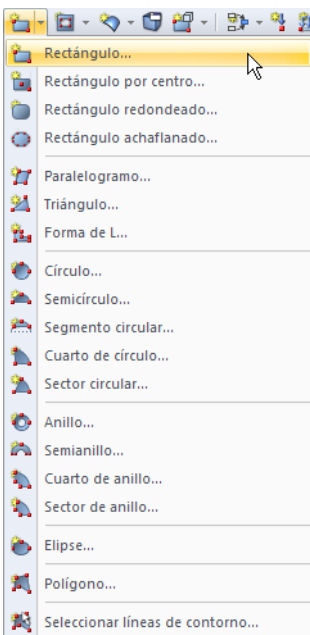
Para crear losas rectangulares rápidamente,

haga clic en **Datos del modelo** en el menú **Insertar**, luego señale en **Superficies, Plana y Gráficamente** seleccionando **Rectángulo**,

o bien se puede usar el correspondiente botón lista de la selección de superficies planas. Haga clic en el botón de flecha [▼] para abrir un menú desplegable ofreciendo una gran selección de geometrías de superficies.

Con el elemento del menú [Rectángulo], se puede definir la losa directamente. Los nudos y líneas relacionados se crearán automáticamente.

Después de la selección de esta función, se abre el cuadro de diálogo *Nueva superficie rectangular*.



Botón lista para superficies planas

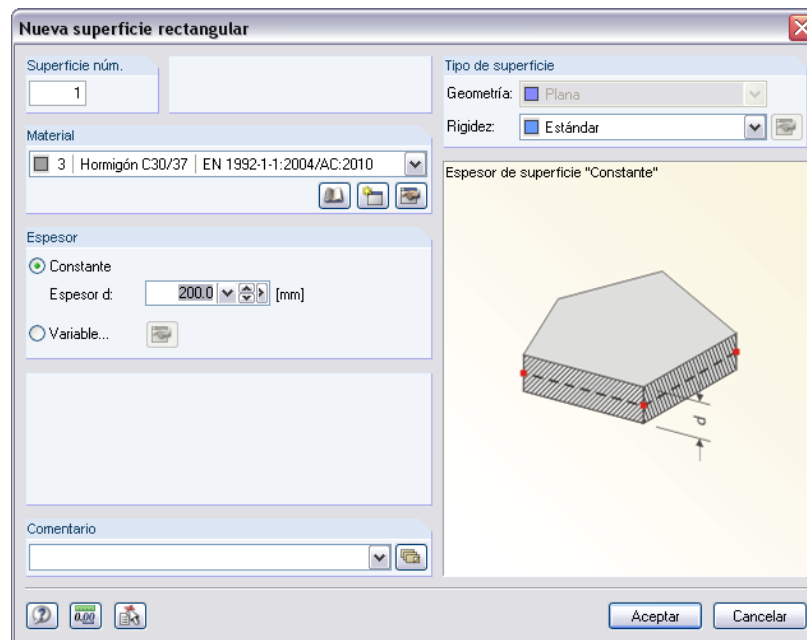


Figura 4.2: Cuadro de diálogo *Nueva superficie rectangular*

La *Superficie núm.* de la nueva losa rectangular se especifica con 1. No es necesario cambiar este número.

El *Material* está predefinido como *Hormigón C30/37* según EN 1992-1-1. Si quisiéramos utilizar un material diferente, se puede seleccionar otro por medio del botón [Biblioteca de materiales].

El *Espesor* de la superficie es *Constante*. Incremente el valor *d* a **200** mm por medio del cuadro de número o mediante la entrada directa.

En la sección de diálogo *Tipo de superficie* la *Rigidez* está predefinida como *Estándar*.



Cierre el cuadro de diálogo con el botón [Aceptar] e inserte los datos de la losa gráficamente.

La definición de la superficie se puede hacer más fácil al definir la vista en dirección de Z (vista superior) mediante el botón mostrado a la izquierda. El modo de entrada de datos no se verá afectado.

Para definir la primera esquina, haga clic en el botón primario dentro del **origen de coordenadas** (coordenadas X/Y/Z **0.000/0.000/0.000**). Las coordenadas del puntero actual se muestran a lado del retículo. Seguidamente, defina la esquina opuesta de la losa haciendo clic en el punto de rejilla con las coordenadas X/Y/Z **6.000/5.000/0.000**.

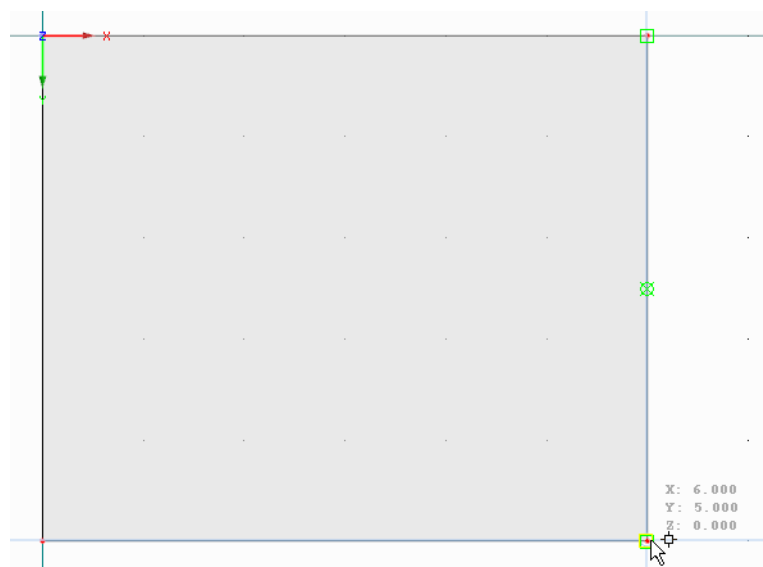


Figura 4.3: Superficie rectangular 1

RFEM creará cuatro nudos, cuatro líneas y una superficie.

### 4.2.2 Segunda superficie rectangular

Como la función está todavía activa, se puede definir la siguiente superficie de manera inmediata. Haga clic en el nudo **4** con las coordenadas **6.000/0.000/0.000**, y luego seleccione el punto de rejilla con las coordenadas **10.000/8.000/0.000**.

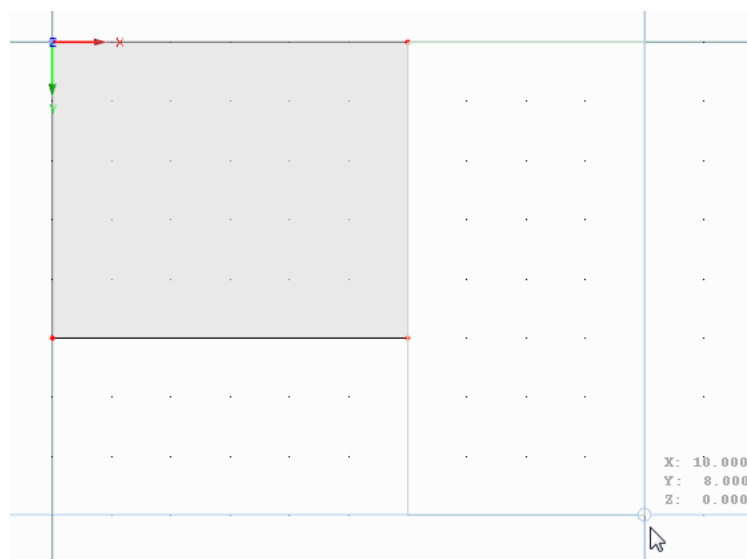


Figura 4.4: Superficie rectangular 2

Como no es necesario crear más losas, quite el modo de entrada de datos mediante la tecla [Esc]. Se puede utilizar también el botón secundario del ratón en un área vacía de la ventana de trabajo.



### Mostrar numeración

Si se quiere mostrar la numeración de los nudos, líneas y superficies, haga clic con el botón secundario en un área vacía de la ventana de trabajo. Aparece un menú contextual con útiles funciones. Active la *numeración*.

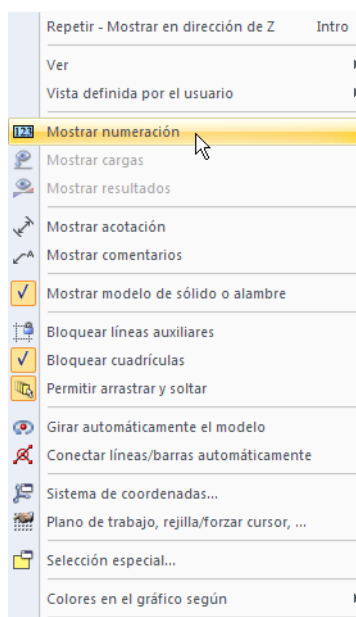


Figura 4.5: Mostrar numeración en el menú contextual

Se puede utilizar la pestaña *Mostrar* en el Navegador para controlar la numeración de los objetos en detalle.

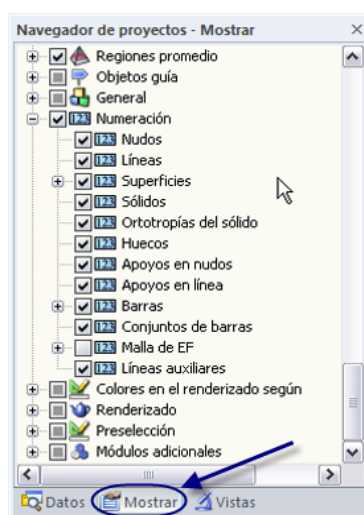


Figura 4.6: Navegador *Mostrar* para la numeración

### 4.2.3 Conectar líneas

Al definir la segunda superficie, se definió una línea de contorno sobre la línea ya existente, que es la línea de unión de ambas superficies. Para corregirlo rápidamente,



seleccione **Conectar líneas/barras** en el menú **Herramientas**

o bien utilice el botón de la barra de herramientas que se muestra a la izquierda.

Después de activar la función de conexión, se puede dibujar una ventana con el puntero a lo largo del modelo entero. Las líneas se ajustarán automáticamente.

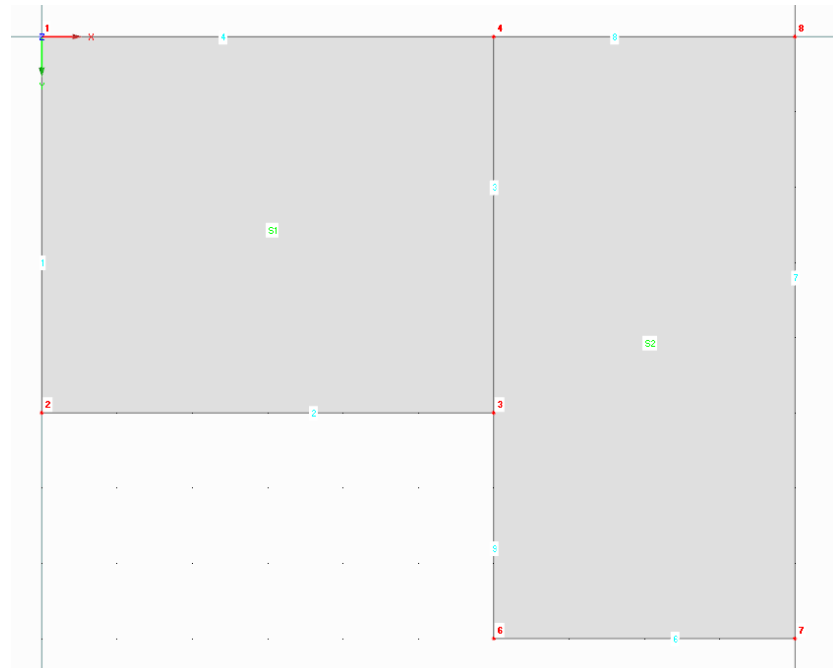


Figura 4.7: Resultado con el ajuste de líneas

Cierre el modo de entrada con la tecla [Esc] o con el botón secundario en el espacio de trabajo vacío.

## 4.3 Crear barras

### 4.3.1 Vigas de soporte

Se van a especificar las propiedades de las líneas 3 y 7 para definir dos vigas en T.

#### 4.3.1.1 Viga de acero

Abra el cuadro de diálogo *Editar línea* haciendo doble clic en la línea 7.

Cambie a la segunda pestaña *Barra* y marque la casilla de verificación de la opción *Disponible* (ver Figura 4.8). Aparece el cuadro de diálogo *Nueva barra*.

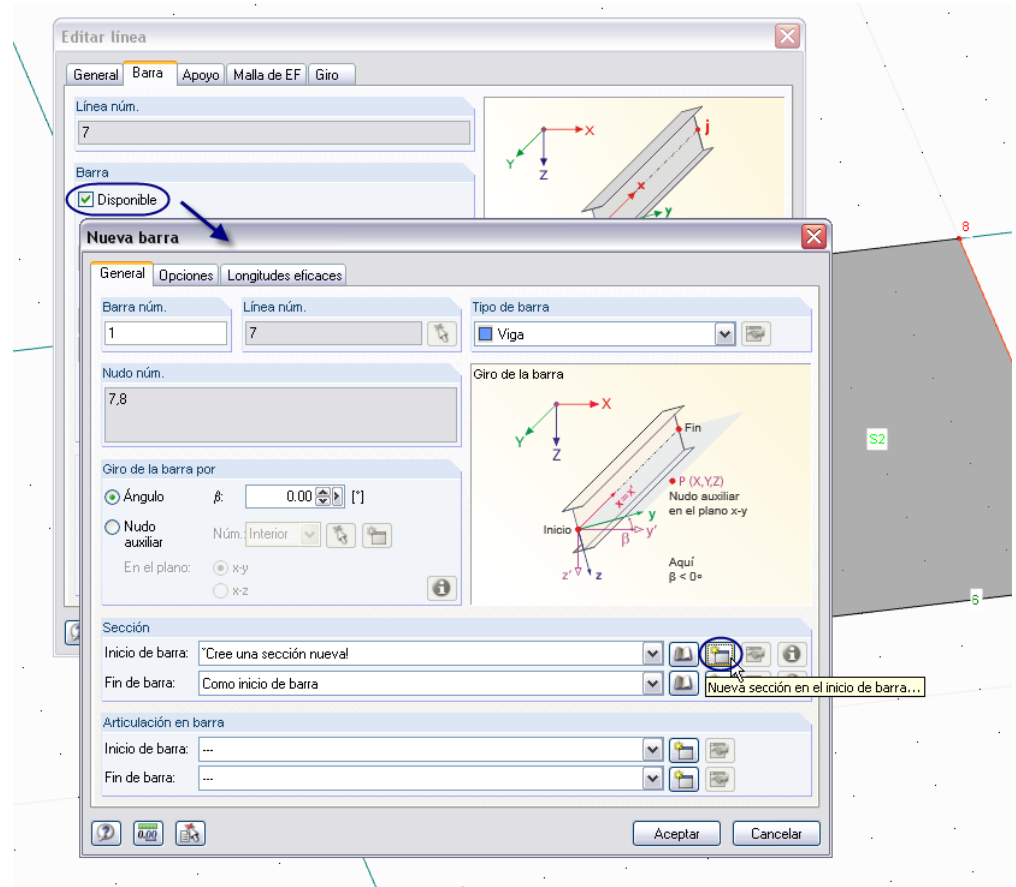


Figura 4.8: Cuadro de diálogo Nueva barra



No es necesario cambiar los ajustes predeterminados. Sólo se tiene que crear una *sección*. Para definir la sección en el *Inicio de barra*, haga clic en el botón [Nuevo].



Aparece el cuadro de diálogo *Nueva barra*. Haga clic en el botón [IPE] en la parte superior del cuadro de diálogo. Se abre el cuadro de diálogo *Secciones laminadas - Secciones en I*, donde se puede seleccionar la sección **IPE 450** de la tabla de secciones IPE (ver Figura 4.9).

Para secciones laminadas, RFEM tiene predefinido el número 2 - *Acero 235* como *Material*.

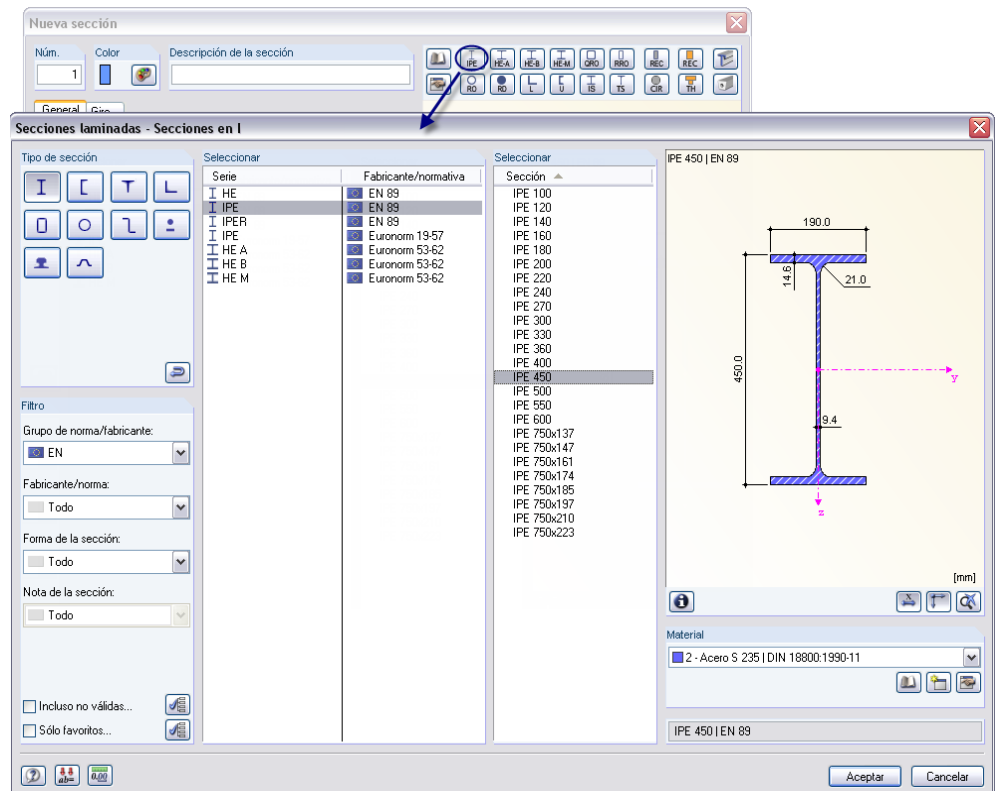


Figura 4.9: Selección de la sección IPE 450

Haga clic en [Aceptar] para importar los valores de la sección al cuadro de diálogo *Nueva sección*.

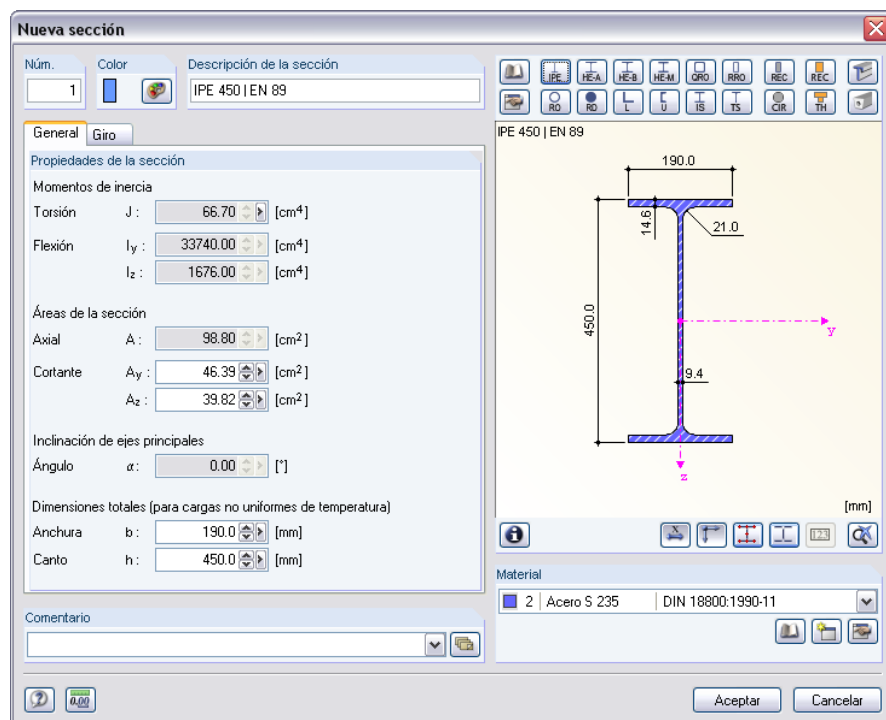


Figura 4.10: Cuadro de diálogo *Nueva sección* con propiedades de la sección

Haga clic en [Aceptar] y regrese al cuadro de diálogo inicial *Nueva barra*. Ahora, el campo de entrada *Inicio de barra* muestra la nueva sección. Cierre el cuadro de diálogo con [Aceptar]. Cie-

re también el cuadro de diálogo *Editar línea* con el botón [Aceptar]. La viga de acero aparece ahora en el borde del forjado.

#### 4.3.1.2 Vigas en T

Defina la viga de soporte bajo el techo de la misma manera: haga doble clic en la línea 3 para abrir el cuadro de diálogo *Editar línea*, y en la pestaña *Barra*, y seleccione la opción *Disponible* (ver Figura 4.8).

#### Definición de la sección

Aparece el cuadro de diálogo *Nueva barra*. Para definir la sección en el *Inicio de barra*, haga clic en el botón [Nueva] (ver Figura 4.8).

En la parte superior del cuadro de diálogo *Nueva sección*, seleccione la tabla de secciones macizas *REC* rectangulares. Se abre el cuadro de diálogo *Secciones macizas - Rectángulo* donde puede definir el ancho  $b$  y el canto  $h$  con **300 mm**.

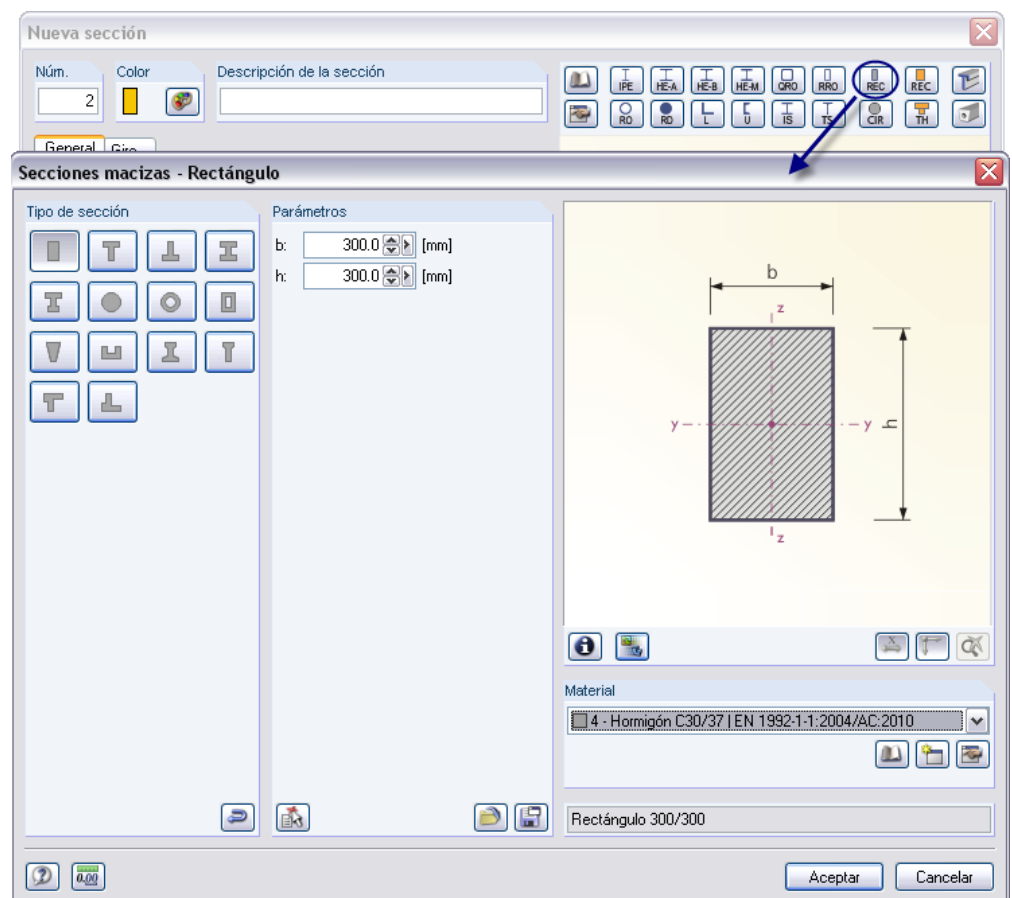


Figura 4.11: Cuadro de diálogo *Secciones macizas - Rectángulo*



Se puede utilizar el botón de [Información] para comprobar las propiedades de la sección.

Para las secciones macizas, RFEM tiene como predefinido el *1 - Hormigón C30/37* como *Material*.

Haga clic en [Aceptar] para importar los valores de sección al cuadro de diálogo *Nueva sección*.

Haga clic en [Aceptar] y regrese al cuadro de diálogo inicial *Nueva barra*. Ahora, el campo de entrada *Inicio de barra* muestra la sección rectangular.



### Definición del nervio

En RFEM una viga en T se puede modelar con el tipo de barra *Nervio*. Tan sólo cambie el *Tipo de barra* en el cuadro de diálogo *Nueva barra*: seleccione *Nervio* de la lista.

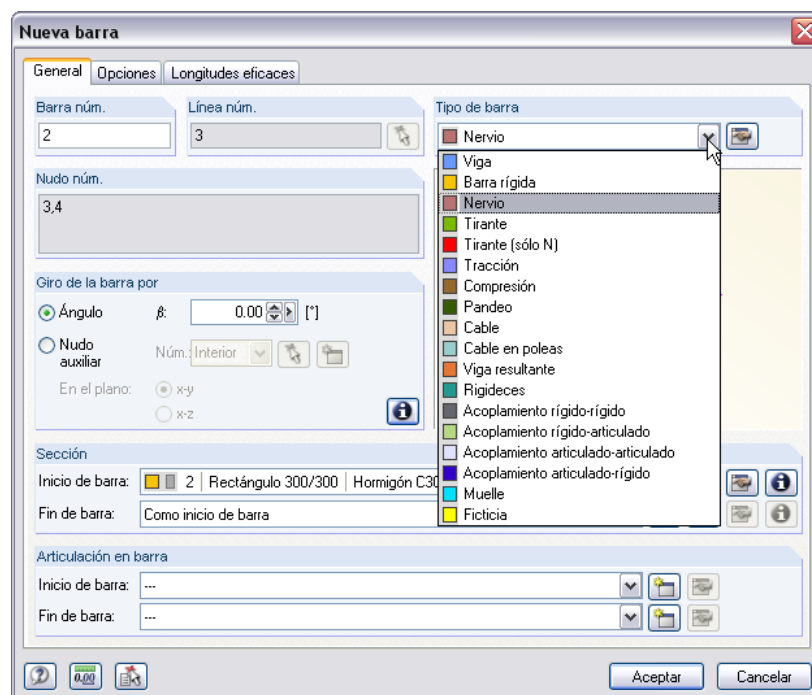


Figura 4.12: Cambiar el tipo de barra



Entonces, haga clic en el botón [Editar] a la derecha del menú desplegable para abrir el cuadro de diálogo *Nuevo nervio*.

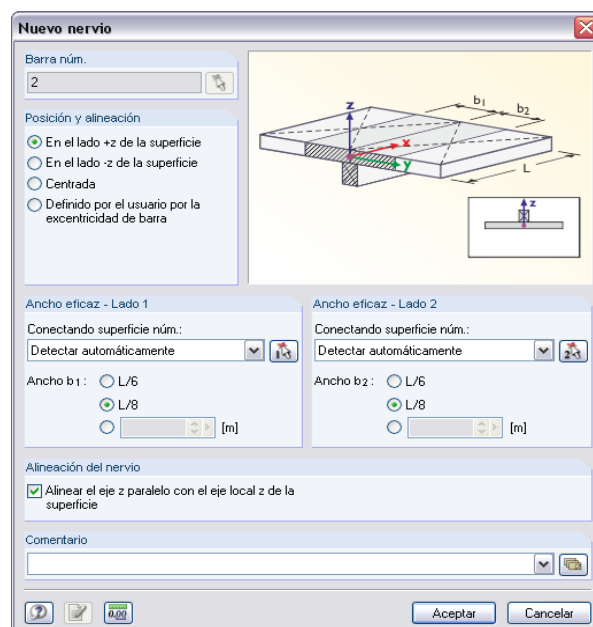


Figura 4.13: Definición del nervio

Defina la *Posición y alineación* del Nervio **En el lado +z de la superficie**. Puesto que el eje Z se definió como descendente, este será el lado inferior de la losa de forjado.

Para el *Ancho eficaz* especifique **L/8** para ambos lados. RFEM encontrará las superficies automáticamente. Cierre todos los cuadros de diálogo con el botón [Aceptar] y compruebe el resultado en la ventana de trabajo.

### Cambiar la vista

Utilice el botón de la barra de herramientas que figura a la izquierda para definir la [Vista isométrica] para así mostrar el modelo en una representación gráfica 3D.

Para ajustar la vista, utilice el botón [Encuadre] (ver "funciones del ratón" en la página 8). El puntero se convierte en una mano. Si además se mantiene presionada la tecla [Ctrl], se puede girar el modelo con el movimiento del puntero.

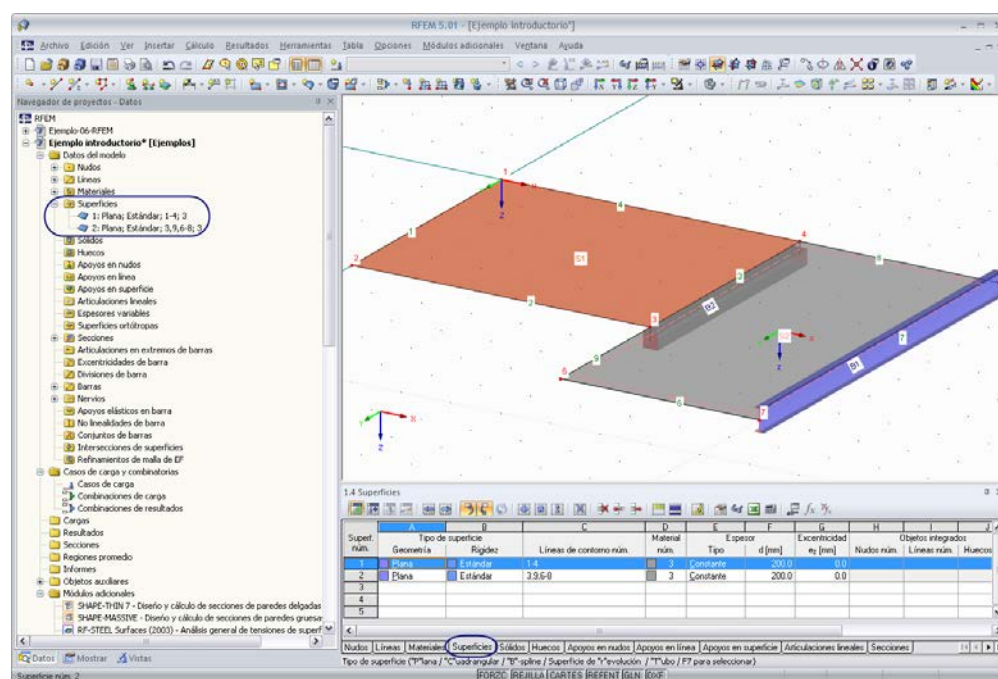


Figura 4.14: Modelo en vista isométrica con el navegador y entradas de tablas

### Comprobación de datos en el navegador y tablas

Todos los objetos introducidos se pueden encontrar en el árbol del directorio *Datos* y en las pestañas de la tabla. Las entradas en el navegador se pueden abrir (como en el Explorador de Windows) haciendo clic en el signo [+]. Para cambiar entre las tablas, haga clic en las pestañas de las tablas individuales.

Por ejemplo, en la entrada del navegador *Superficies* y en la tabla 1.4 *Superficies*, se pueden ver los datos de entrada de ambas superficies en forma numérica (ver figura anterior).

### 4.3.2 Pilares

La manera más cómoda de crear pilares es copiando los nudos de forjado hacia abajo, especificando ajustes particulares para el proceso de copia.

#### Selección de nudos

Primero, seleccione los nudos que se quieran copiar. Para abrir el correspondiente cuadro de diálogo,

seleccione **Seleccionar** en el menú **Edición**, y luego haga clic en **Especial** o bien utilice el botón de la barra de herramientas que se muestra a la izquierda.

El cuadro de diálogo *Selección especial* tiene como predeterminada la categoría *Nudos*. Como se desea seleccionar *Todos* los nudos, confirme el cuadro de diálogo sin modificar nada, haciendo clic en el botón [Aceptar].

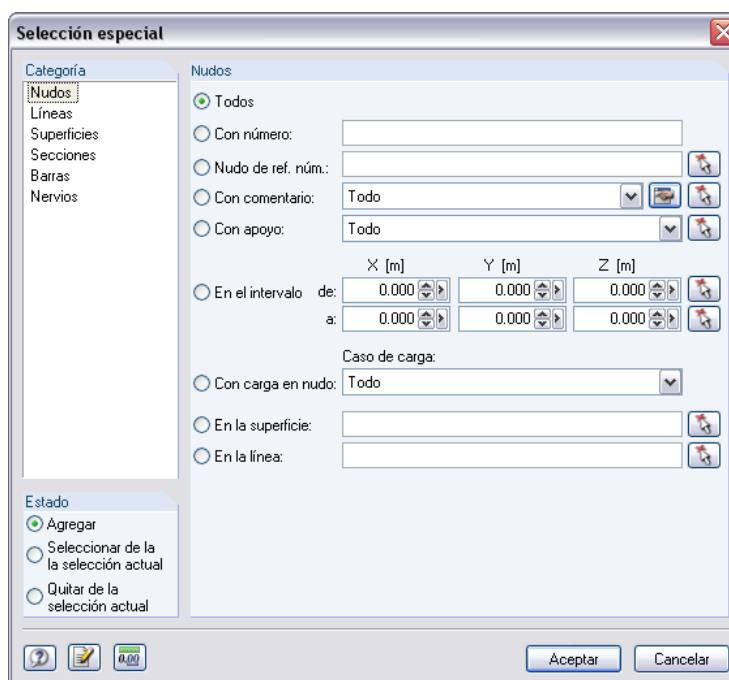


Figura 4.15: Cuadro de diálogo *Selección especial*

Los nudos seleccionados se muestran ahora con un color diferente. El amarillo está predeterminado con el fondo negro, el rojo si se tiene el fondo blanco.

### Copiar nudos

Utilice el botón que se muestra a la izquierda para abrir el cuadro de diálogo *Mover o copiar*.

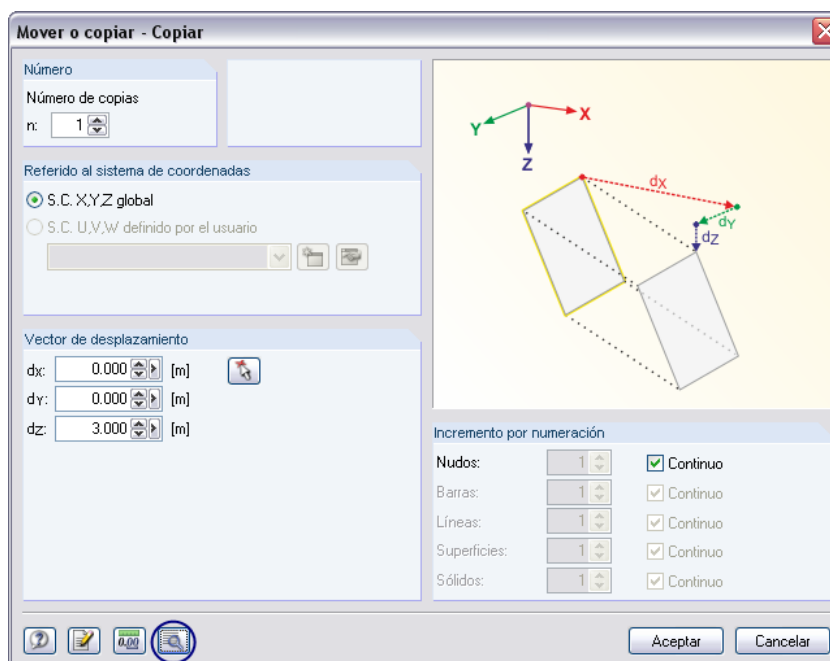


Figura 4.16: Cuadro de diálogo *Mover o copiar*

Incremente el *Número de copias* a **1**: con esta definición, los nudos no se moverán sino que se copiarán. Como los pilares son de 3 m de alto, introducimos el valor **3,0 m** para el *Vector de desplazamiento* en  $d_z$ .



Ahora, haga clic en el botón [Editar configuración avanzada] para especificar más ajustes.

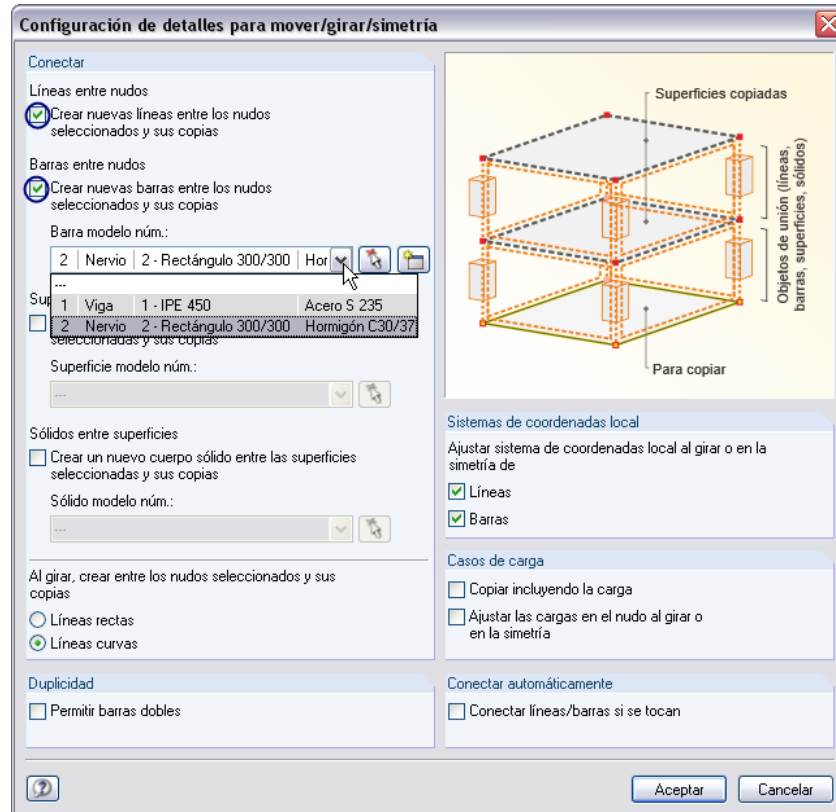


Figura 4.17: Cuadro de diálogo Configuración de detalles para mover/girar/simetría

En la sección de diálogo *Conectar*, haga clic en las casillas de verificación de las siguientes opciones:

- ☒ Crear nuevas líneas entre los nudos seleccionados y sus copias
- ☒ Crear nuevas barras entre los nudos seleccionados y sus copias

Luego, seleccione la barra **2** (Nervio) de la lista para definirla como una *Barra modelo*. De esta manera, las propiedades de las vigas en T (tipo de barra, sección, material) quedan predefinidas para los nuevos pilares.

Cierre ambos cuadros de diálogo mediante un clic en el botón [Aceptar].

### Editar superficies

Ya que se definió como barra modelo un *Nervio* con los anchos eficaces, ahora se tiene que ajustar el tipo de barra. Se va a seguir otra manera para la selección de los pilares.



Primero, seleccione la vista en dirección [-Y] mediante el botón que se muestra a la izquierda.

A continuación, utilice el puntero para dibujar una ventana de derecha a izquierda a lo largo de los nudos de las bases de los pilares. De esta manera, se seleccionan todos los objetos que están completamente o sólo parcialmente contenidos en la ventana, por tanto, se seleccionarán los pilares también. (Al trazar la ventana de izquierda a derecha, se seleccionan sólo aquellos objetos que están completamente contenidos en la misma).

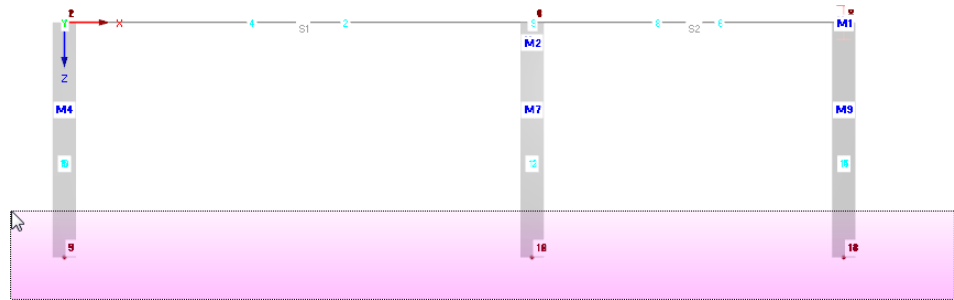


Figura 4.18: Selección con ventana

Ahora, haga doble clic en uno de los pilares seleccionados. Aparecerá el cuadro de diálogo *Editar barra*. Los números de las barras seleccionadas se ven en el campo del título *Barra núm.*.

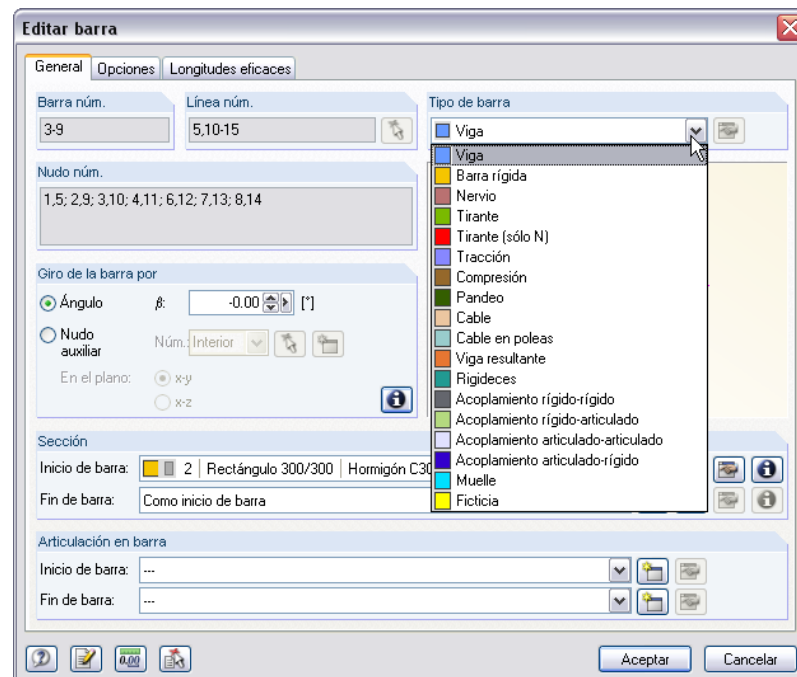


Figura 4.19: Ajustar el tipo de barra



Cambie el tipo de barra a **Viga** y cierre el cuadro de diálogo con el botón [Aceptar]. De nuevo, defina la [Vista isométrica] para mostrar nuestro modelo completamente.

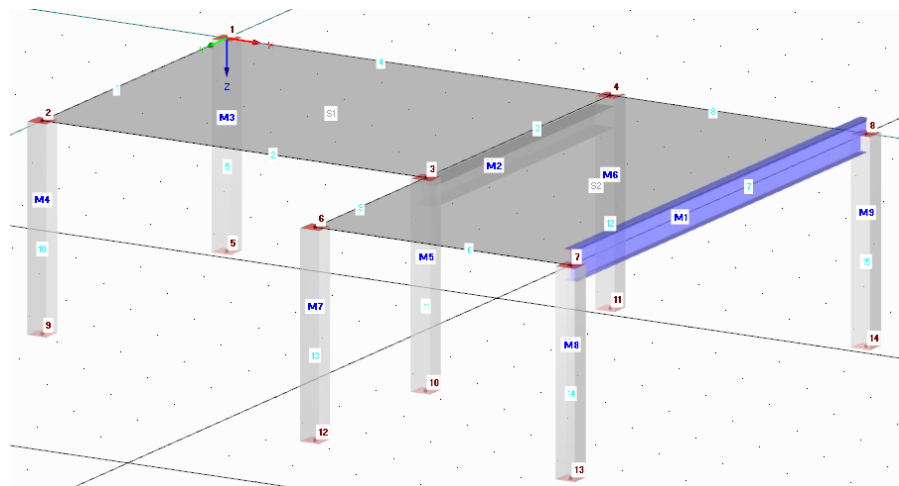


Figura 4.20: Vista isométrica completa

## 4.4 Disposición de apoyos

El modelo está todavía sin apoyos. En RFEM, se pueden asignar apoyos a los nudos, líneas, barras y superficies.

### Asignar apoyos en nudos

Los pilares se soportan en todas las direcciones en su base pero sin coacción.

Los nudos de la base y los pilares quedan seleccionados mientras no se haga clic en la ventana de trabajo. Si es necesario, seleccione los objetos de nuevo mediante la selección por ventana (ver Figura 4.18).

Ahora, haga doble clic en uno de los nudos de la base seleccionados. Al mirar la barra de estado en la parte inferior izquierda, se puede comprobar que el puntero está emplazado sobre el nudo relevante.

Se abre el cuadro de diálogo *Editar nudo*.

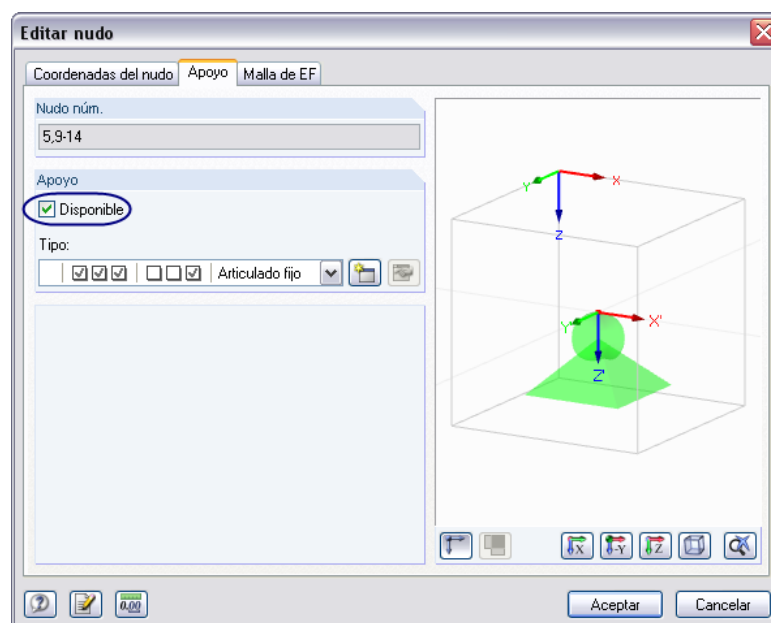


Figura 4.21: Cuadro de diálogo *Editar nudo*, pestaña *Apoyo*

En la pestaña *Apoyo*, haga clic en la casilla de verificación *Disponibile*. Con este ajuste se asignará el tipo de apoyo *Articulado fijo* en los nudos seleccionados.

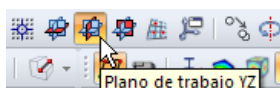
Después de hacer clic en el botón [Aceptar], se pueden ver los símbolos de los apoyos mostrados en el modelo.

### Cambiar el plano de trabajo

Se quiere corregir la longitud de dos pilares a la izquierda a 4 m. Para ello, cambie el plano de trabajo del plano horizontal al plano vertical.

Para establecer el [Plano de trabajo YZ], haga clic en el segundo de los tres botones de planos.

La rejilla se muestra ahora dentro del plano de los pilares de la izquierda. Esta configuración permite definir líneas gráficamente, o desplazar nudos en este plano de trabajo.



### Ajustar nudos de soporte

Esta vez, seleccione los nudos 9 y 5 uno detrás de otro, manteniendo presionada la tecla [Ctrl] antes de hacer clic.

Luego, sólo manteniendo presionado el botón primario del ratón, desplace uno de los nudos seleccionados **1 m** al punto de rejilla situado debajo. Tenga cuidado al seleccionar sólo el nudo y no la barra. De nuevo, puede comprobar los números de los nudos y las coordenadas del puntero en la barra de estado.

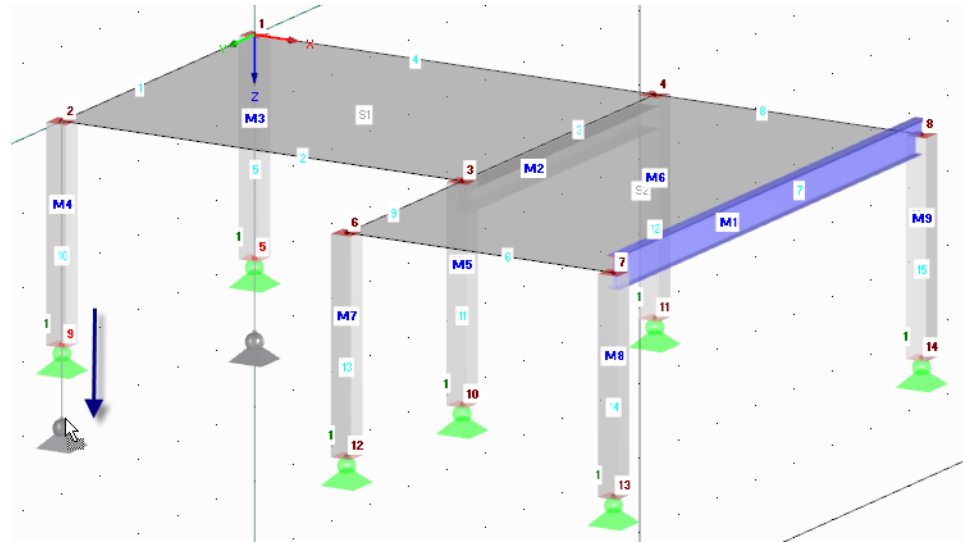


Figura 4.22: Desplazar dos nudos de apoyo seleccionados

De manera alternativa, sería posible también hacer doble clic en uno de los nudos y cambiar la correcta coordenada Z en el cuadro de diálogo *Editar nudo*, pestaña *Coordenadas del nudo*.

## 4.5 Conectar barras con articulación y excentricidad

### 4.5.1 Articulación

La viga de acero no puede transferir ningún momento flector en los pilares debido a su unión. Por tanto, se tienen que asignar articulaciones a ambos lados de la barra.

Haga doble clic en la barra 7 para abrir el cuadro de diálogo *Editar barra*.



En la sección de diálogo *Articulación en barra*, haga clic en el botón [Nueva] para definir un tipo de articulación para el *Inicio de barra* (consulte la Figura 4.25).



Figura 4.23: Cuadro de diálogo *Editar barra*, sección de diálogo *Articulación en barra*

Aparece el cuadro de diálogo *Nueva articulación en extremo de barra* donde se pueden seleccionar los esfuerzos internos que no se transfieren por la articulación. En el presente ejemplo, haga clic en las casillas de verificación para los momentos  $M_y$  y  $M_z$ .

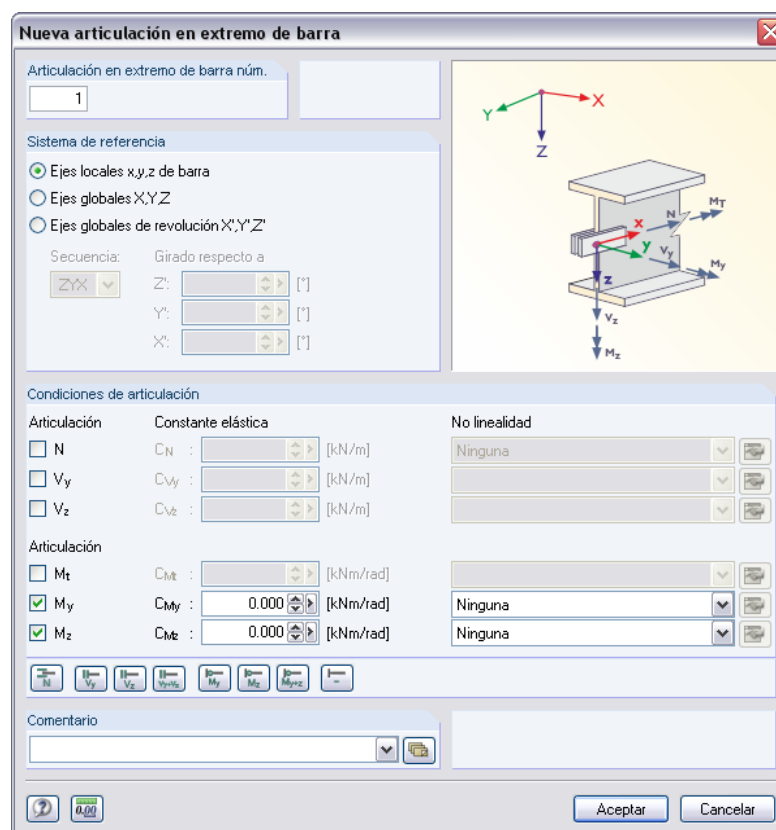
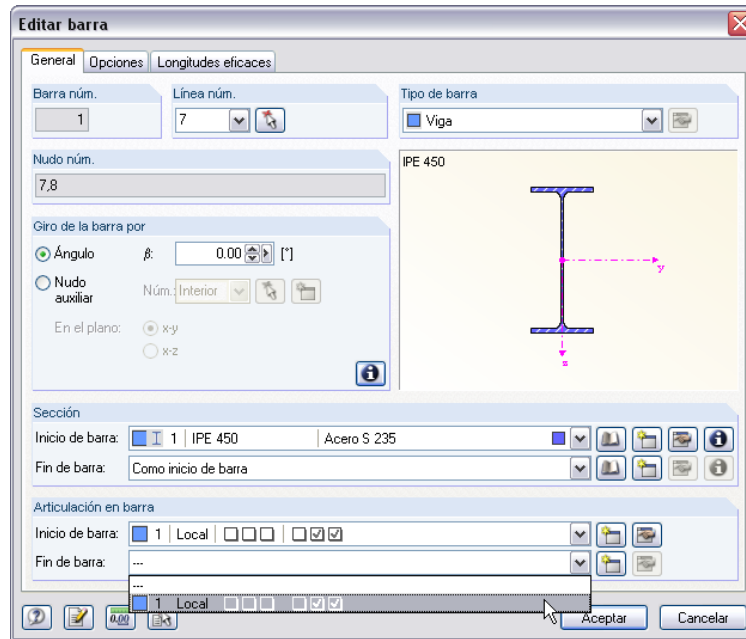


Figura 4.24: Cuadro de diálogo *Nueva articulación en extremo de barra*

Confirme los ajustes predeterminados y cierre el cuadro de diálogo haciendo clic en el botón [Aceptar].

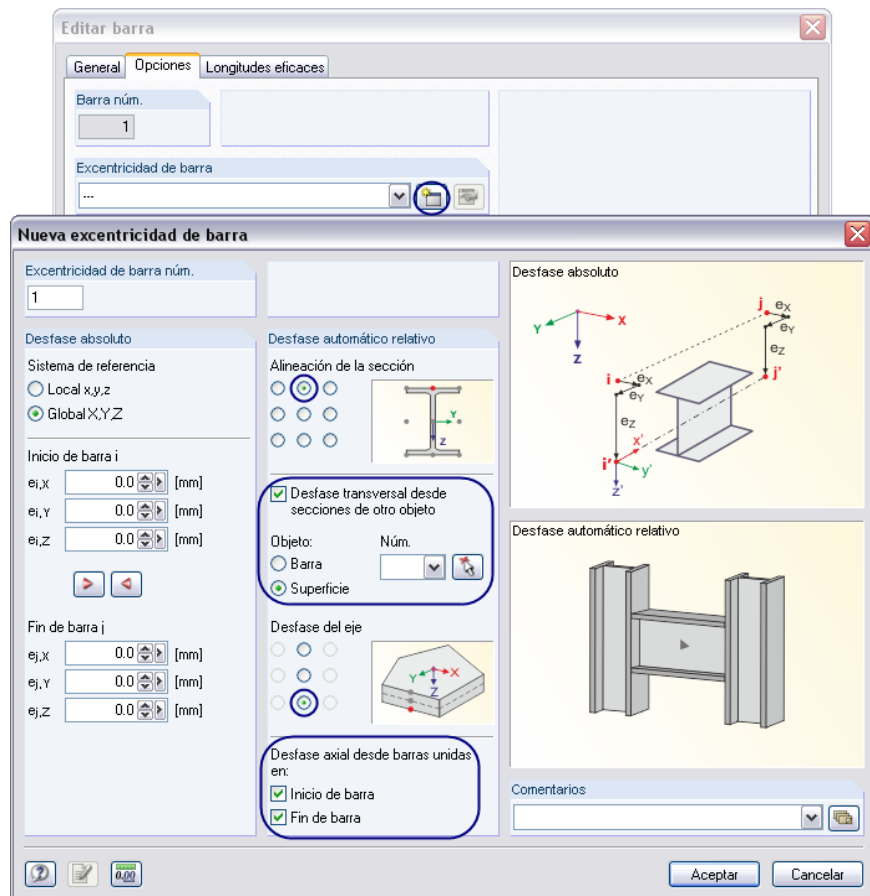
En el cuadro de diálogo *Editar barra* se puede ver que la articulación 1 está definida en el *Inicio de barra*. Defina el mismo tipo de articulación para el *Fin de barra* utilizando la lista (ver figura siguiente).



Figura 4.25: Asignación de articulaciones en el cuadro de diálogo *Editar barra*

### 4.5.2 Excentricidad de la barra

Se desea conectar la viga de acero excéntricamente debajo de la losa de forjado. En el cuadro de diálogo *Editar barra*, cambie a la pestaña *Opciones*. En la sección *Excentricidad de barra*, haga clic en el botón [Nueva] para abrir el cuadro de diálogo *Nueva excentricidad de barra*.

Figura 4.26: Cuadro de diálogo *Nueva excentricidad de barra*



Seleccione la opción *Desfase transversal de la sección de otro objeto*. En nuestro ejemplo, el objeto es la losa de forjado: utilice la función [Elegir] para definir la **Superficie 2** gráficamente.

Entonces, defina la *Alineación de la sección*, así como también el *Desfase axial* por medio de los campos de selección como se muestra en la Figura 4.26.

En la sección de diálogo *Desfase axial desde barras unidas en*, marque las casillas de verificación para el **Inicio de barra** y **Fin de barra** para definir el desfase en ambos lados.



Después de la confirmación en todas las casillas del diálogo, se puede comprobar el resultado con una vista ampliada (por ejemplo haciendo zoom girando la rueda del ratón, desplazando el modelo mediante la presión de la rueda del ratón, girando mediante la presión de la rueda del ratón y manteniendo presionado el botón secundario del ratón).

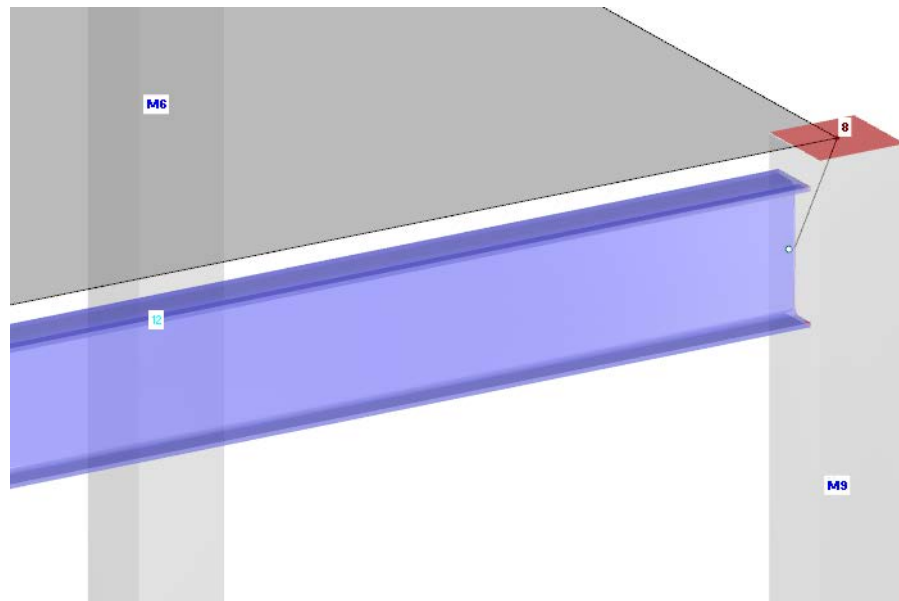


Figura 4.27: Viga de acero con articulación y excentricidad

## 4.6 Comprobación de los datos de entrada

### Comprobación del navegador *Datos* y las tablas



La entrada de datos gráfica se refleja tanto en el árbol del navegador *Datos* como en las tablas. Se pueden mostrar y ocultar el navegador y las tablas seleccionando **Navegador** o **Tabla** en el menú **Ver**. También se pueden utilizar los botones correspondientes de la barra de herramientas.

En las tablas, los objetos estructurales están organizados en numerosas tablas. Los gráficos y tablas son interactivos: para encontrar un objeto en la tabla, por ejemplo una superficie, seleccione la tabla 1.4 *Superficies* y haga clic en la superficie que necesite en la ventana de trabajo. Se ve que la correspondiente fila de la tabla está resaltada (ver Figura 4.14, página 18).

Los datos numéricos de los datos introducidos se pueden comprobar rápidamente.

### Guardado de datos



Finalmente, los datos de entrada del modelo están completos. Para guardar el archivo,

seleccione **Guardar** en el menú **Archivo**

o bien utilice el botón de la barra de herramientas que se muestra a la izquierda.

## 5. Cargas

Primero, las cargas tales como el peso propio, sobrecarga de uso o carga de viento se describen en diferentes casos de carga. En el próximo paso, se combinan los casos de carga con los coeficientes parciales de seguridad de acuerdo con las reglas de combinación (ver capítulo 6).

### 5.1 Caso de carga 1: Peso propio y acabados

El primer caso de carga contiene las cargas permanentes del peso propio y el de la estructura del forjado (ver capítulo 2.3, página 6).

Utilice el botón [Nueva carga superficial] para crear un caso de carga.

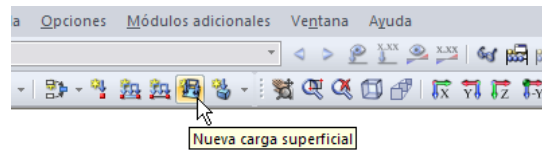


Figura 5.1: Botón *Nueva carga superficial*

Aparece el cuadro de diálogo *Editar casos y combinaciones de carga*.

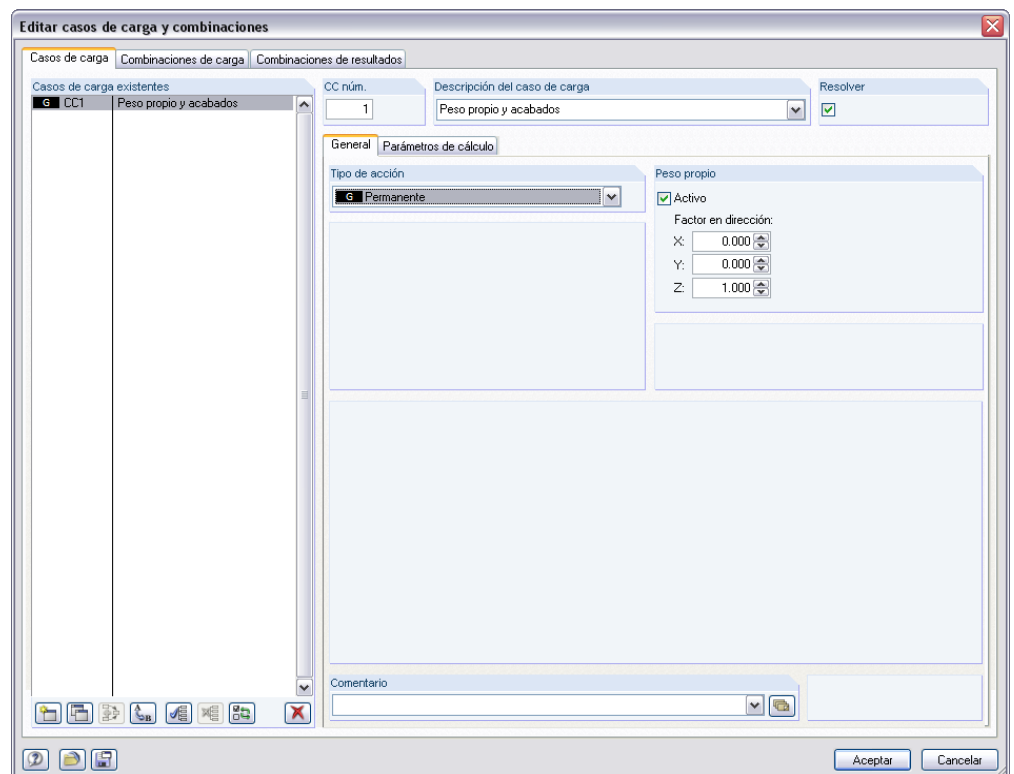


Figura 5.2: Cuadro de diálogo *Editar casos y combinaciones de carga*, pestañas *Casos de carga* y *General*

Caso de carga núm. 1 está predefinido con el tipo de acción *Permanente*. Además, puede introducir la *Descripción del caso de carga* **Peso propio y acabados**.

### 5.1.1 Peso propio

El *Peso propio* de las superficies y barras en dirección Z se considera automáticamente cuando el factor *Activo* está especificado con *1.000*, como ya predeterminado.

### 5.1.2 Estructura del forjado

Confirme la introducción de datos haciendo clic en el botón [Aceptar]. Se abre el cuadro de diálogo *Nueva carga superficial*.

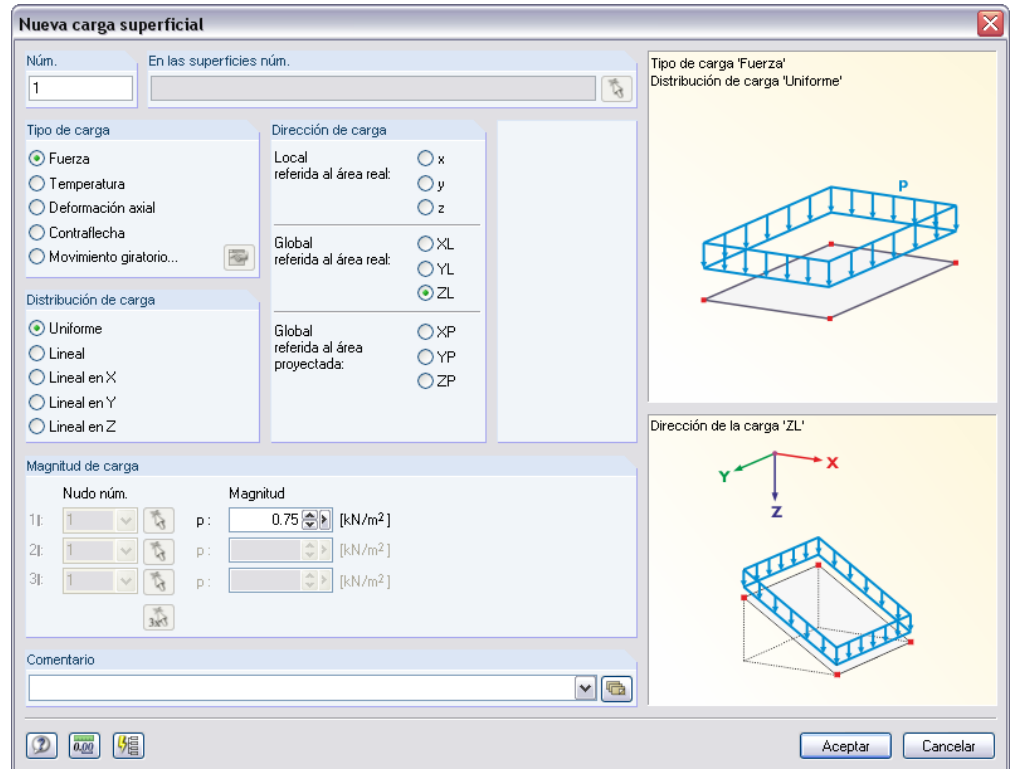


Figura 5.3: Cuadro de diálogo *Nueva carga superficial*

La estructura del forjado está activa como tipo de carga *Fuerza*, y la distribución de carga es *Uniforme*. Acepte estos ajustes predeterminados, así como también la configuración *ZL* para *Global* en la sección de diálogo *Dirección de carga*.

En la sección de diálogo *Magnitud de carga*, introduzca un valor de **0,75** kN/m² (ver capítulo 2.3, página 6). Luego, cierre el cuadro de diálogo haciendo clic en [Aceptar]

Ahora, puede asignar las cargas gráficamente a la superficie del forjado: se puede ver que apareció un pequeño símbolo de carga cerca del puntero. El símbolo desaparece tan pronto se mueve el puntero sobre una superficie. Aplique la carga haciendo clic en las superficies **1** y **2**, una detrás de otra (ver Figura 5.4).

Puede esconder y mostrar los valores de las cargas con el botón de la barra de herramientas [Mostrar valores de cargas].

Para quitar el modo de entrada de datos, utilice la tecla [Esc]. También puede hacer clic con el botón secundario del ratón en la ventana de trabajo vacía. La entrada de datos para el caso de carga *Peso propio* y *acabados* está completa.

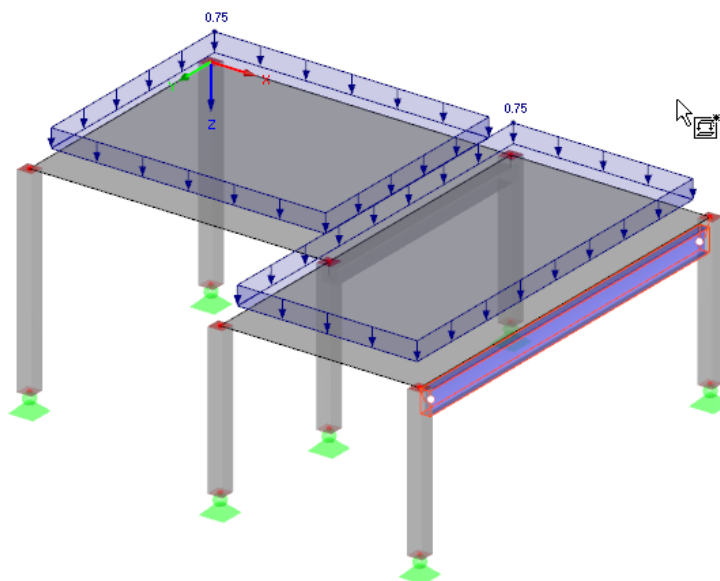


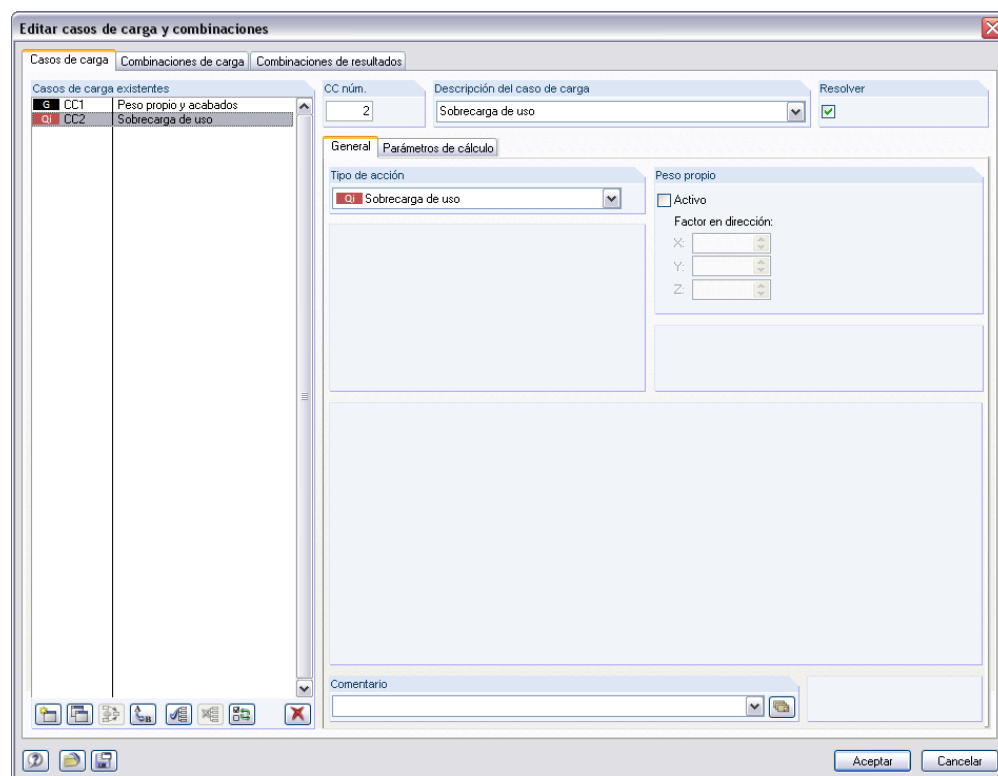
Figura 5.4: Entrada de datos gráfica de la carga del forjado

## 5.2 Caso de carga 2: Sobrecarga de uso, zona 1



Divida la sobrecarga de uso del piso en dos casos de carga diferentes debido a los efectos de continuidad. Para crear un nuevo caso de carga,

Señale con el puntero **Cargas** en el menú **Insertar** y seleccione **Nuevo caso de carga** o bien utilice el botón correspondiente en la barra de herramientas (a la izquierda de la lista de casos de carga).

Figura 5.5: Cuadro de diálogo *Editar casos y combinaciones de carga*, pestaña *Casos de carga*

Para la *Descripción del caso de carga* introduzca **Sobrecarga de uso**, o elija la entrada de la lista.

El *Tipo de acción* está definido automáticamente como **Q<sub>i</sub> Sobrecarga de uso**. Esta clasificación es importante para los coeficientes parciales de seguridad y los coeficientes de combinaciones de carga.

En el campo *Comentario*, puede escribir **Zona 1** para describir el caso de carga en detalle.



Después de confirmar el cuadro de diálogo, introduzca la carga superficial de una nueva manera: primero, seleccione la superficie del forjado 1 haciendo clic en ella. Luego, al abrir el cuadro de diálogo por medio del botón [Nueva carga superficial], se puede ver que el número de la superficie ya está escrito.

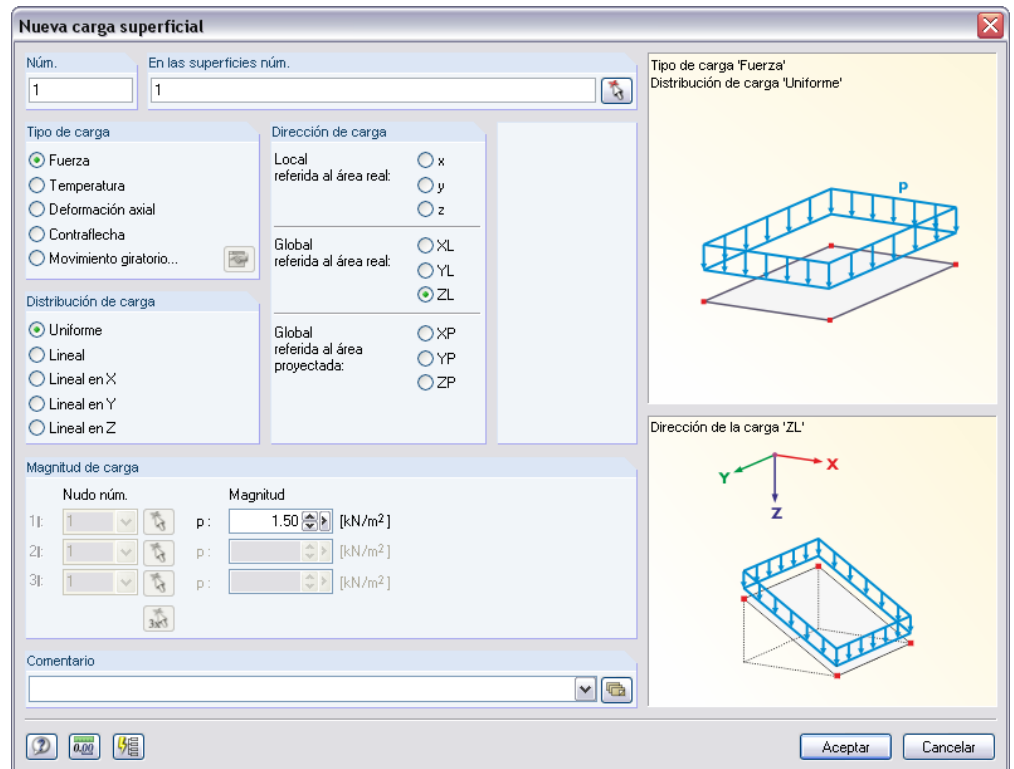


Figura 5.6: Cuadro de diálogo *Nueva carga superficial*

La sobrecarga de uso actúa como tipo de carga *Fuerza*, y la distribución de carga es *Uniforme*. Acepte estos ajustes predeterminados, así como también la configuración *ZL* para *Global* en la sección de diálogo *Dirección de carga*.

En la sección de diálogo *Magnitud de carga*, escriba el valor de **1,5 kN/m<sup>2</sup>** (ver capítulo 2.3, página 6). Después, cierre el cuadro de diálogo haciendo clic en [Aceptar]

La carga superficial aparece en la zona izquierda del forjado.

## 5.3 Caso de carga 3: Sobrecarga de uso, zona 2



Cree un [Nuevo caso de carga] para introducir la sobrecarga de uso de la zona de la derecha.

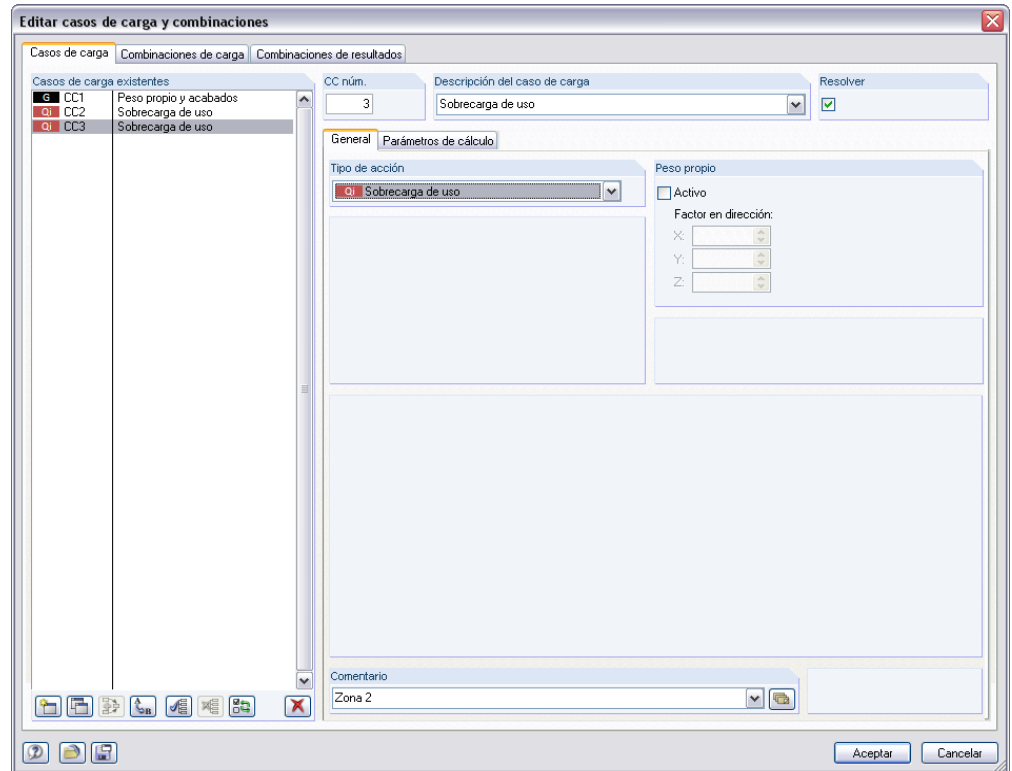


Figura 5.7: Cuadro de diálogo *Editar casos y combinaciones de carga*, pestaña *Casos de carga*

De nuevo, introduzca **Sobrecarga de uso** para la *Descripción del caso de carga*. Para el *Comentario* puede escribir **Zona 2**, y luego cierre el cuadro de diálogo con [Aceptar].

### 5.3.1 Carga superficial



Esta vez, seleccione la superficie del forjado 2 y abra el cuadro de diálogo *Nueva carga superficial* con el botón [Nueva carga superficial].

Además de la superficie 2, se puede ver que los parámetros del reciente paso de entrada de datos están predefinidos (tipo de carga *Fuerza*, distribución de carga *Uniforme*, dirección de carga *Global ZL*, *Magnitud de carga 1,5 kN/m²*). Podemos confirmar el cuadro de diálogo sin cambiar ningún dato.

La carga superficial se muestra en la zona de la derecha del forjado (ver Figura 5.8).

### 5.3.2 Carga lineal

Es más fácil aplicar una carga lineal en el borde posterior del forjado al ampliar la vista de esta zona utilizando la función *Zoom* o el botón de rueda.

Con el botón de la barra de herramientas [Nueva carga lineal] a la izquierda del botón [Nueva carga superficial] abra el cuadro de diálogo *Nueva carga lineal*.

La carga lineal como tipo de carga *Fuerza* con distribución de carga *Uniforme* actúa en la dirección de carga *ZL*. En la sección de diálogo *Parámetros de carga*, introduzca **5 kN/m** (ver capítulo 2.3, página 6).

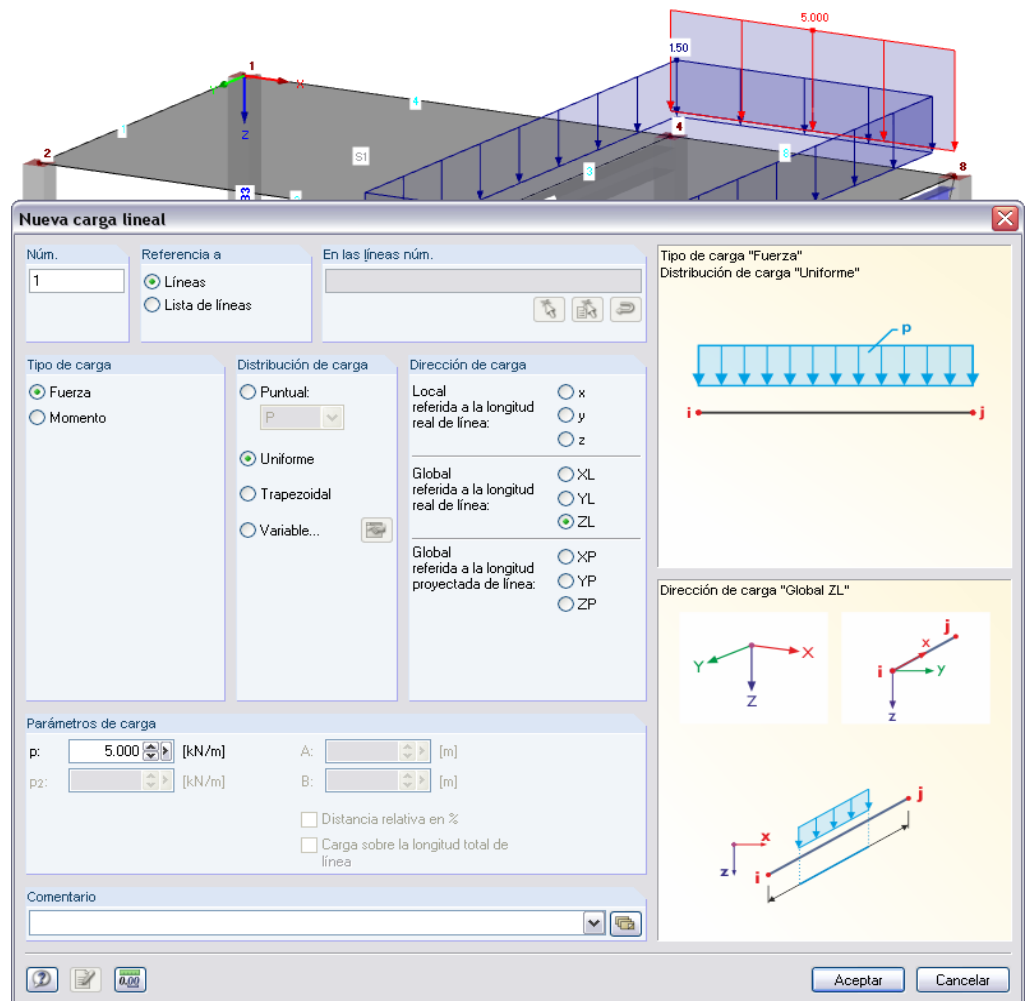


Figura 5.8: Cuadro de diálogo *Nueva carga lineal*

Después de hacer clic en el botón [Aceptar], haga clic en la línea **8** en el borde posterior del forjado (compruébelo en la barra de estado).

Cierre el modo de entrada con la tecla [Esc] o con el botón secundario en el espacio de trabajo vacío. Luego, restablezca la [Vista isométrica]



## 5.4 Caso de carga 4: Imperfecciones

En el caso final de carga, defina las imperfecciones para los pilares que están tensionados por esfuerzo axial.

Esta vez, utilice el navegador *Datos* para crear un nuevo caso de carga: Haga clic con el botón derecho del ratón en la entrada *Casos de carga* para abrir el menú contextual, y luego seleccione *Nuevo caso de carga*.

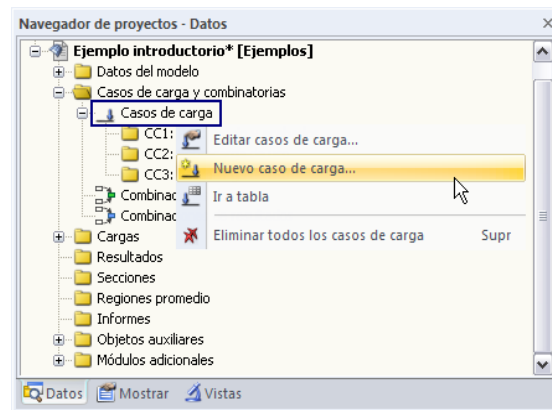


Figura 5.9: Menú contextual *Casos de carga*

Elija **Imperfección hacia -Y** desde la lista *Descripción del caso de carga*. El *Tipo de acción* se cambia automáticamente a **Imp Imperfección**.

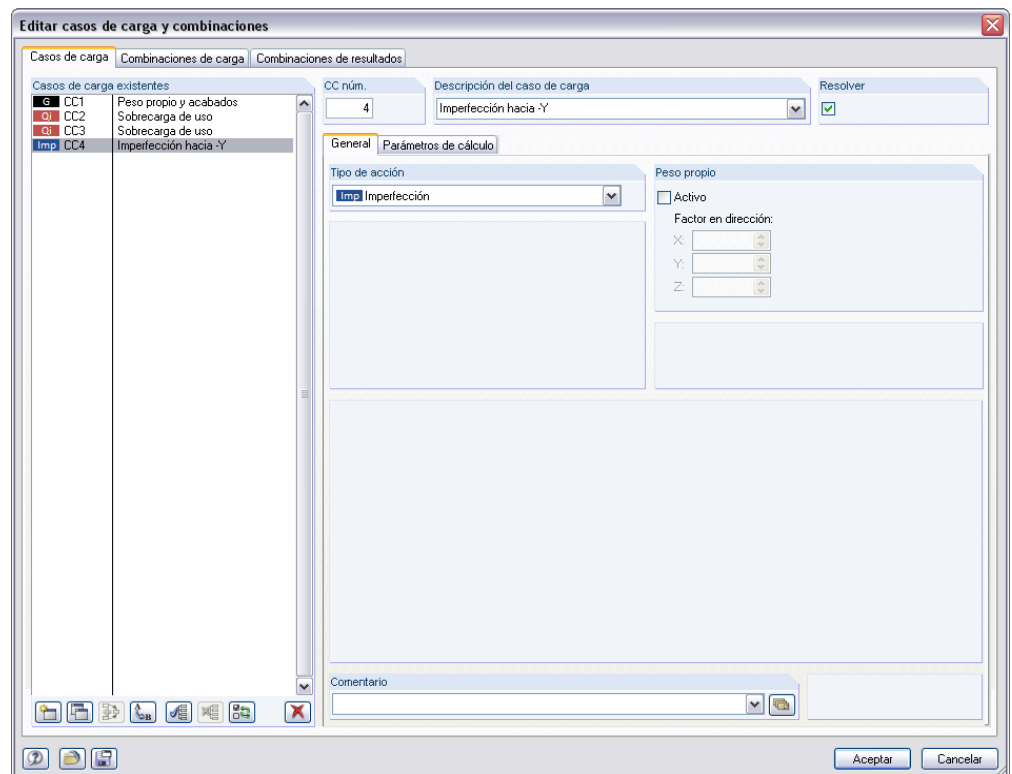
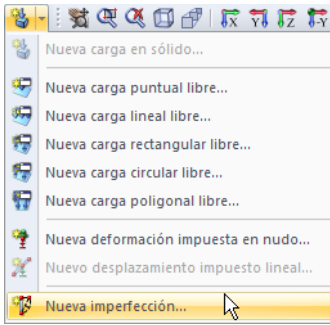


Figura 5.10: Cuadro de diálogo *Editar casos y combinaciones de carga*, pestaña *Casos de carga*

Cierre el cuadro de diálogo haciendo clic en el botón [Aceptar]



Botón de lista para cargas

Haga clic en el botón de la barra de herramientas [Nueva carga en sólido] para abrir su menú de lista donde seleccione la entrada *Nueva imperfección*. Aparece el siguiente cuadro de diálogo.

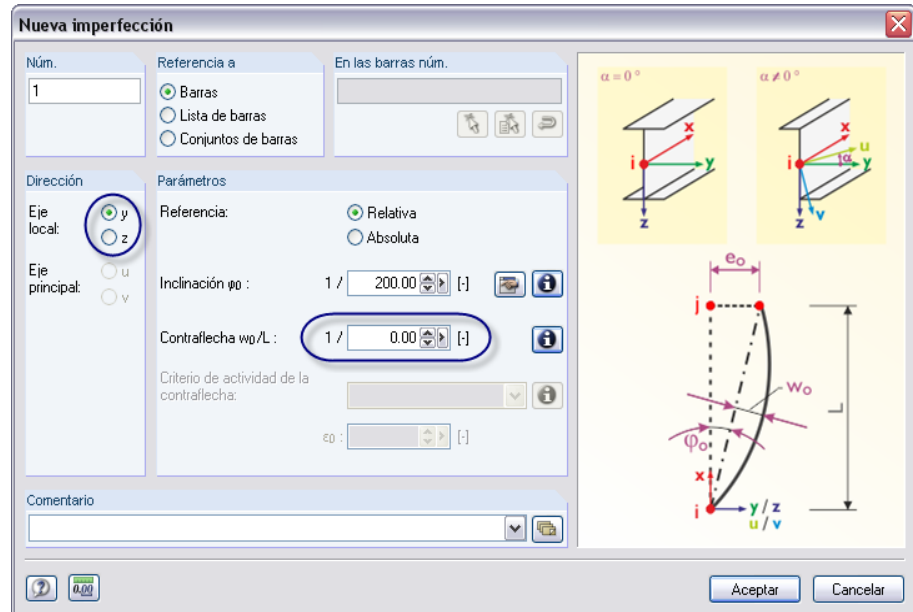


Figura 5.11: Cuadro de diálogo *Nueva imperfección*

Se desea aplicar la imperfección en la *Dirección* del eje del pilar **y**, que es la dirección del eje "débil" de la barra que está alineado paralelamente con el eje global Y en el ejemplo.

Defina la *Contraflecha*  $w_0/L$  a **0,00** y confirme el cuadro de diálogo haciendo clic en el botón [Aceptar].

Se puede asignar la imperfección fácilmente mediante una ventana de selección. Primero, ponga el modelo en una posición más apropiada: haga clic en el botón [Encuadre] e incline el modelo un poco hacia atrás manteniendo presionado el botón primario del ratón además de la tecla [Ctrl]. Cambie la vista con el botón [Esc] o con un clic con el botón secundario en la ventana sin cancelar la función "Seleccionar barras para imperfecciones".

Luego, dibuje una ventana de selección de derecha a izquierda. Ha de tener cuidado de tomar cada pilar con la ventana, pero la viga de acero debe quedar fuera de la zona de la selección.

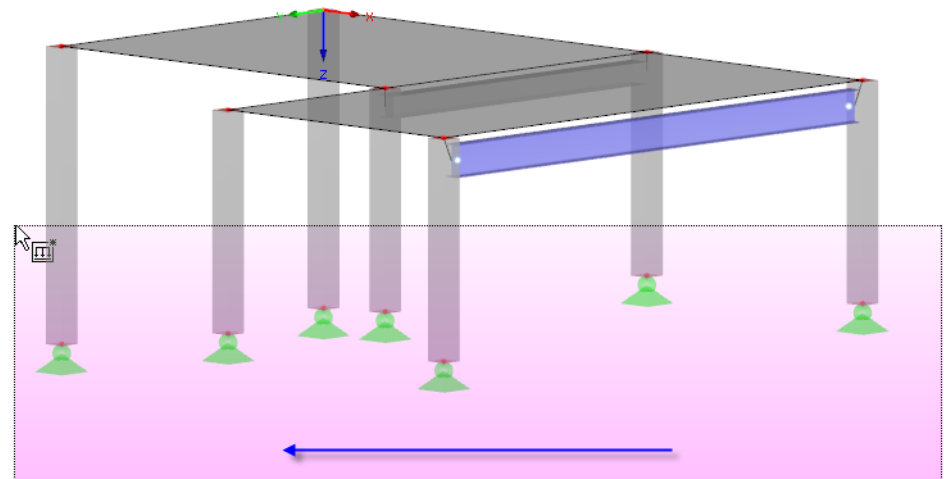


Figura 5.12: Selección de pilares para las imperfecciones



Después de definir la segunda esquina de la ventana, RFEM asignará las imperfecciones.

Quite la función con la tecla [Esc] o con un clic en el botón secundario. Finalmente, restablezca la [Vista isométrica].

CC4 : Imperfección hacia -Y  
Cargas [-]

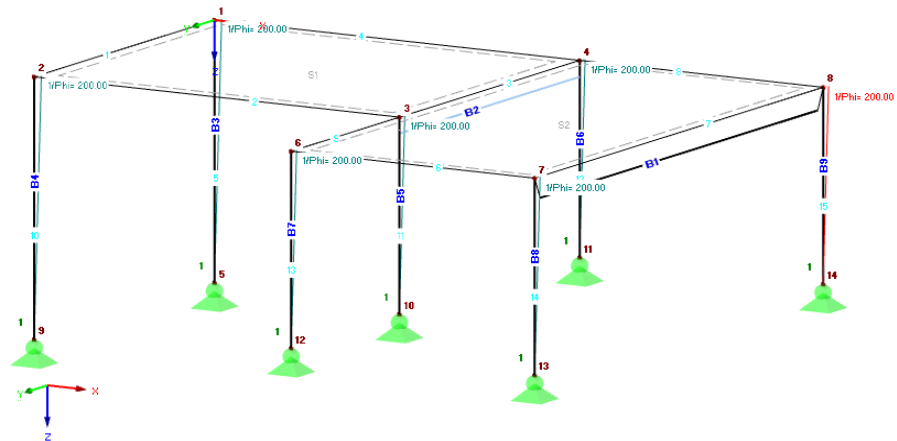
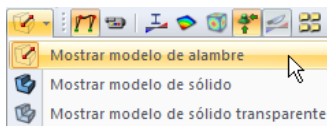


Figura 5.13: Imperfecciones en el modelo de alambre



### Cambiar la visualización del modelo

La figura de arriba muestra la estructura con *Mostrar modelo de alambre*. Se puede definir esta opción de visualización con el botón de la barra de herramientas que se muestra a la izquierda. De esta manera, las imperfecciones no estarán superpuestas con los pilares renderizados.

## 5.5 Comprobación de casos de carga

Los cuatro casos de carga se introdujeron por completo. Ahora se recomienda [Guardar] todos los datos introducidos.

Se puede comprobar cada caso de carga rápidamente en el gráfico: Los botones [◀] y [▶] en la barra de herramientas permiten seleccionar los casos de carga previos y posteriores.

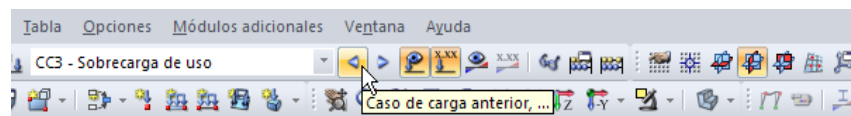


Figura 5.14: Exploración de casos de carga

La introducción gráfica de las cargas se refleja tanto en el árbol del navegador *Datos* como en las tablas. Los datos de las cargas son accesibles en la tabla 3. *Cargas*, la cual se puede establecer mediante el botón que figura a la izquierda.

De nuevo, los gráficos y tablas son interactivos: para encontrar una carga en la tabla, por ejemplo una imperfección, haga clic en la tabla 3.13 *Imperfecciones*, y luego seleccione la carga en la ventana de trabajo. Note que el puntero saltará a la correspondiente fila de la tabla.

## 6. Combinación de casos de carga

Según EN 1990, se tienen que combinar los casos de carga con los coeficientes. El *Tipo de acción* especificado antes, cuando se crearon los casos de carga, hace más fácil la generación de las combinaciones, (ver Figura 5.10, página 33). De esta manera, se pueden controlar los coeficientes de seguridad parciales al combinar las combinaciones.

### 6.1 Crear combinaciones de carga

Con los cuatro casos de carga definidos cree las siguientes combinaciones de carga:

- $1.35 \cdot CC1 + 1.5 \cdot CC2 + 1.0 \cdot CC4$  Sobrecarga de uso en la zona 1
- $1.35 \cdot CC1 + 1.5 \cdot CC3 + 1.0 \cdot CC4$  Sobrecarga de uso en la zona 2
- $1.35 \cdot CC1 + 1.5 \cdot CC2 + 1.5 \cdot CC3 + 1.0 \cdot CC4$  Carga total

La estructura se calculará de acuerdo con el análisis de segundo orden.

#### Creación de CO1

Abra el menú del botón de lista [Casos de carga] y cree una [Nueva combinación de carga]. Aparece de nuevo el cuadro de diálogo *Editar casos de carga y combinaciones*.

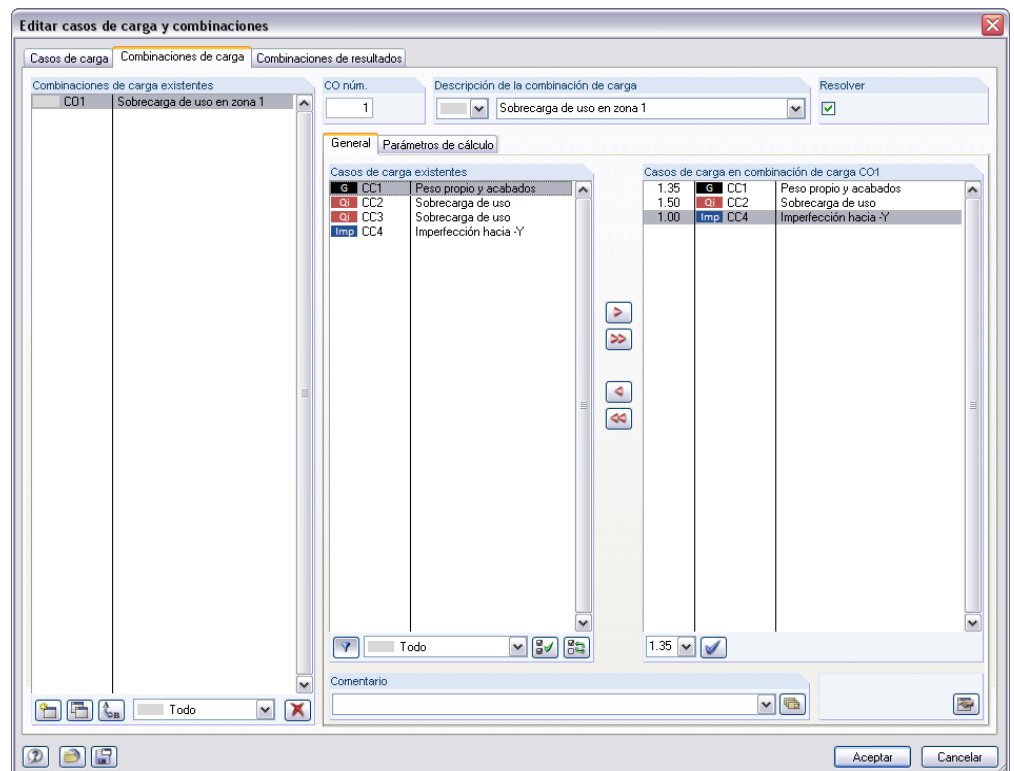
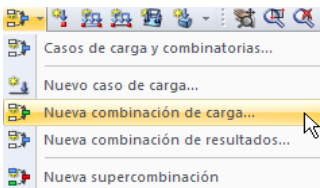


Figura 6.1: Cuadro de diálogo *Editar casos y combinaciones de carga*, pestaña *Combinaciones de carga*

Escriba **Sobrecarga de uso en zona 1** para la *Descripción de la combinación de carga*.

Abajo, en la lista *Casos de carga existentes*, haga clic en **CC1**. Entonces, utilice el botón [►] para transferir el caso de carga a la lista *Casos de carga en la combinación de carga CO1* de la derecha. Haga lo mismo con **CC2** y **CC4**.



En la pestaña *Parámetros de cálculo*, compruebe que el *Método de análisis* está definido según el *Análisis de segundo orden* (ver figura siguiente).

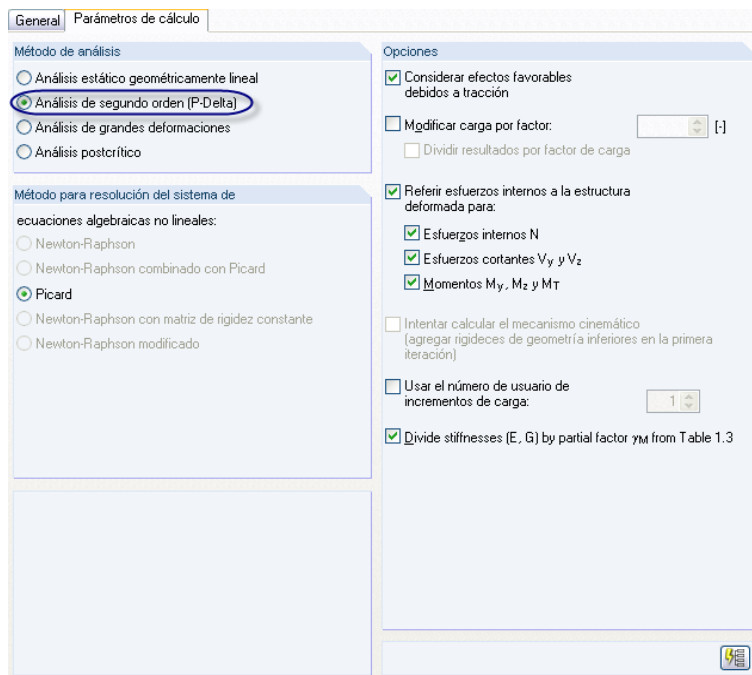


Figura 6.2: Pestaña *Parámetros de cálculo*

Después de hacer clic en [Aceptar], todas las cargas contenidas en la combinación de carga se muestran en el modelo.

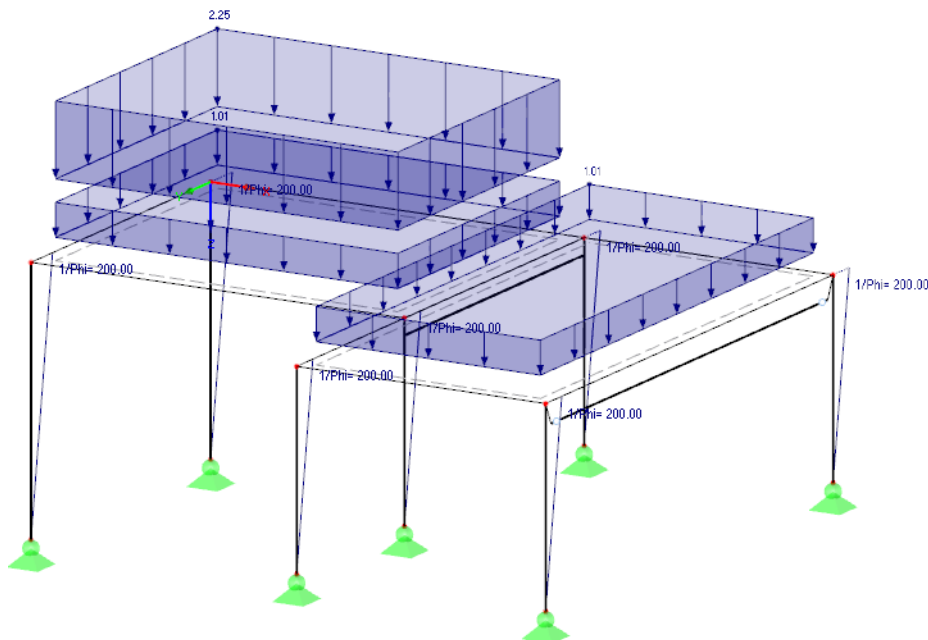
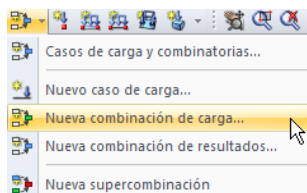


Figura 6.3: Cargas de la combinación de carga CO1

Además, la pestaña *Parámetros de cálculo* se puede utilizar para comprobar las especificaciones aplicadas por RFEM para el cálculo de las diferentes combinaciones de carga.



### Creación de C02

Cree la segunda combinación de carga de la misma manera: cree una [Nueva combinación de carga], pero esta vez introduzca **Sobrecarga de uso en zona 2** en la *Descripción de la combinación de carga*.

Los casos de carga que son relevantes para esta combinación de carga son **CC1**, **CC3** y **CC4**. De nuevo, utilice [►] para seleccionarlos.

### Creación de C03

Para crear la última combinación de carga, elija otra manera de creación: haga clic con el botón secundario en la entrada del navegador *Combinaciones de carga* y seleccione la entrada *Nueva combinación de carga* en el menú contextual.

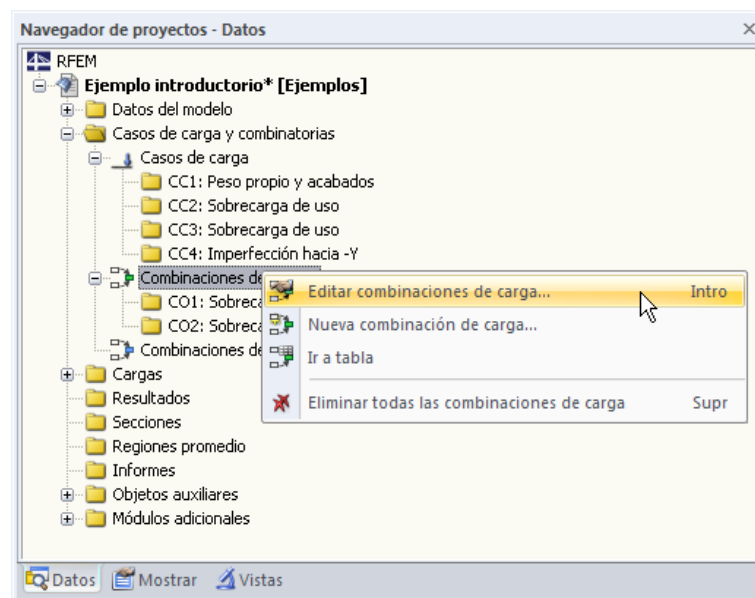


Figura 6.4: Creación de combinaciones en el menú contextual del navegador

Introduzca **Carga total** en la *Descripción de combinaciones de carga*. Con el botón [Agregar todos los casos de carga] se pueden transferir todos los casos de carga a la lista de la derecha.

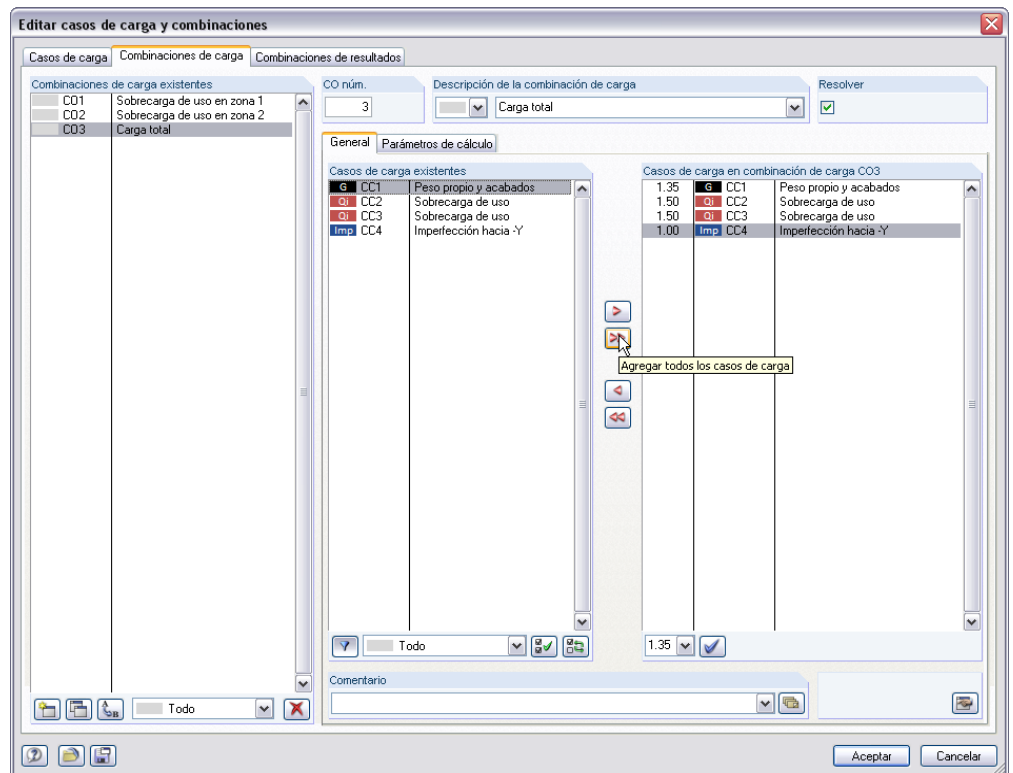


Figura 6.5: Cuadro de diálogo *Editar casos y combinaciones de carga*, pestaña *Combinaciones de carga*

Como los casos de carga CC2 y CC3 están asignados con el tipo de acción *Sobrecarga de uso*, se aplicarán ambos con el coeficiente de seguridad parcial 1.5. En caso de diferentes categorías, un caso de carga sería la acción líder, la otra sería la carga secundaria con el coeficiente reducido.

## 6.2 Crear combinaciones de resultados

A partir de los resultados de las tres combinaciones de carga, se creará una envolvente conteniendo los valores extremos positivos y negativos.

En el menú del botón de lista [Casos de carga], seleccione la entrada *Nueva combinación de resultados*. Aparece de nuevo el cuadro de diálogo *Editar casos y combinaciones de carga*, el cual ya nos resulta familiar.

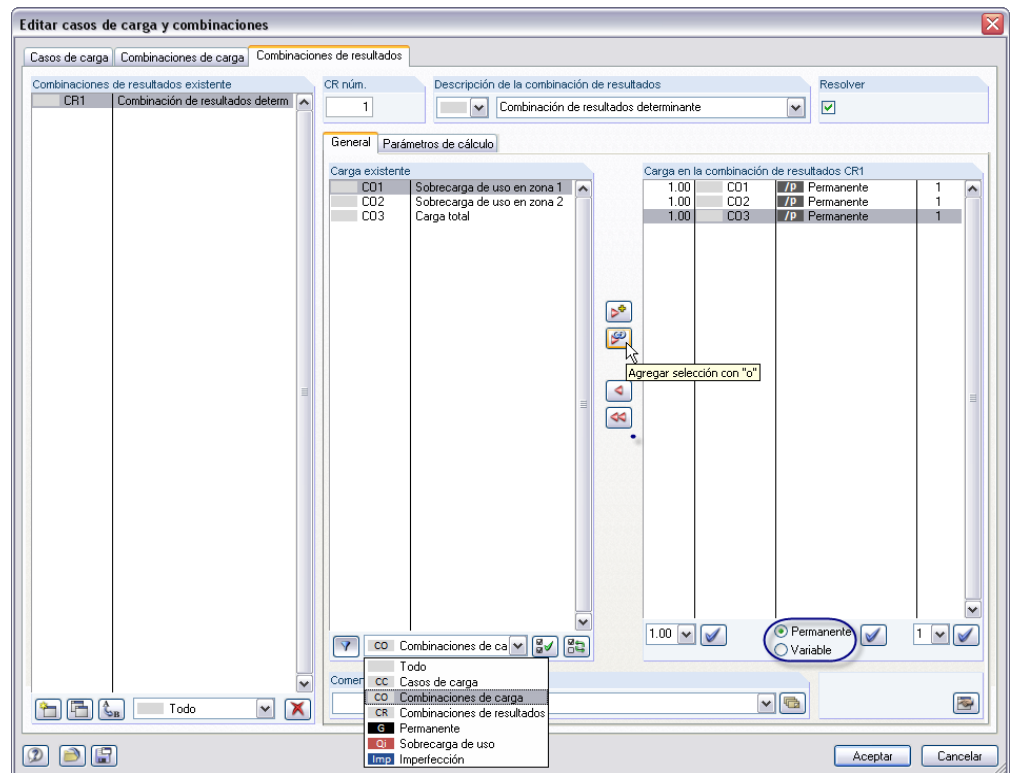
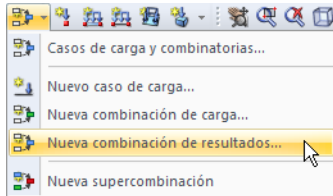


Figura 6.6: Cuadro de diálogo *Editar casos y combinaciones de carga*, pestaña *Combinaciones de resultados*

Elija la **Combinación de resultados determinante** de la lista *Descripción de la combinación de resultados*.



Para mostrar las combinaciones de carga en la sección de diálogo *Carga existente*, seleccione *CO Combinaciones de carga* de la lista bajo la tabla de carga a la izquierda. Luego, seleccione las tres combinaciones de carga con un clic en el botón [Seleccionar todas las cargas listadas].

El campo de selección bajo la tabla de cargas de la derecha indica el factor de superposición que está preestablecido en 1,00. La configuración se ajusta a nuestra intención de determinar los valores extremos de esta combinación de carga. Cambie la regla de superposición a **Permanente** para que RFEM considere siempre al menos una de las acciones.

Utilice el botón [Agregar selección con 'o'] para transferir las tres combinaciones de carga a la lista de la derecha. El valor 1 bajo la columna final nos dice que todas las entradas se corresponden al mismo grupo: No se tratarán actuando de manera aditiva sino de manera alternativa.



Ahora, el criterio de superposición está completamente definido. Haga clic en [Aceptar] y guarde los datos introducidos con el botón [Guardar].



## 7. Cálculo

### 7.1 Comprobación de los datos de entrada



Antes de calcular nuestra estructura, se desea que RFEM compruebe los datos introducidos. Para abrir el cuadro de diálogo correspondiente,

seleccione la **Comprobación plausible** en el menú **Herramientas**.

Se abre el cuadro de diálogo *Comprobación plausible* donde se define la configuración siguiente.

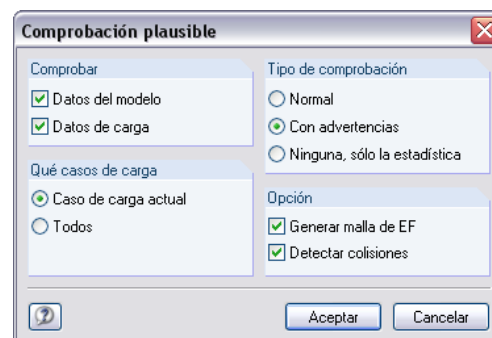


Figura 7.1: Cuadro de diálogo *Comprobación plausible*

Si no se detecta ningún error después de hacer clic en [Aceptar], se mostrará el siguiente mensaje. Además, se muestra un breve resumen de los datos del modelo y de carga.

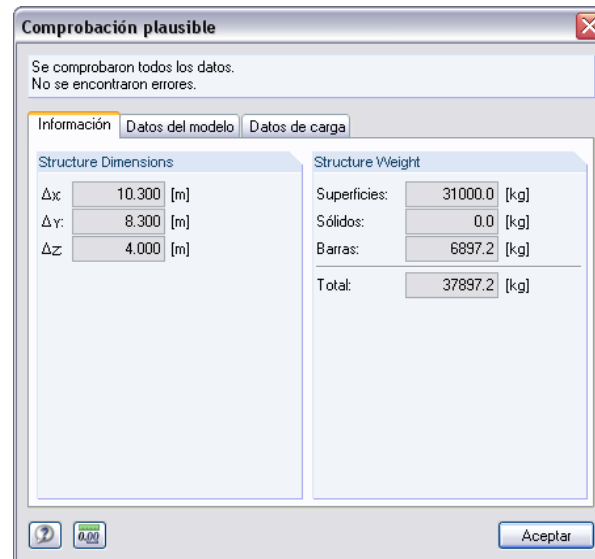


Figura 7.2: Resultado de la comprobación plausible

Encuentre más herramientas para la comprobación de la entrada de datos seleccionando **Comprobación de la estructura** en el menú **Herramientas**.

## 7.2 Generación de la malla de EF

Como se marcó la casilla de la opción *Generar malla de EF* en el cuadro de diálogo *Comprobación plausible* (ver Figura 7.1), se generó automáticamente una malla con el tamaño de malla normalizado de 50 cm (se puede modificar el tamaño de malla normalizado seleccionando *Configuración de malla de EF* en el menú *Cálculo*.)

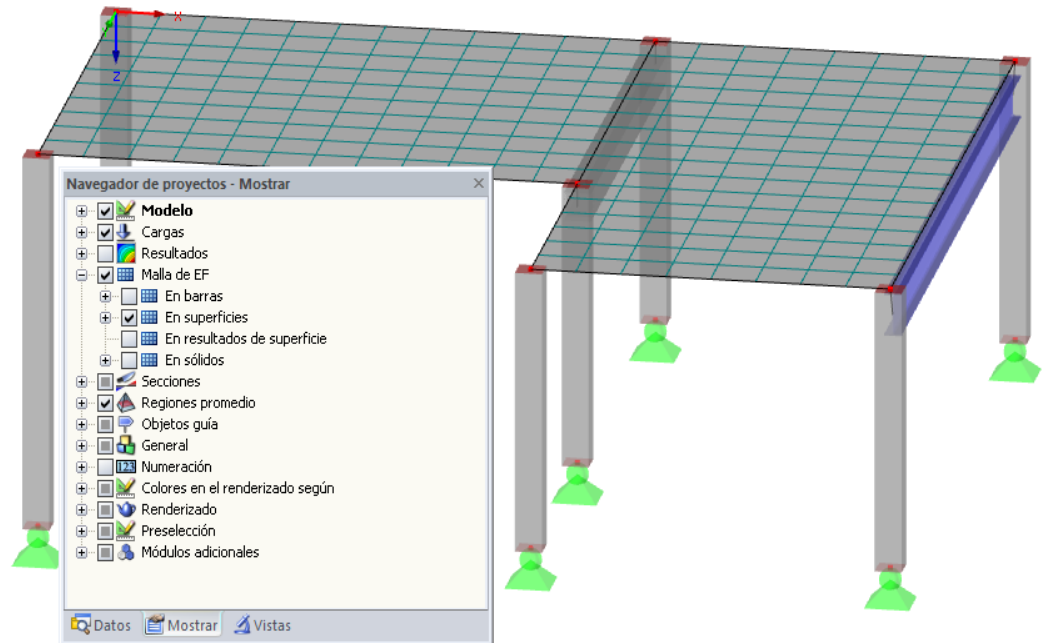


Figura 7.3: Modelo con la malla generada de EF

## 7.3 Cálculo de la estructura



Para iniciar el cálculo,

seleccione **Calcular todo** en el menú **Cálculo**

o bien utilice el botón de la barra de herramientas que figura a la izquierda.

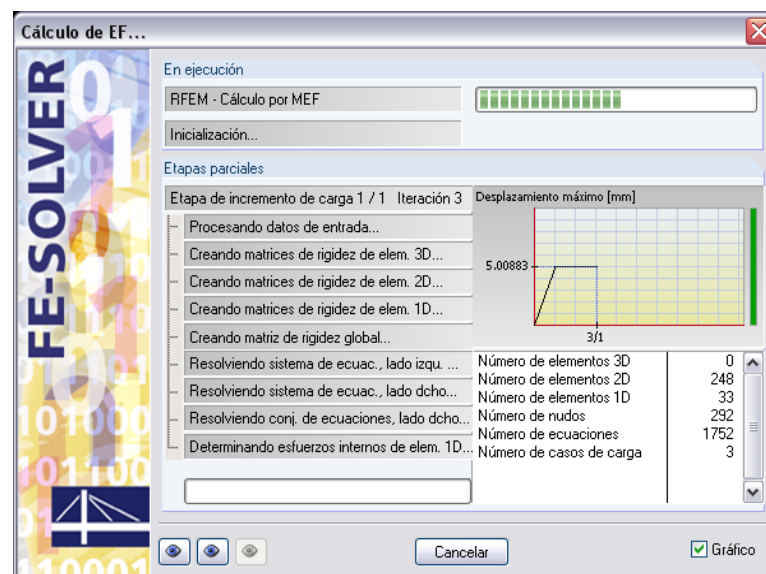


Figura 7.4: Proceso de cálculo

## 8. Resultados

### 8.1 Resultados gráficos



Tan pronto como el cálculo finalice, RFEM muestra las deformaciones del caso de carga establecido actualmente. La configuración de la última carga estaba en CR1, por eso ahora se ven los resultados mínimos de esta combinación de resultados.

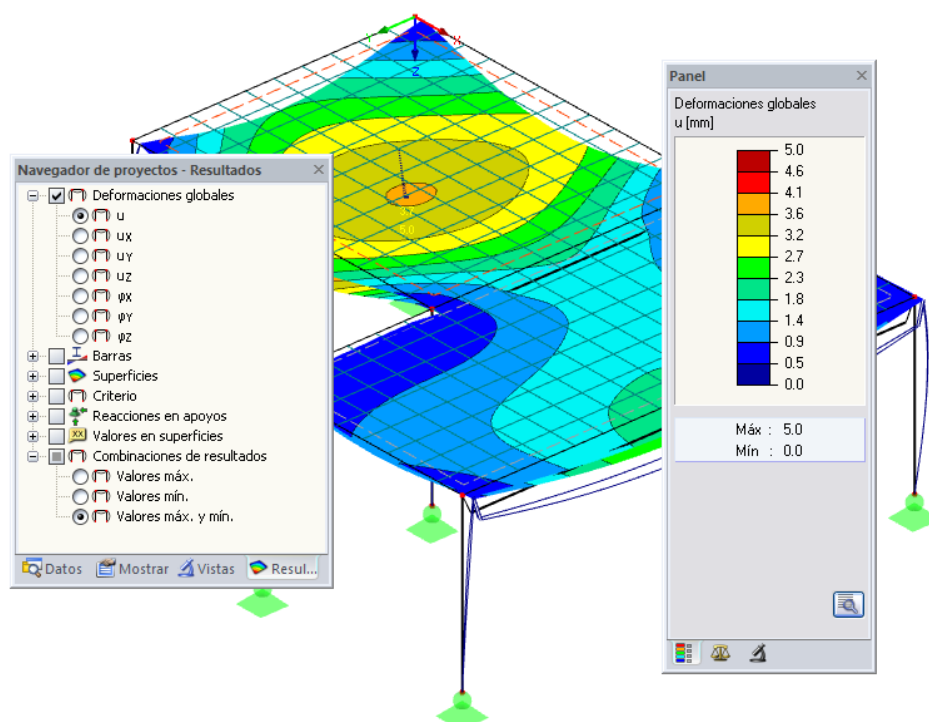


Figura 8.1: Gráfico de deformaciones máx./mín. para la combinación de resultados CR1

#### Selección de casos de carga y combinaciones de carga

Se pueden utilizar los botones de la barra de herramientas [◀] y [▶] (a la derecha de la lista de casos de carga) para cambiar entre los resultados de casos de carga, combinaciones de carga y combinaciones de resultados. Ya se conocen los botones de la comprobación de los casos de carga. También es posible seleccionar las cargas en la lista.

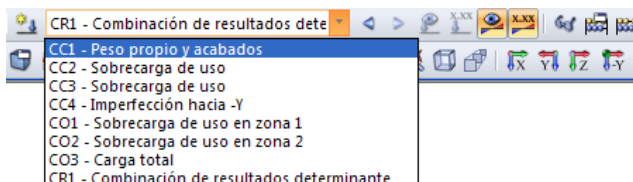


Figura 8.2: Caso de carga en la barra de herramientas

#### Selección de resultados en el navegador



Apareció un nuevo navegador, que administra todos los tipos de resultados para la vista gráfica. Se puede acceder al navegador *Resultados* si la muestra de resultados está activa. Se puede cambiar a la muestra de resultados en el navegador *Mostrar*, pero también se puede utilizar el botón de la barra de herramientas [Mostrar resultados] que se puede ver a la izquierda.

Las casillas de verificación que preceden las categorías de resultados individuales (por ejemplo *Deformaciones globales*, *Barras*, *Superficies*, *Reacciones en apoyos*) determinan las deformaciones o esfuerzos internos a mostrar. Frente a las entradas de datos contenidas en las categorías, se pueden ver más casillas de verificación por las que se puede definir el tipo de resultados para mostrar.

Finalmente, se puede explorar por los casos de cargas y combinaciones de carga singulares. Las varias categorías de resultados permiten mostrar las deformaciones, esfuerzos internos de barras y superficies, tensiones o esfuerzos en apoyos.

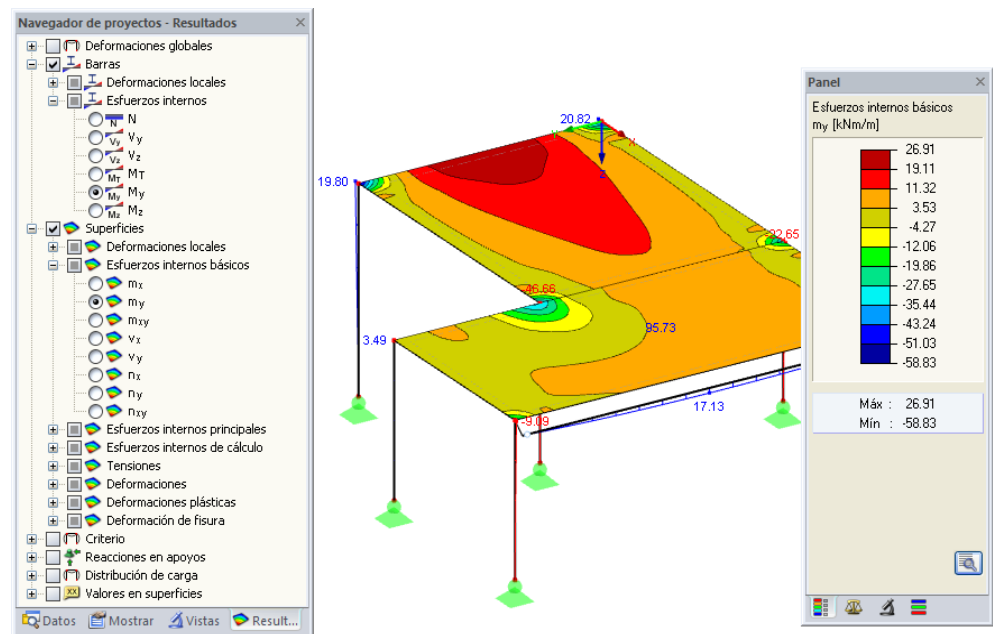
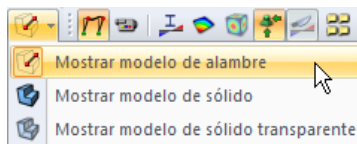


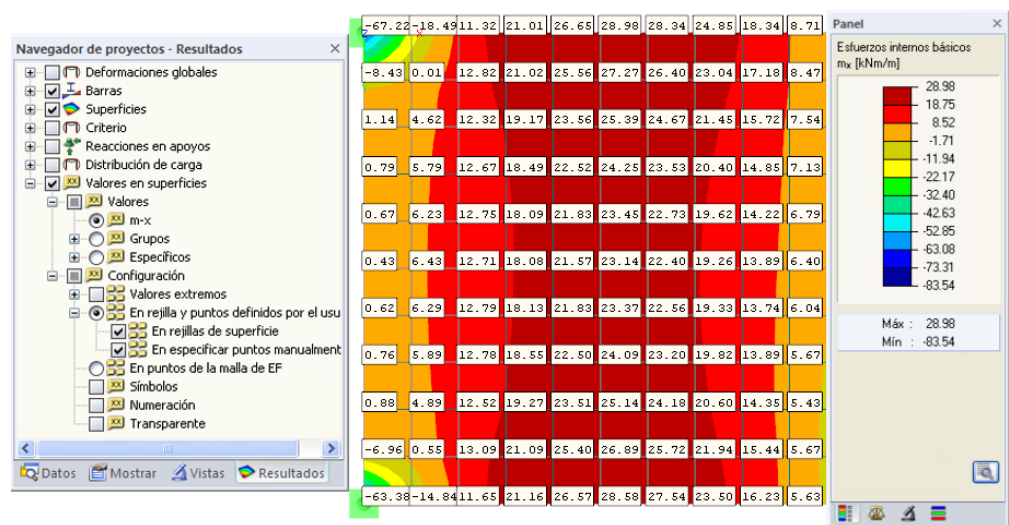
Figura 8.3: definición de esfuerzos internos de barras y superficies en el navegador *Resultados*



En la figura anterior, se pueden ver los esfuerzos internos en barras  $M_y$  y los esfuerzos internos en superficies  $m_y$  calculados para la CO1. Para mostrar los esfuerzos, se recomienda utilizar el modelo de alambre. Se puede definir esta opción de muestra con el botón que se muestra a la izquierda.

### Mostrar valores

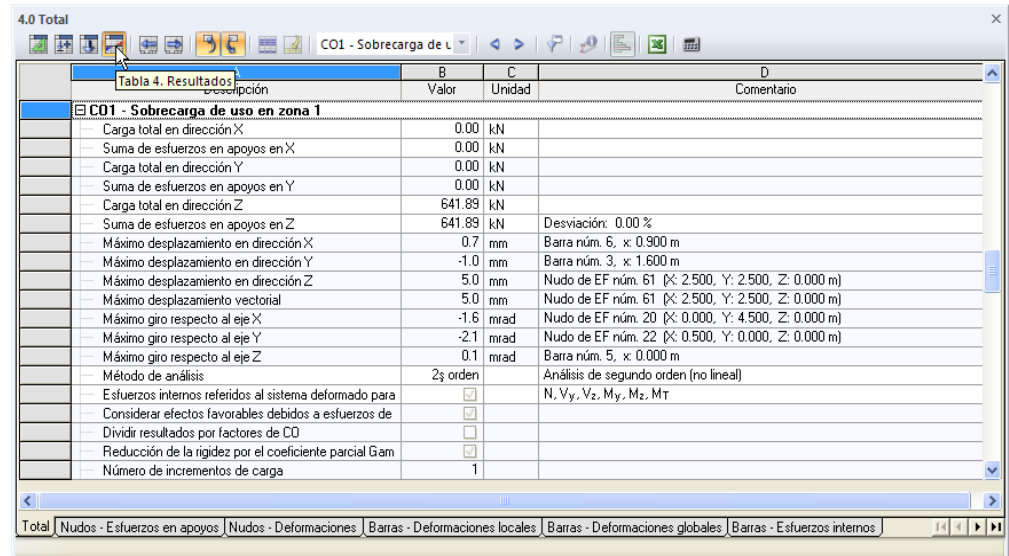
La escala de colores en el panel de control muestra la gama de colores. Los valores de los resultados se pueden activar seleccionando la opción **Valores en superficies** en el navegador *Resultados*. Para mostrar todos los valores de la malla de EF o puntos de malla, desactive la opción *Valores extremos*.


 Figura 8.4: Momentos en puntos de rejilla  $m_x$  de la losa de forjado en vista Z (CO1)

## 8.2 Tablas de resultados

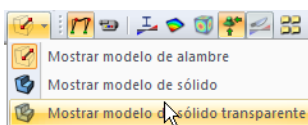
Los resultados también se pueden evaluar en las tablas.

Las tablas de resultados se muestran automáticamente si la estructura está calculada. Al igual que para la entrada de datos numérica, se pueden ver diferentes tablas con resultados. La Tabla 4.0 *Resultados* ofrece un resumen del proceso de cálculo, ordenado por casos y combinaciones de carga.



| Descripción                                            | Valor                               | Unidad | Comentario                                                                            |
|--------------------------------------------------------|-------------------------------------|--------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>CO1 - Sobrecarga de uso en zona 1</b>               |                                     |        |                                                                                       |
| Carga total en dirección X                             | 0.00                                | kN     |                                                                                       |
| Suma de esfuerzos en apoyos en X                       | 0.00                                | kN     |                                                                                       |
| Carga total en dirección Y                             | 0.00                                | kN     |                                                                                       |
| Suma de esfuerzos en apoyos en Y                       | 0.00                                | kN     |                                                                                       |
| Carga total en dirección Z                             | 641.89                              | kN     |                                                                                       |
| Suma de esfuerzos en apoyos en Z                       | 641.89                              | kN     | Desviación: 0.00 %                                                                    |
| Máximo desplazamiento en dirección X                   | 0.7                                 | mm     | Barra núm. 6, x: 0.900 m                                                              |
| Máximo desplazamiento en dirección Y                   | -1.0                                | mm     | Barra núm. 3, x: 1.600 m                                                              |
| Máximo desplazamiento en dirección Z                   | 5.0                                 | mm     | Nudo de EF núm. 61 (X: 2.500, Y: 2.500, Z: 0.000 m)                                   |
| Máximo desplazamiento vectorial                        | 5.0                                 | mm     | Nudo de EF núm. 61 (X: 2.500, Y: 2.500, Z: 0.000 m)                                   |
| Máximo giro respecto al eje X                          | -1.6                                | mrads  | Nudo de EF núm. 20 (X: 0.000, Y: 4.500, Z: 0.000 m)                                   |
| Máximo giro respecto al eje Y                          | -2.1                                | mrads  | Nudo de EF núm. 22 (X: 0.500, Y: 0.000, Z: 0.000 m)                                   |
| Máximo giro respecto al eje Z                          | 0.1                                 | mrads  | Barra núm. 5, x: 0.000 m                                                              |
| Método de análisis                                     | 2º orden                            |        | Análisis de segundo orden (no lineal)                                                 |
| Esfuerzos internos referidos al sistema deformado para | <input checked="" type="checkbox"/> |        | N, V <sub>y</sub> , V <sub>z</sub> , M <sub>y</sub> , M <sub>z</sub> , M <sub>T</sub> |
| Considerar efectos favorables debidos a esfuerzos de   | <input checked="" type="checkbox"/> |        |                                                                                       |
| Dividir resultados por factores de CO                  | <input checked="" type="checkbox"/> |        |                                                                                       |
| Reducción de la rigidez por el coeficiente parcial Gam | <input checked="" type="checkbox"/> |        |                                                                                       |
| Número de incrementos de carga                         | 1                                   |        |                                                                                       |

Figura 8.5: Tabla 4.0 Resultados



Para seleccionar otras tablas, haga clic en sus pestañas en la tabla. Para encontrar resultados específicos en la tabla, por ejemplo los esfuerzos internos de la superficie 1 del forjado, especifique la tabla 4.14 *Superficies - Esfuerzos internos básicos*. Ahora, seleccione la superficie en el gráfico (la representación del modelo transparente hace la selección más fácil) y se puede ver que RFEM salta a los esfuerzos internos básicos en la tabla. El punto de rejilla actual, lo que significa la posición del puntero en la fila de la tabla, se indica por una flecha de marcado en el gráfico.

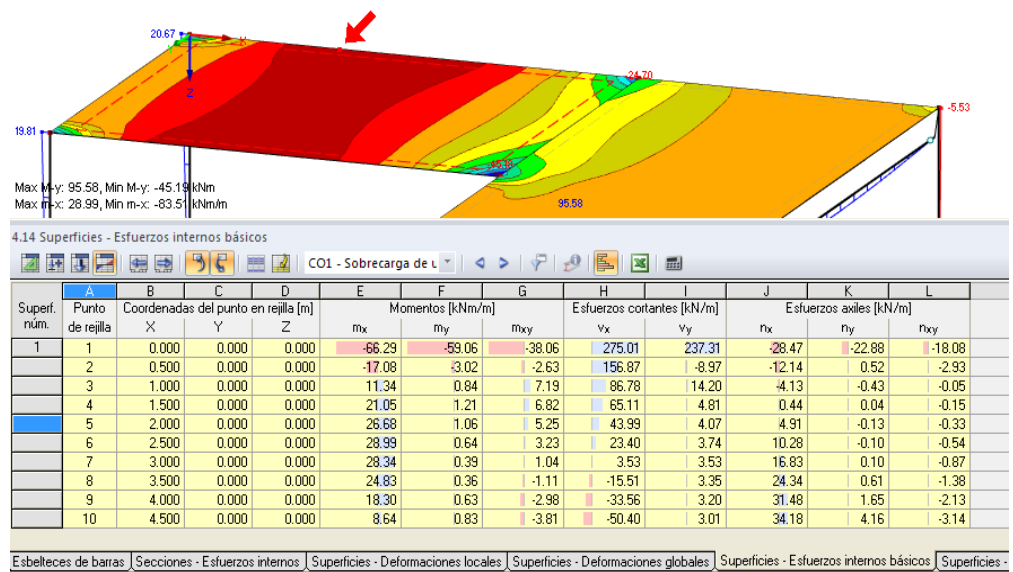


Figura 8.6: Los esfuerzos internos en superficies en la tabla 4.14 y marcador en el punto de rejilla actual en el modelo

Al igual que la función de exploración en la barra de herramientas principal, se pueden utilizar los botones [◀] y [▶] para seleccionar los casos de carga en la tabla. También se puede utilizar la lista de la barra de herramientas para definir un caso de carga particular.

## 8.3 Filtrar resultados

RFEM ofrece diferentes maneras y herramientas para representar y evaluar los resultados en vistas previas estructuradas de forma clara. Se pueden utilizar estas herramientas en este ejemplo.

### 8.3.1 Visibilidades

Las vistas parciales y cortes se pueden utilizar en las llamadas *Visibilidades* para la evaluación de resultados.

#### Mostrar resultados para pilares de hormigón

Haga clic en la pestaña *Vistas* en el navegador. Marque las siguientes entradas listadas bajo la entrada *Generadas*:

- Barras agrupadas por tipo: *Viga*
- Barras agrupadas por sección: *2 - Rectángulo 300/300*

Además, creamos la intersección de ambas opciones con el botón [Mostrar intersección].

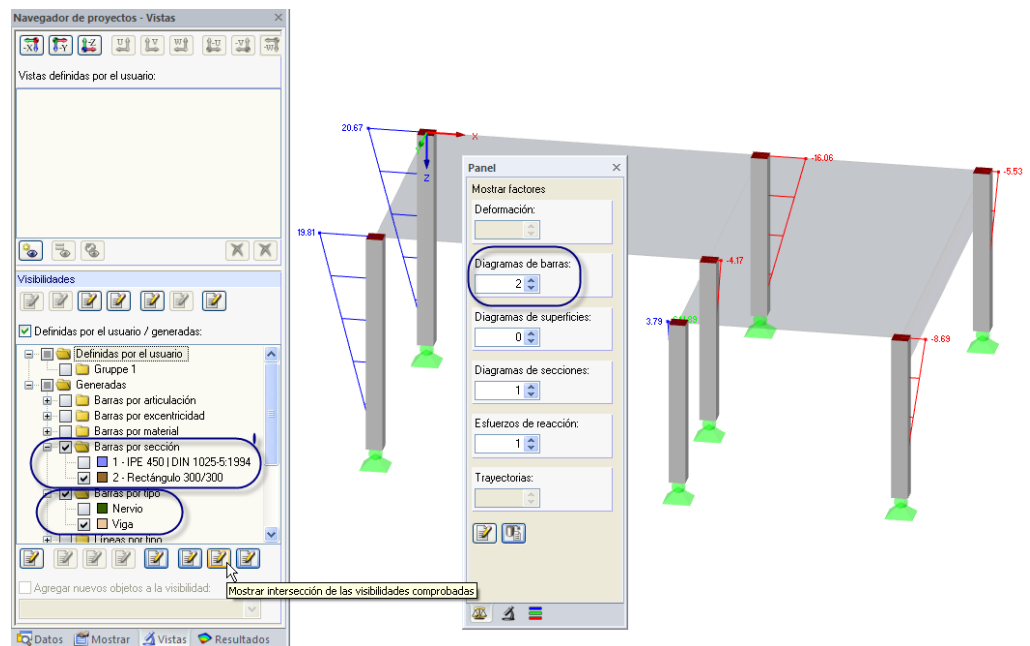


Figura 8.7: Momentos  $M_y$  de pilares de hormigón en representación a escala

La muestra enseña los pilares de hormigón incluyendo los resultados. El modelo restante se muestra tan sólo ligeramente y sin resultados.

#### Ajustar el factor de escala

Para comprobar el diagrama de los esfuerzos internos en el modelo renderizado sin dificultad, escale la muestra de los datos en la pestaña de control del panel. Cambie el factor para *Diagramas de barras* a 2 (ver figura anterior).

### Mostrar resultados de la losa de forjado

De la misma manera, puede filtrar los resultados de las superficies en el navegador *Vistas*. Desactive las opciones *Barras por tipo* y *Barras por sección* y marque *Superficies por espesor* donde puede seleccionar la entrada 200 mm.

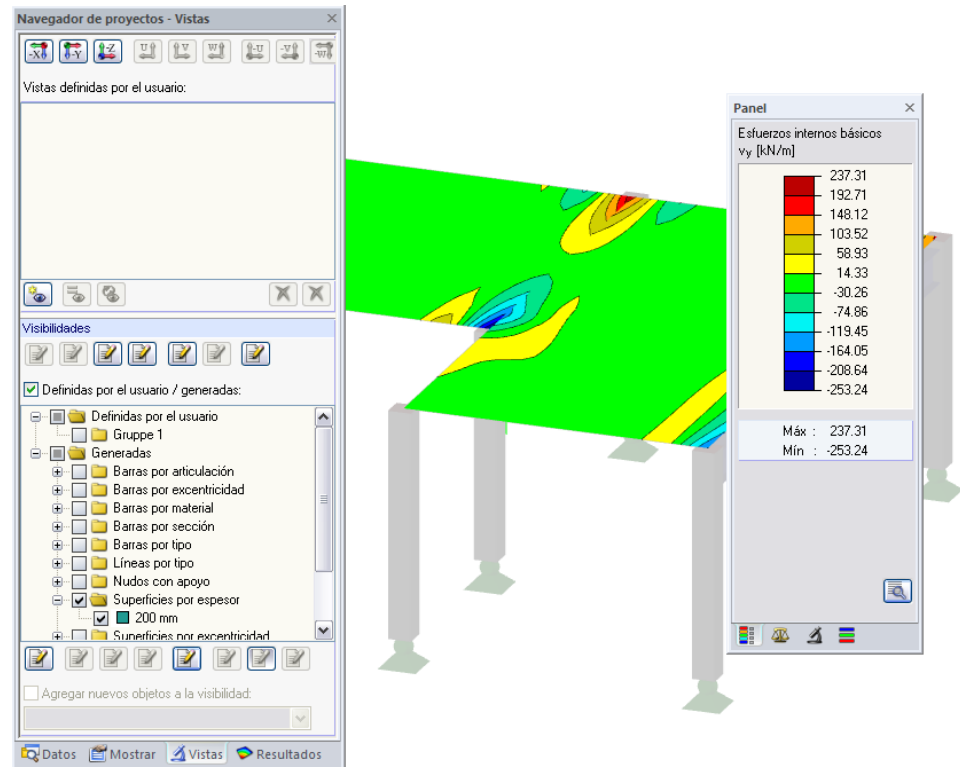


Figura 8.8: Deformaciones del forjado

Como previamente descrito, se puede cambiar la muestra de los tipos de resultados en el navegador *Resultados* (ver Figura 8.3, página 44). La figura anterior muestra la distribución de esfuerzos cortantes  $v_y$ .

### 8.3.2 Resultados en objetos



Otra posibilidad de filtrar los resultados es utilizar la pestaña de filtro del panel de control donde se pueden especificar los números de barras o superficies particulares para mostrar sus resultados exclusivamente. Al contrario de la función de visibilidad, el modelo se mostrará completamente en el gráfico.

Primero, desactive la opción *Definidas por el usuario/generadas* en el navegador *Vistas*.

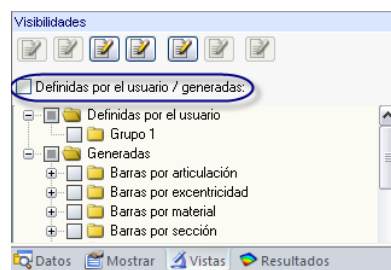


Figura 8.9: Redefinición de la vista general en el navegador *Vistas*





Seleccione la superficie 1 con un clic. Entonces, en el panel, cambie a la pestaña de filtro y compruebe si el campo de selección *Superficies* está activado.

Haga clic en el botón [Importar de la selección] y vea que el número de la superficie seleccionada se ha introducido en el campo de entrada de arriba. Ahora, el gráfico muestra sólo los resultados de la superficie de la izquierda.

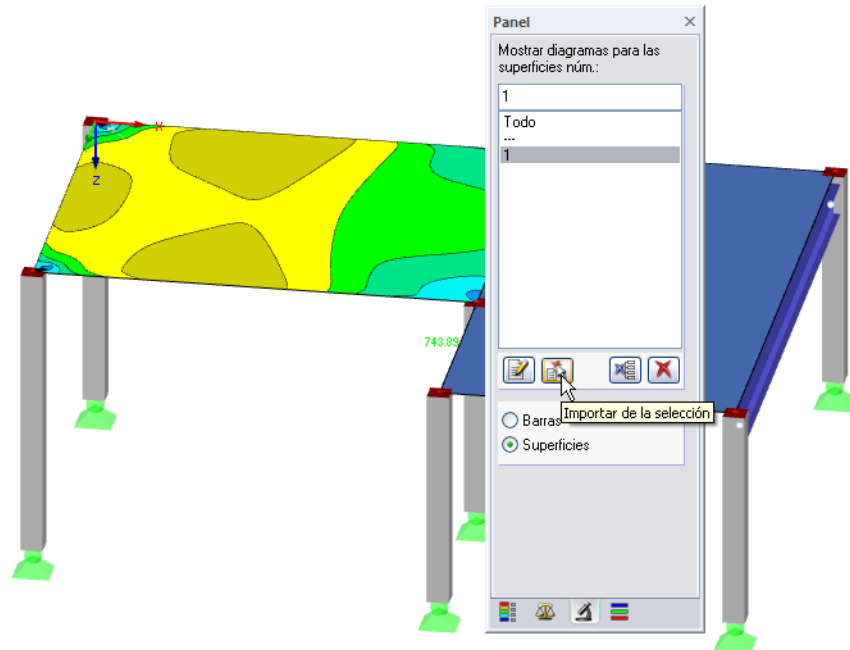


Figura 8.10: Diagrama de esfuerzos en la superficie de la izquierda

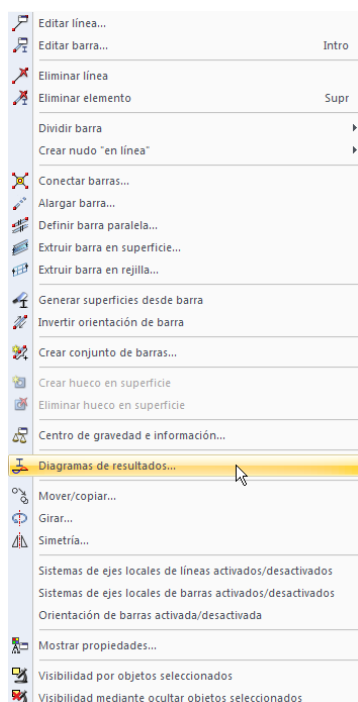
Es posible restaurar la vista general de los resultados aplicando la opción del panel *Todo*.

## 8.4 Mostrar diagramas de resultados

Se pueden evaluar los resultados en un diagrama disponible para líneas, barras, apoyos en línea y secciones. Ahora, utilice esta función para mirar en el diagrama de resultados de la viga en T.

Haga clic con el botón secundario del ratón en la barra 2 (si se tienen problemas, los resultados de las superficies se pueden desactivar) y seleccionar la opción *Diagramas de resultados*.

Se abre una nueva ventana mostrando los diagramas de resultados de la barra del nervio.



Menú contextual Barra

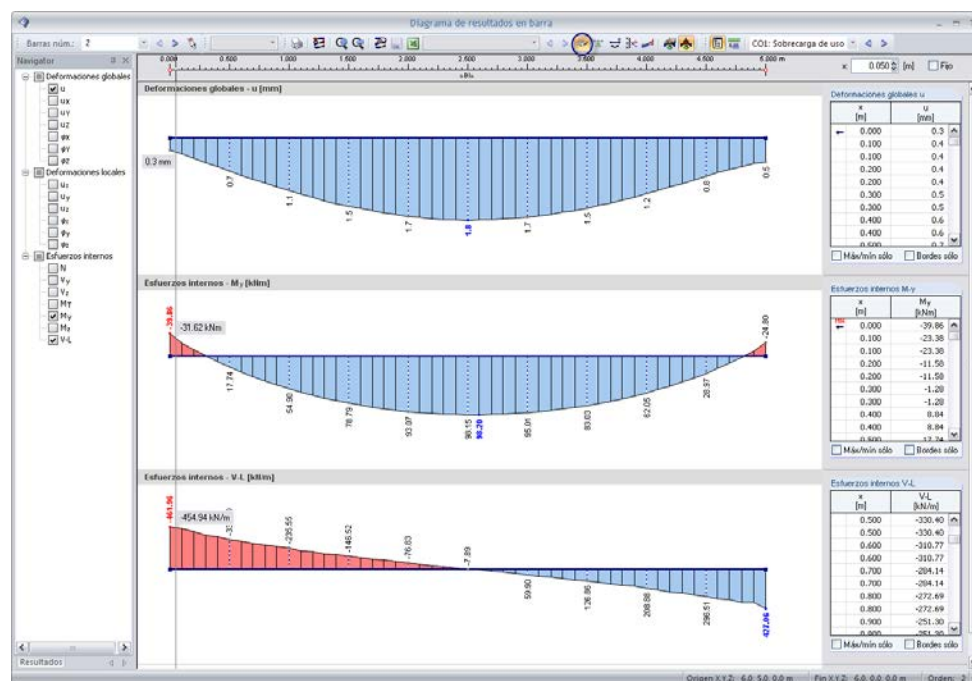


Figura 8.11: Muestra de los diagramas de resultados de la viga de soporte

En el navegador, marque las casillas de verificación de las deformaciones globales  $u$  y los esfuerzos internos  $M_y$  y  $V-L$ . La última opción representa el esfuerzo cortante longitudinal entre la superficie y la barra. Estos esfuerzos se muestran si el botón [Resultados con componente de nervios] está activo en la barra de herramientas. Al hacer clic en el botón para activarlo y desactivarlo, se puede ver claramente la diferencia entre los esfuerzos internos en barras puros y los esfuerzos internos del nervio con la integración de los componentes de las superficies.

Para ajustar el tamaño de los diagramas de resultados mostrados, utilice los botones  $[+]$  y  $[-]$ .

Los botones  $[<]$  y  $[>]$  para la selección del caso de carga están también disponibles en la ventana del diagrama de resultados. Pero también se puede utilizar la lista para establecer los resultados de un caso de carga.

Quite la función *Diagramas de resultados* cerrando la ventana.



## 9. Documentación

### 9.1 Creación del informe

No se recomienda enviar los complejos resultados de un cálculo de EF directamente a la impresora. Por ello, RFEM genera primero una vista previa de impresión, llamada "informe" conteniendo los datos de entrada y resultados. Utilice el informe para determinar los datos que se deseen incluir para su impresión. Además, se pueden agregar gráficos, descripciones o esquemas.



Para abrir el informe,

seleccione **Abrir informe** en el menú **Archivo**

o bien utilice el botón que figura a la izquierda. Aparece un cuadro de diálogo donde se puede especificar una *Plantilla* como modelo para el nuevo informe.

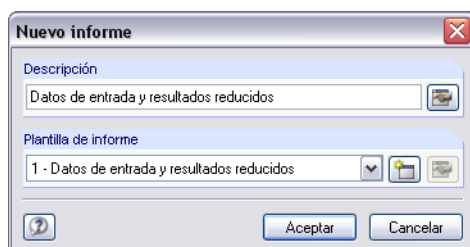


Figura 9.1: Cuadro de diálogo *Nuevo informe*

Acepte la plantilla 1 - *Datos de entrada y resultados reducidos* y genere la vista previa con [Aceptar].

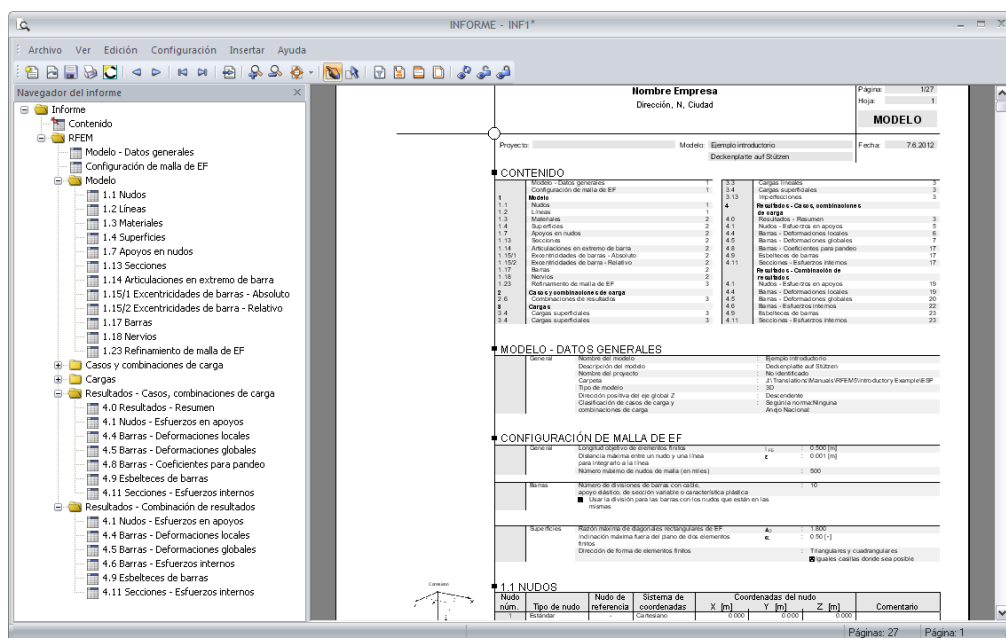


Figura 9.2: Vista previa en el informe

## 9.2 Ajuste del informe

El informe dispone también de un navegador, listando los capítulos seleccionados. Mediante un clic en el botón secundario del ratón, se pueden ver sus contenidos en la ventana de la derecha.

Los contenidos preestablecidos se pueden especificar en detalle. Ahora, puede ajustar la salida de resultados de los esfuerzos internos en las barras: en el capítulo *Resultados – Combinaciones de resultados*, haga clic en *Barras – esfuerzos internos*, y luego haga clic en *Selección*.

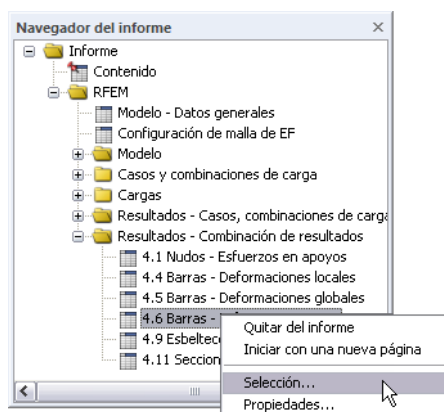


Figura 9.3: Menú contextual *Barras - Esfuerzos internos*

Aparece un cuadro de diálogo, ofreciendo opciones de selección detalladas para los resultados de CR de las barras.

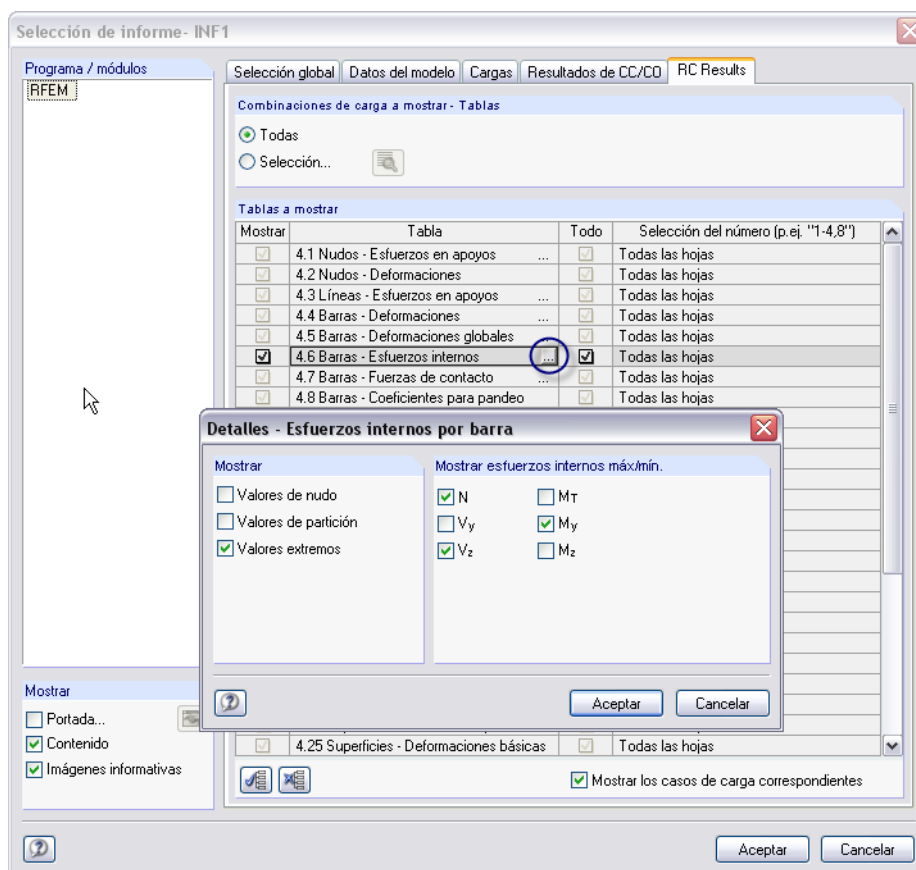


Figura 9.4: Salida reducida de esfuerzos internos por medio de *Selección de informe*



Haga clic en la celda de la tabla 4.6 *Barras - Esfuerzos internos*. Se activa el botón [...] que abre el cuadro de diálogo *Detalles - Esfuerzos internos por barra*. Ahora, reduzca la salida de resultados a los **Valores extremos** de los esfuerzos internos en barras  $N$ ,  $V_z$  y  $M_y$ .

Después de confirmar el cuadro de diálogo, se puede ver que la tabla de los esfuerzos internos se ha actualizado en el informe. Los capítulos restantes se pueden ajustar de la misma manera para el informe.

Para cambiar la posición de un capítulo dentro del informe, muévelo a la nueva posición mediante la función arrastrar y soltar. Si se quiere eliminar un capítulo, utilice el menú contextual (ver Figura 9.3) o la tecla [Supr] del teclado.

## 9.3 Incluir gráficos en el informe

Normalmente, se integran gráficos en el informe para ilustrar la documentación.

### Imprimir gráficos de deformaciones

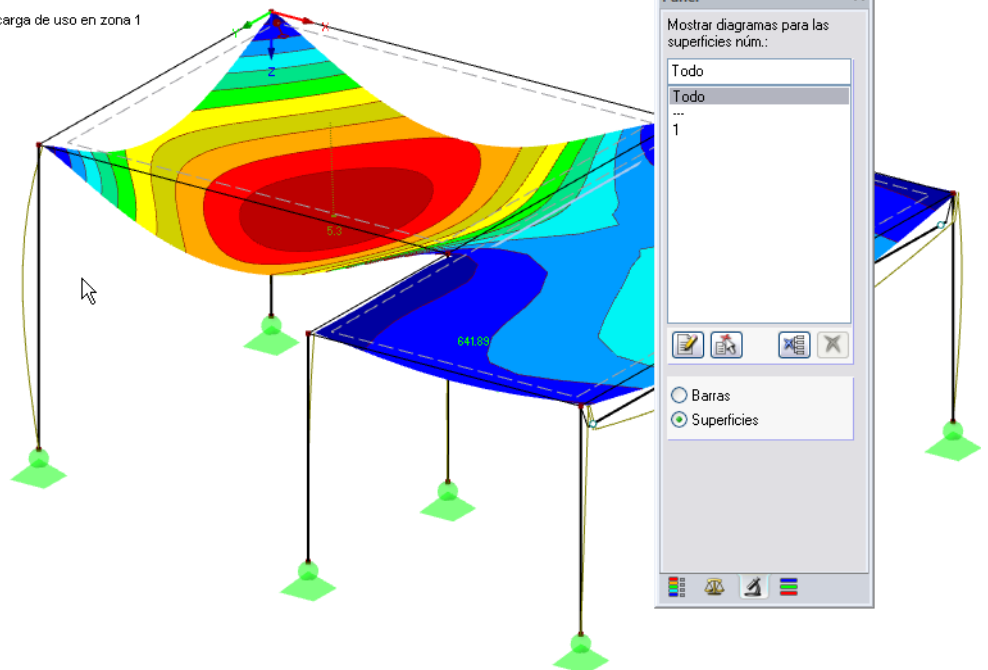
Minimice el informe con el botón [\_] y vuelva a la ventana de trabajo. El informe se muestra ahora como una aplicación en la barra de tareas.

En la ventana de trabajo, establezca las *Deformaciones* de la **CO1 - Sobrecarga de uso en zona 1** y ponga el gráfico en la posición apropiada.

Ya que las deformaciones se pueden mostrar más claramente en el modo *Mostrar modelo de alambre*, establezca esta opción de muestra.

Si no está establecido todavía, cambie la visualización a *Todo* para las superficies en la pestaña de filtro del panel (ver Figura 8.10, página 49).

Deformaciones globales u [mm]  
Reacciones en apoyos  
Secciones  
CO1 : Sobrecarga de uso en zona 1



Max u: 5.3, Min u: 0.0 mm

Figura 9.5: Deformaciones de CO1

Ahora, transfiera esta representación gráfica al informe.

Seleccione **Imprimir gráfico** en el menú **Archivo** o bien utilice el botón de la barra de herramientas que se muestra a la izquierda.



Defina los siguientes parámetros de impresión en el cuadro *Informe gráfico*. No es necesario cambiar la configuración predeterminada en las pestañas *Opciones* y *Escala de colores*.

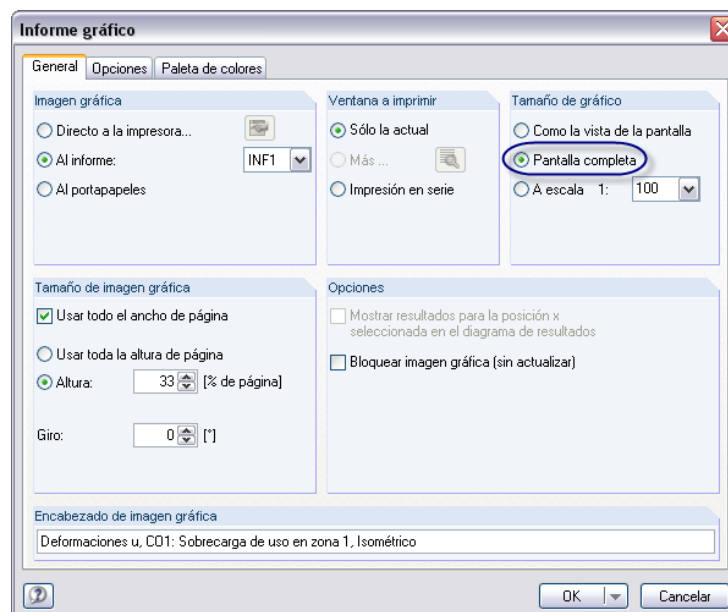


Figura 9.6: Cuadro de diálogo *Informe gráfico*

Haga clic en [Aceptar] para imprimir el gráfico de deformaciones en el informe. El gráfico aparece al final del capítulo *Resultados - Casos, combinaciones de carga* (si el informe no aparece automáticamente, maximice la barra de herramientas).

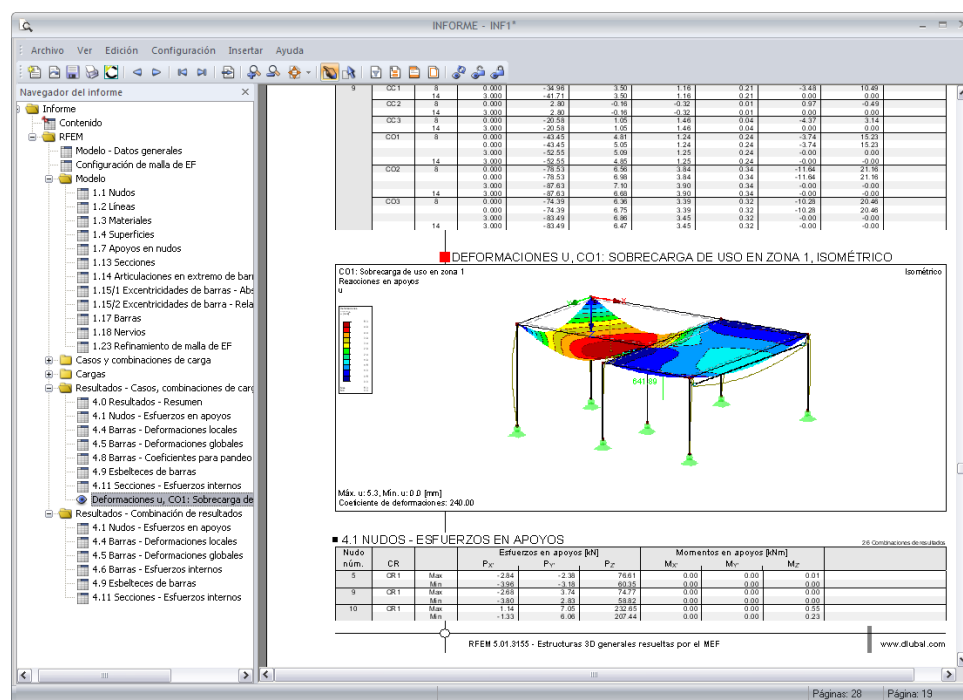


Figura 9.7: Gráfico de deformaciones en el informe

## Imprimir el informe



Cuando el informe esté completamente preparado, se puede enviar a la impresora utilizando el botón [Imprimir].

seleccione **Exportar a PDF** en el menú **Archivo**.

Guardar

[illegible]

Ejemplo introductorio de RFEM © 2012 Dlubal Engineering Software

## 10. Conclusiones

En este momento, ha llegado al final del ejemplo introductorio. Esperamos que esta breve introducción le haya ayudado a iniciarse en RFEM y haya despertado su curiosidad para descubrir más sobre las funciones del programa. Puede encontrar la descripción en detalle del programa en el manual de RFEM disponible para la descarga en nuestra página web [http://www.dlubal.com/es/manuales-de-la-categoria-elementos-finitos-\(rfem\).aspx](http://www.dlubal.com/es/manuales-de-la-categoria-elementos-finitos-(rfem).aspx). En la página de descargas, también puede encontrar un ejemplo de aprendizaje que describe las funciones del programa de manera más amplia.

Con el menú de **Ayuda** o la tecla [F1], es posible abrir el sistema de ayuda en línea del programa, donde es posible buscar términos particulares como en el manual. El sistema de ayuda está basado en el manual de RFEM.

Finalmente, si tiene más preguntas, le invitamos a utilizar nuestro fax y correo electrónico gratuitos de soporte técnico o mirar en la página de preguntas frecuentes en [www.dlubal.com](http://www.dlubal.com).



Nota: Este ejemplo se puede realizar con las versiones demo de los módulos adicionales, por ejemplo para el cálculo de acero y hormigón armado (RF-STEEL Members, RF-CONCRETE Surfaces/Members, RF-STABILITY etc.). Para cumplir con las restricciones de la demo del programa, sugerimos reemplazar los objetos: por ejemplo, en RF-STEEL EC3, se puede reemplazar la viga por una sección IPE 300. De esta manera, será capaz de realizar el cálculo, comprendiendo mejor la funcionalidad de los módulos adicionales. Posteriormente, se pueden evaluar los resultados de cálculo en la ventana de trabajo de RFEM.