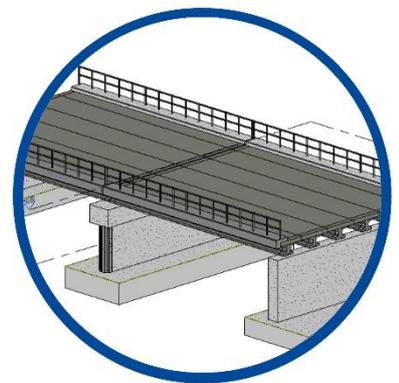
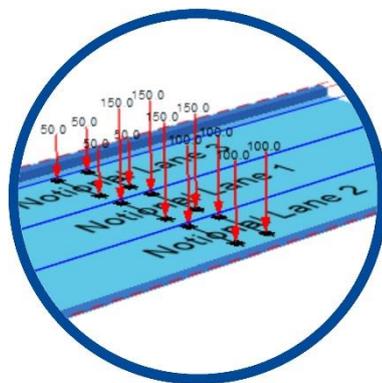
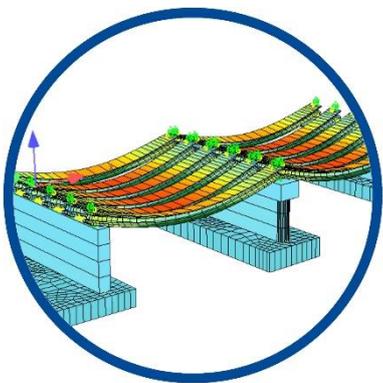
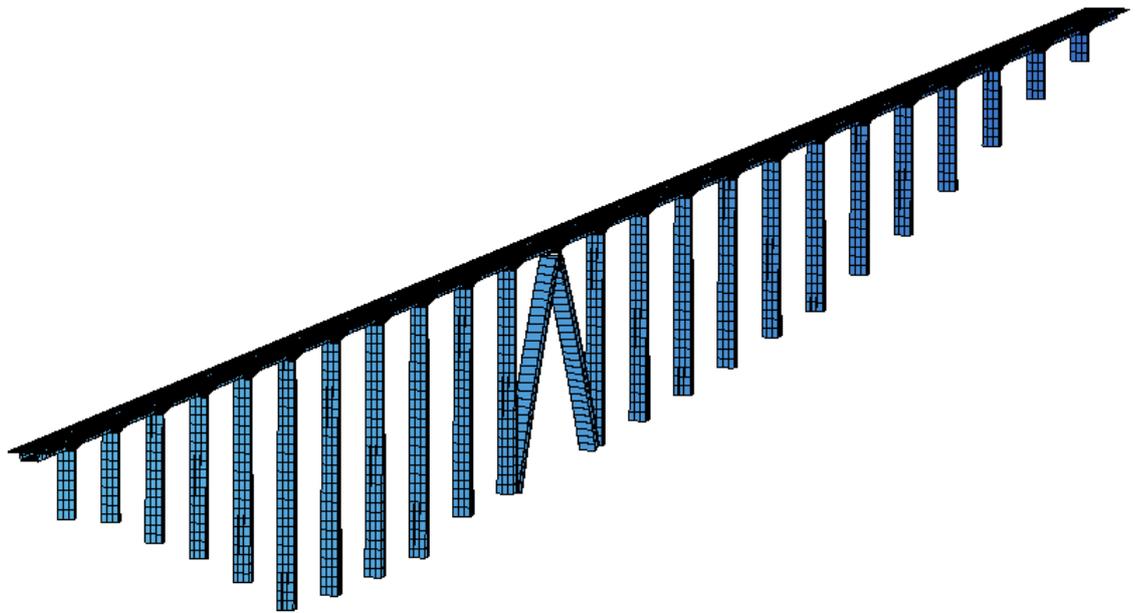




Escuela Técnica
Superior
de Ingenierías de
Caminos y Puertos
y de Ingeniería
de Minas

CASOS PRÁCTICOS DE ANÁLISIS Y DISEÑO DE PUENTES CON SOFiSTiK: UN SOFTWARE BIM



Universidad
Politécnica
de Cartagena

José Manuel Olmos Noguera
Sergio Elpidio Santos Martínez

CASOS PRÁCTICOS DE
ANÁLISIS Y DISEÑO DE PUENTES
CON SOFiSTiK: UN SOFTWARE BIM

José Manuel Olmos Noguera

Sergio Elpidio Santos Martínez

Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos y de Ingeniería de Minas
Universidad Politécnica de Cartagena

© 2020, José Manuel Olmos Noguera
Sergio Elpidio Santos Martínez

© 2020, Universidad Politécnica de Cartagena.

CRAI Biblioteca
Plaza del Hospital, 1
30202 Cartagena.
968325908
ediciones@upct.es



Primera edición, 2020

© Imagen de cubierta, Sergio E. Santos Martínez

ISBN: 978-84-17853-26-6



Esta obra está bajo una licencia de **Reconocimiento-NO comercial-SinObraDerivada (by-nc-nd)**: no se permite el uso comercial de la obra original ni la generación de obras derivadas.

http://es.creativecommons.org/blog/wp-content/uploads/2013/04/by-nc-nd.eu_petit.png

Prólogo

El objetivo del presente libro es facilitar a los alumnos de la asignatura *Diseño, Análisis y Modelo BIM de Puentes habituales de Carretera y Ferrocarril del Máster Universitario en Metodología BIM para el Desarrollo de Proyectos de Infraestructuras (MUMBIM)*, y a los alumnos de futuros cursos de especialización de la UPCT, una serie de casos prácticos de análisis y diseño de puentes, donde se emplea el software SOFiSTiK.

En opinión de los autores de esta publicación, el conocimiento de las posibilidades que la tecnología actual nos brinda, en este caso en forma de software de última generación, y el uso de esta tecnología para mejorar los procesos de cálculo y diseño de estructuras, y en general de infraestructuras, debe ser un objetivo en la formación de futuros ingenieros y arquitectos. El nuevo MUMBIM, primer máster oficial en Metodología BIM de una universidad politécnica española, que estrena la UPCT el presente curso 2020-2021, crea el espacio académico adecuado para completar la formación de los estudiantes y titulados de Ingeniería y Arquitectura en esta dirección.

Con los casos prácticos que se presentan aquí, que tienen un formato de prácticas de informática guiadas, se pretende que los estudiantes del MUMBIM se inicien en el manejo de uno de los programas de referencia en el diseño de puentes.

SOFiSTiK es un programa bien conocido y mejor utilizado por las consultoras de referencia en diseño de estructuras singulares en España, como son Calter Ingeniería, Torroja Ingeniería, Fernández Casado SL, Ideam, Fhecor Ingenieros consultores, etc. Este programa pretende cubrir todos los aspectos implicados en la ingeniería estructural y en la ingeniería de puentes: análisis estáticos, simulaciones sísmicas, construcción evolutiva de secciones de elementos estructurales y de las estructuras en su conjunto, pretensado, retracción y fluencia, no linealidades geométricas, análisis de secciones, etc. Es un programa que emplea el Método de los Elementos Finitos para el análisis estructural y realiza comprobaciones de diseño siguiendo los Eurocódigos estructurales. Eurocódigos cuyas especificaciones ya son obligatorias en España para proyectos de nueva construcción de puentes y obras de geotécnicas que promueva la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana según la Orden Circular 1/2019 sobre la aplicación de los Eurocódigos a obras de carreteras.

El presente libro incluye: la construcción de un modelo BIM 3D de un puente losa con Revit y su plugin SOFiSTiK Bridge Modeler; el análisis, el diseño estructural y el modelado BIM del tablero de un puente de carretera de vigas más losa, teniendo en cuenta las fases constructivas, el pretensado y sus pérdidas, y comprobando la resistencia de las secciones y las tensiones en servicio según el Eurocódigo 2; además, de una práctica para conocer la metodología para determinar el factor de impacto de los elementos estructurales de un viaducto de ferrocarril de una línea de alta velocidad, práctica en la que se realiza un análisis dinámico por integración directa en el tiempo con un modelo de cargas móviles correspondiente al tren HSLM-A1 del Eurocódigo 1 (EN 1991) viajando a 360 km/h.

Este libro y su contenido tienen únicamente un fin educativo. En él se hace referencia a una serie de material en forma de archivos CAD, archivos de modelos intermedios y finales de SOFiSTiK SSD y documentos PDF que se encuentran a disposición de los estudiantes en el Aula Virtual de

la asignatura mencionada del MUMBIM, y que estará también disponible en el Aula Virtual de futuros cursos de especialización en diseño de puentes de la UPCT.

La elaboración del presente libro, así como la captura de imágenes de los programas SOFiSTiK SSD y SOFiPLUS ha sido autorizada por SOFiSTiK AG y por Calter Ingeniería, distribuidora del programa en España. Queremos agradecer a estas firmas su colaboración y ayuda.

José Manuel Olmos Noguera.

Dr. Ing. de Caminos, CC. y PP.

Área de Ingeniería de la Construcción. UPCT.

Contenido

Ejercicio 1.	
Modelo BIM de paso superior de Autovía. Revit y Bridge Modeler	1
Ejercicio 2.	
Diseño y cálculo de un puente de vigas. SOFiSTiK.....	39
Ejercicio 2A.	
Materiales y secciones transversales	43
Ejercicio 2B.	
Eje del Puente	63
Ejercicio 2C.	
Elementos estructurales del tablero	67
Ejercicio 2D.	
Sistema de pretensado.....	73
Ejercicio 2E.	
Apoyos: pila y estribos	89
Ejercicio 2F.	
Acciones y creación del MEF	109
Ejercicio 2G.	
Fases de construcción y sobrecargas de tráfico. SSD	125
Ejercicio 2H.	
Cálculo y comprobaciones ELU y ELS. SSD.....	155
Ejercicio 2I.	
Consulta de la resistencia de la viga sin la losa	169
Ejercicio 2J.	
Modelo BIM del puente. IFC y Revit.....	173
Ejercicio 3.	
Modelo de Cálculo de un paso Superior de Autovía. SOFiSTiK.....	195
Ejercicio 4.	
Análisis dinámico de un Viaducto de AVE. SOFiSTiK	207

Índice

Ejercicio 1. Modelo BIM de paso superior de Autovía. Revit y Bridge Modeler	1
1.1. PLANTEAMIENTO	1
1.2. DETALLES DEL PROBLEMA.....	2
1.2.1. Planos de la estructura.....	4
1.3. DETERMINAR.....	4
1.4. RESOLUCIÓN.....	5
1.4.1. Definición del eje longitudinal del tablero	6
1.4.2. Tablero	12
1.4.3. Pilas	15
1.4.4. Estribos.....	16
1.4.5. Puente curvo	22
1.4.6. Imposta.....	25
1.4.7. Barandilla.....	26
1.4.8. Shop Drawings.....	28
Ejercicio 2. Diseño y cálculo de un puente de vigas. SOFiSTiK	39
2.1. PLANTEAMIENTO	39
2.2. PARÁMETROS DEL PROBLEMA.....	40
2.3. TAREAS A REALIZAR.....	40
2.3.1. Construcción del modelo de análisis con SOFiSTiK	40
2.3.2. Acciones y combinación de acciones en SOFIPLUS -X.....	41
2.3.3. Generación del modelo de elementos finitos	41
2.3.4. Análisis de los casos de carga	41
2.3.5. CSM definición de las fases constructivas del puente	41
2.3.6. Traffic loader	41
2.3.7. CSM Bridge Design - Superpositioning.....	42
2.3.8. CSM Bridge Design – Beam. (Comprobaciones tablero).....	42
2.3.9. Resistencia a flexión en la sección viga sin losa	42
2.3.10. Modelo BIM del puente. IFC y Revit.....	42
Ejercicio 2A. Materiales y secciones transversales	43
A. RESOLUCIÓN.....	43
A.1. Nuevo proyecto.....	43
A.2. Materiales	47
A.3. Secciones	51

Ejercicio 2B Eje del puente.....	63
B. RESOLUCIÓN.....	63
Ejercicio 2C. Elementos estructurales del tablero	67
C. RESOLUCIÓN.....	67
C.1. Structural lines.....	67
C.2. Structural areas	71
Ejercicio 2D. Sistema de pretensado	73
D. RESOLUCIÓN.....	73
D.1. Datos del pretensado (armaduras pretesas):.....	73
D.2. Introducción del pretensado en SOFiPLUS.....	74
Ejercicio 2E. Apoyos: pila y estribos	89
E. RESOLUCIÓN.....	89
Ejercicio 2F. Acciones y creación del MEF	109
F. RESOLUCIÓN.....	109
F.1. Casos de carga	109
F.2. Modelo de Elementos Finitos.....	122
Ejercicio 2G. Fases de construcción y sobrecargas de tráfico. SSD.....	125
G. RESOLUCIÓN.....	125
G.1. Análisis lineal	125
G.2. Construction Stage Manager.....	134
G.3. Traffic Loader.....	144
G.4. CSM Bridge Design - Superpositioning	153
Ejercicio 2H. Cálculo y comprobaciones ELU y ELS. SSD.....	155
H. RESOLUCIÓN.....	155
H.1. Comprobaciones a realizar en tableros de hormigón pretensado.....	155
H.2. Comprobaciones de SOFiSTiK en un elemento finito seleccionado del tablero ..	156
H.3. Comprobaciones de SOFiSTiK en todas las vigas del tablero	161
Ejercicio 2I. Consulta de la resistencia de la viga sin la losa.....	169
I. RESOLUCIÓN.....	169
Ejercicio 2J. Modelo BIM del puente. IFC y Revit	173
J. RESOLUCIÓN.....	173
J.1. IFC.....	173
J.2. Revit.....	174
Ejercicio 3. Modelo de cálculo de un paso superior de Autovía. SOFiSTiK	195
3.1. DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA	195
3.1.1. Planos de la estructura	198

3.2.	DETERMINAR.....	198
3.3.	RESOLUCIÓN.....	198
3.3.1.	Grupos en SOFiSTiK	198
3.3.2.	Acciones consideradas	199
3.3.3.	Esquema de fases constructivas del puente	199
3.3.4.	Pretensado	201
3.3.5.	Ejemplo de sección variable en SOFiSTiK	203
Ejercicio 4. Análisis dinámico de un Viaducto de AVE. SOFiSTiK.....		207
4.1.	DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA	207
4.2.	DETALLES DEL PROBLEMA.....	208
4.2.1.	Planos de la estructura.....	209
4.3.	SE PIDE.....	210
4.4.	RESOLUCIÓN.....	211
4.4.1.	Análisis modal de la estructura	212
4.4.2.	Análisis dinámico mediante integración directa en el tiempo con cargas móviles	217
4.4.3.	Resultados del análisis dinámico.....	222
Bibliografía.....		226

Ejercicio 1

Modelo BIM de paso superior de Autovía. Revit y Bridge Modeler

1.1. PLANTEAMIENTO

Se quiere realizar el modelo BIM de un paso a desnivel de una autovía. El Paso Superior en estudio consiste en una estructura de tres vanos.

El tablero es una losa de hormigón postesado y tiene tres vanos de luces 20–37, 50–20 m, sin esviaje y de directriz recta. La anchura del tablero es de 10.00 m, repartida en dos carriles de 3.50 metros, arcenes de 1.00 m y barreras de 0.50 m a cada lado. El canto es variable entre 0.90 m en centro luz del vano central y 1.70 m sobre pilas.

Las pilas, se componen de un fuste de sección circular de 1.20 m de diámetro, con una altura máxima de 9.364 m hasta zapata. Se cimentan directamente en el terreno a 2.70 kp/cm^2 con una zapata de dimensiones $7.20 \times 7.20 \text{ m}$ y 1.60 m de canto.

Los estribos son abiertos, cimentados de forma directa mediante zapatas de dimensiones $8.50 \times 10.00 \text{ m}$. La tensión admisible considerada en este caso es 2.85 kp/cm^2 .

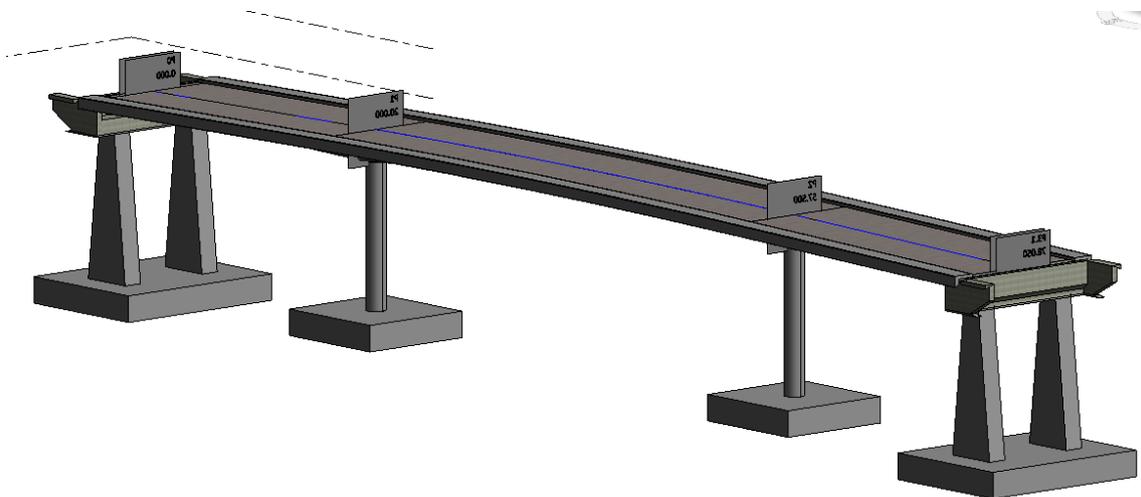


Figura 1.1. Visualización del modelo en Revit

1.2. DETALLES DEL PROBLEMA

La estructura objeto de cálculo se describe en las perspectivas adjuntas.

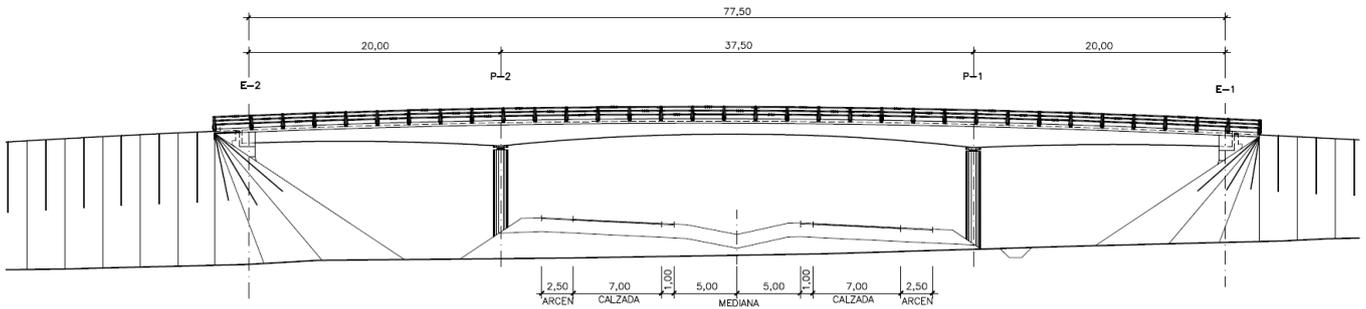


Figura 1.2. Perfil longitudinal de la estructura

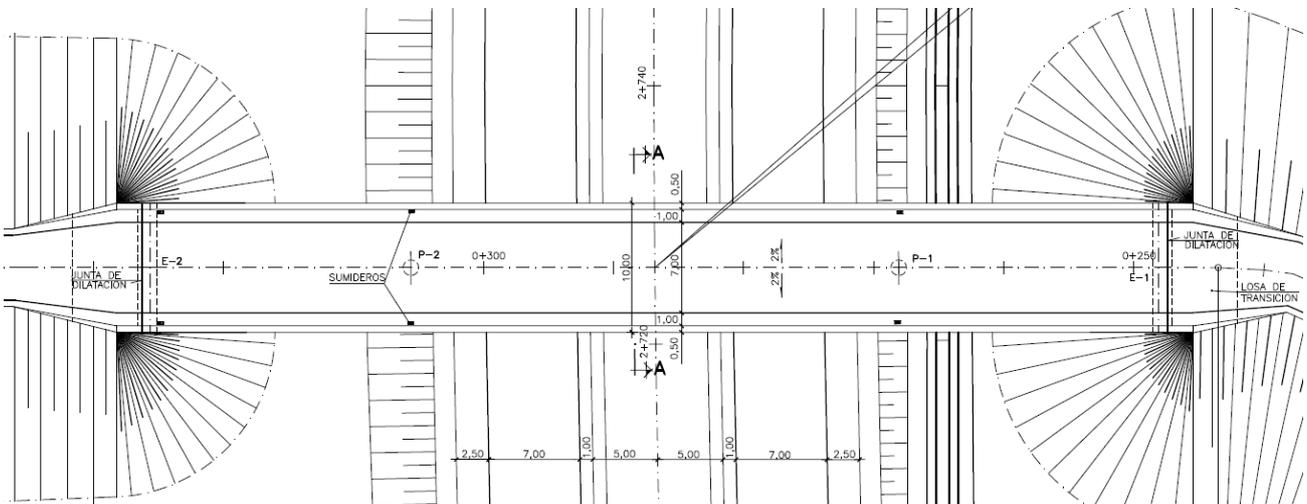


Figura 1.3. Planta de la estructura

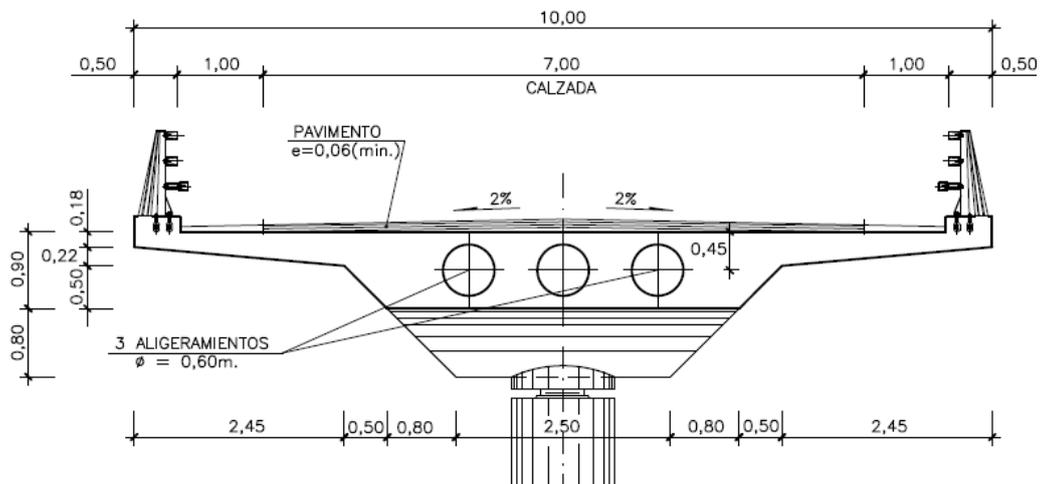


Figura 1.4. Sección transversal de tablero sobre pilas

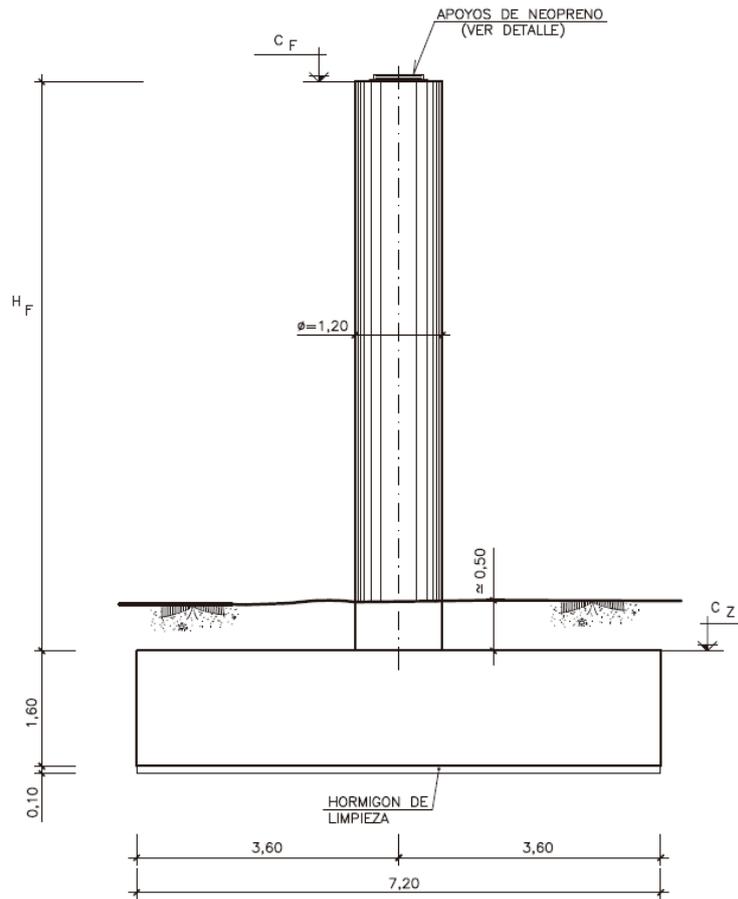


Figura 1.5. Sección transversal de las pilas

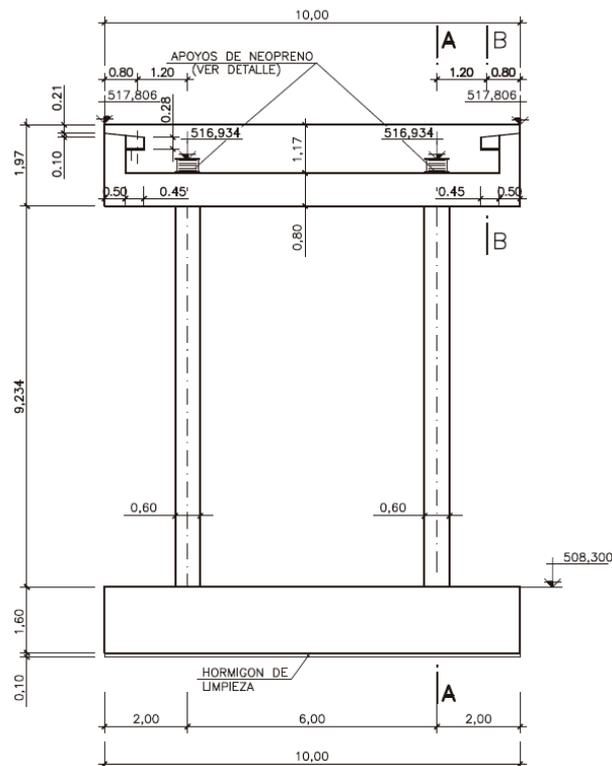


Figura 1.6. Alzado de estribo E2

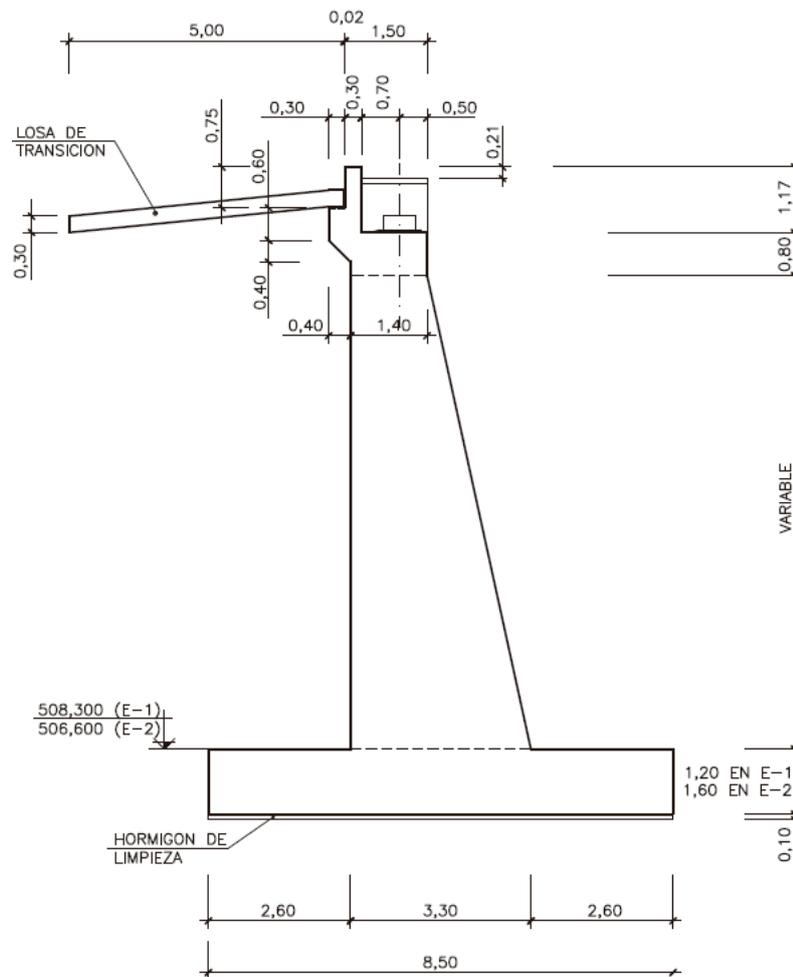


Figura 1.7. Perfil del estribo

1.2.1. Planos de la estructura

Con este ejercicio se proporciona el archivo *Planos_Puente_Losa_Ejercicio1.pdf*. Con los planos que definen completamente de la estructura.

También se adjunta el archivo *PlanoGeneral_Puente_Losa_Ej_1.dwg* para obtener el trazado en alzado de la rasante de la estructura.

1.3. DETERMINAR

A partir de los planos de la estructura, se pide construir el modelo geométrico de la estructura en Revit utilizando el plug-in Bridge Modeler de Sofistik.

Como se trata de un ejercicio para conocer las ordenes de Bridge Modeler, basta con introducir la geometría de un estribo y de una pila, y duplicar estos elementos para generar el otro estribo y la otra pila.

1.4. RESOLUCIÓN

Iniciamos Revit y creamos un nuevo proyecto con el tipo de plantilla estructural: **MODELOS (Nuevo) > Archivo de Plantilla (Plantilla estructural)**.

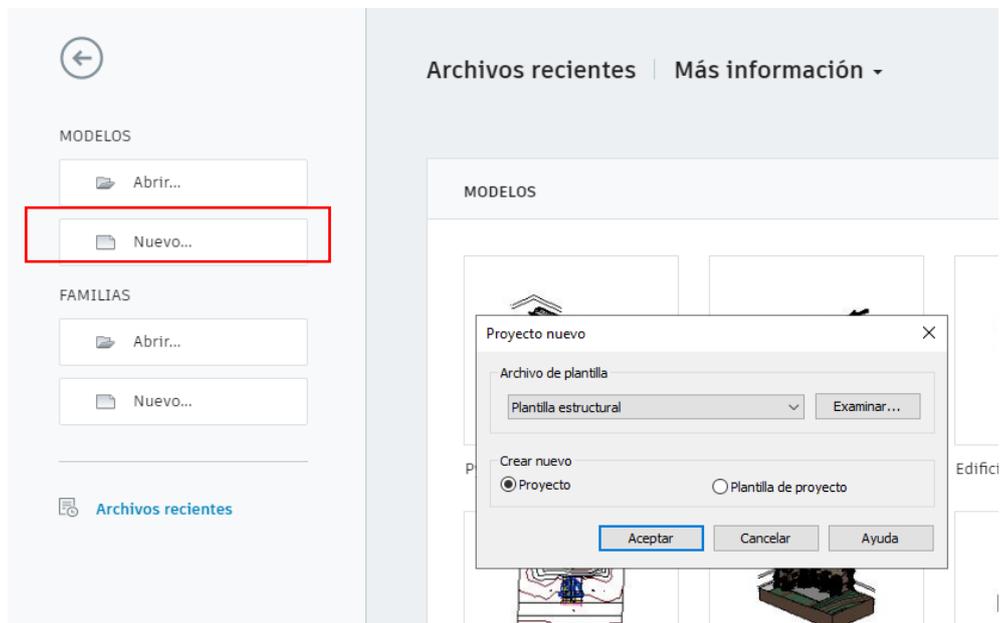


Figura 1.8. Plantilla de inicio Revit (2020) y ventana de Proyecto nuevo

Una vez iniciado Revit, lo guardamos como un proyecto con el nombre de *Ejercicio1* en una carpeta que hemos creado para este ejercicio.

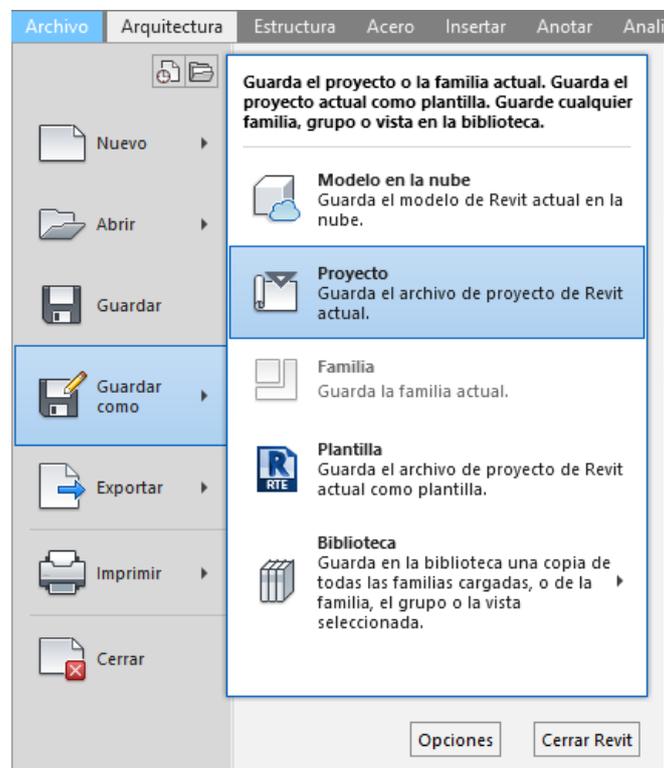


Figura 1.9. Opciones de la ficha Archivo

Nos dirigimos a la ficha **SOFiSTiK Bridge**. En esta pestaña nos aparece la cinta de opciones de este plug-in.

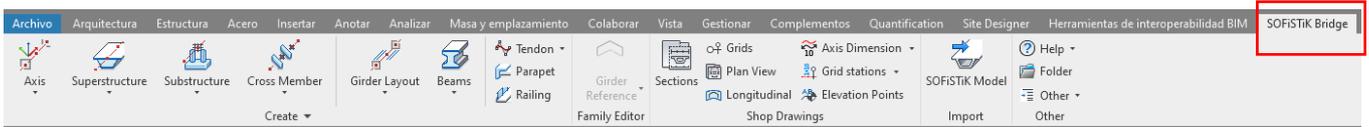


Figura 1.10. Pestaña de SOFiSTiK Bridge

Con estas órdenes, vamos a construir el modelo del puente. En el grupo **Create**, crearemos los ejemplares de los elementos estructurales de un puente: tablero, pilas, estribos. También podemos colocarle, el armado y pretensado a esos elementos, y la imposta (parapet) y la barandilla (railing).

En el grupo de opciones **Shop Drawing** generaremos vistas de secciones de la estructura en Revit, líneas de referencia, vistas en planta y una sección longitudinal. Podremos obtener tablas con las coordenadas de los puntos singulares del tablero para su replanteo.

Si vas al grupo **Other** y clicas en **Help > Online Documentation**, te abre la ayuda on-line donde están descritas todas las funciones de este plug-in.

Comenzamos con nuestro modelo.

1.4.1. Definición del eje longitudinal del tablero

Lo primero es crear el eje longitudinal del puente. En **Create**, elige la herramienta **Axis > Create**.

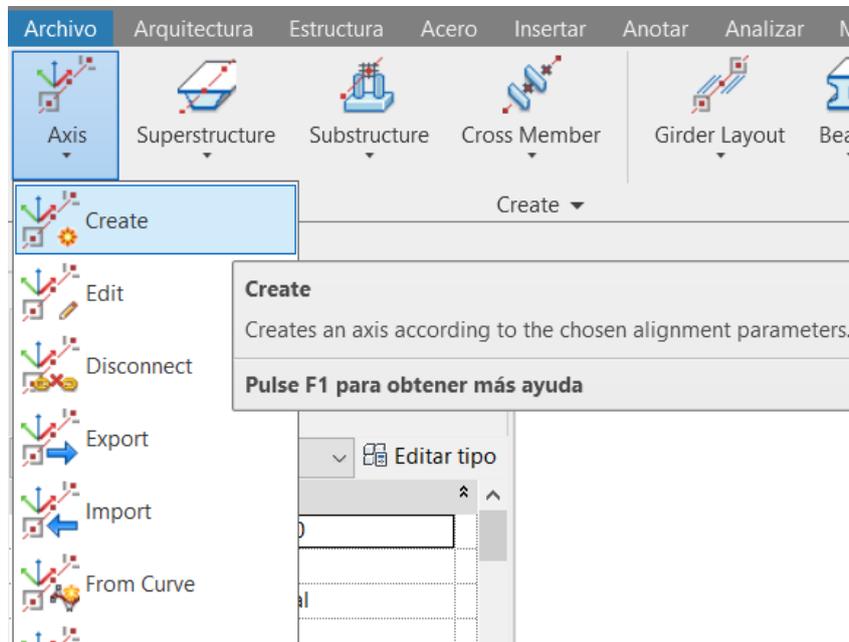


Figura 1.11. Pasos para la creación del eje

En la pestaña de *Alignment* es donde se introducen los parámetros para nuestro eje. El trazado del eje en planta es una recta. Introducimos la longitud y la estación de inicio del eje en la sub-pestaña *Horizontal* (en el área *Axis Data*). Rellenar como se observa en la Figura 1.12.

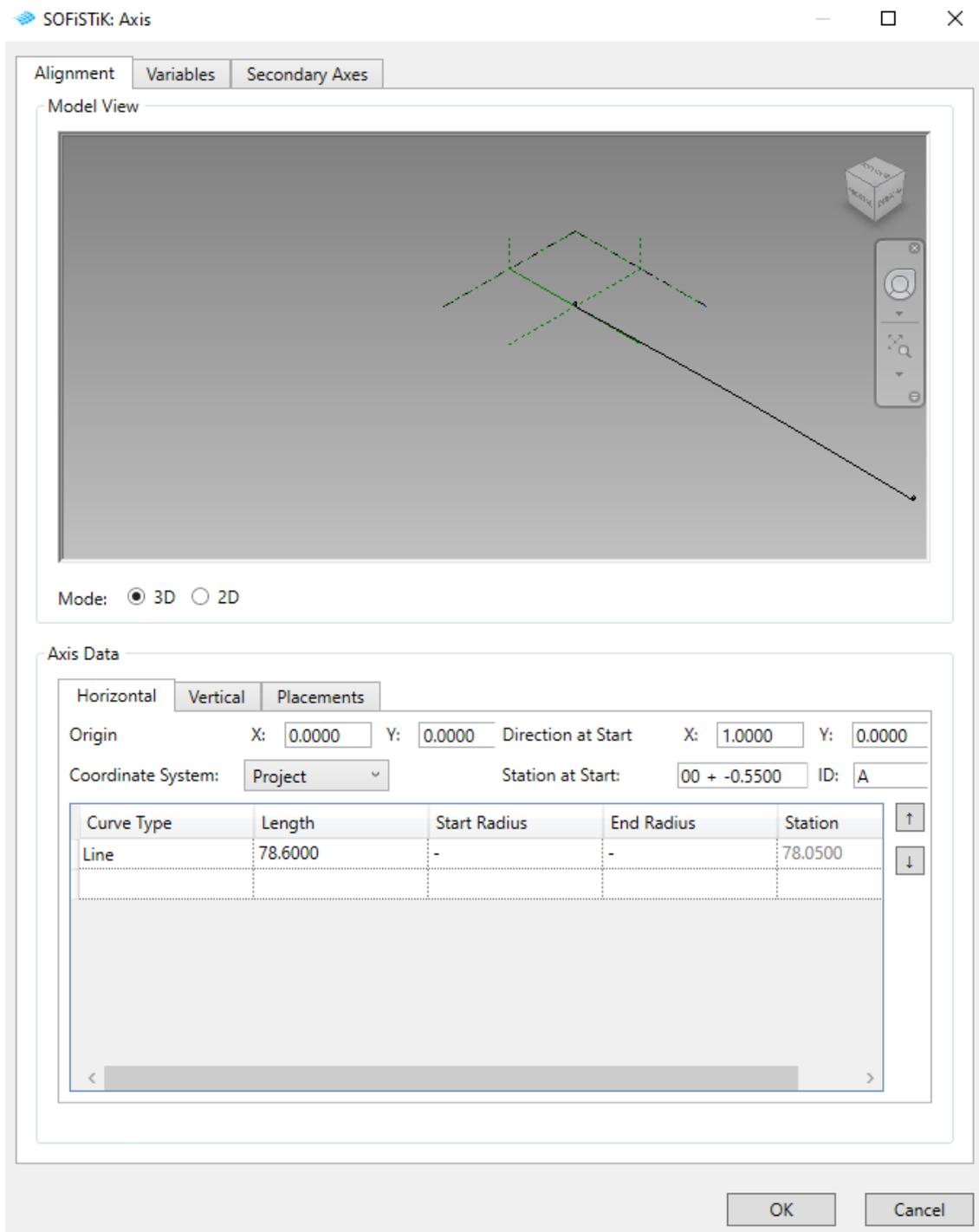


Figura 1.12. Ventana Axis > Alignment > Horizontal. Parámetros del eje

En la subpestaña *Vertical* en *Axis Data*, introducimos el trazado del eje en alzado. Dicho trazado consiste en una parábola de flecha 0.86 m y radio de curvatura en el vértice de 900 m.

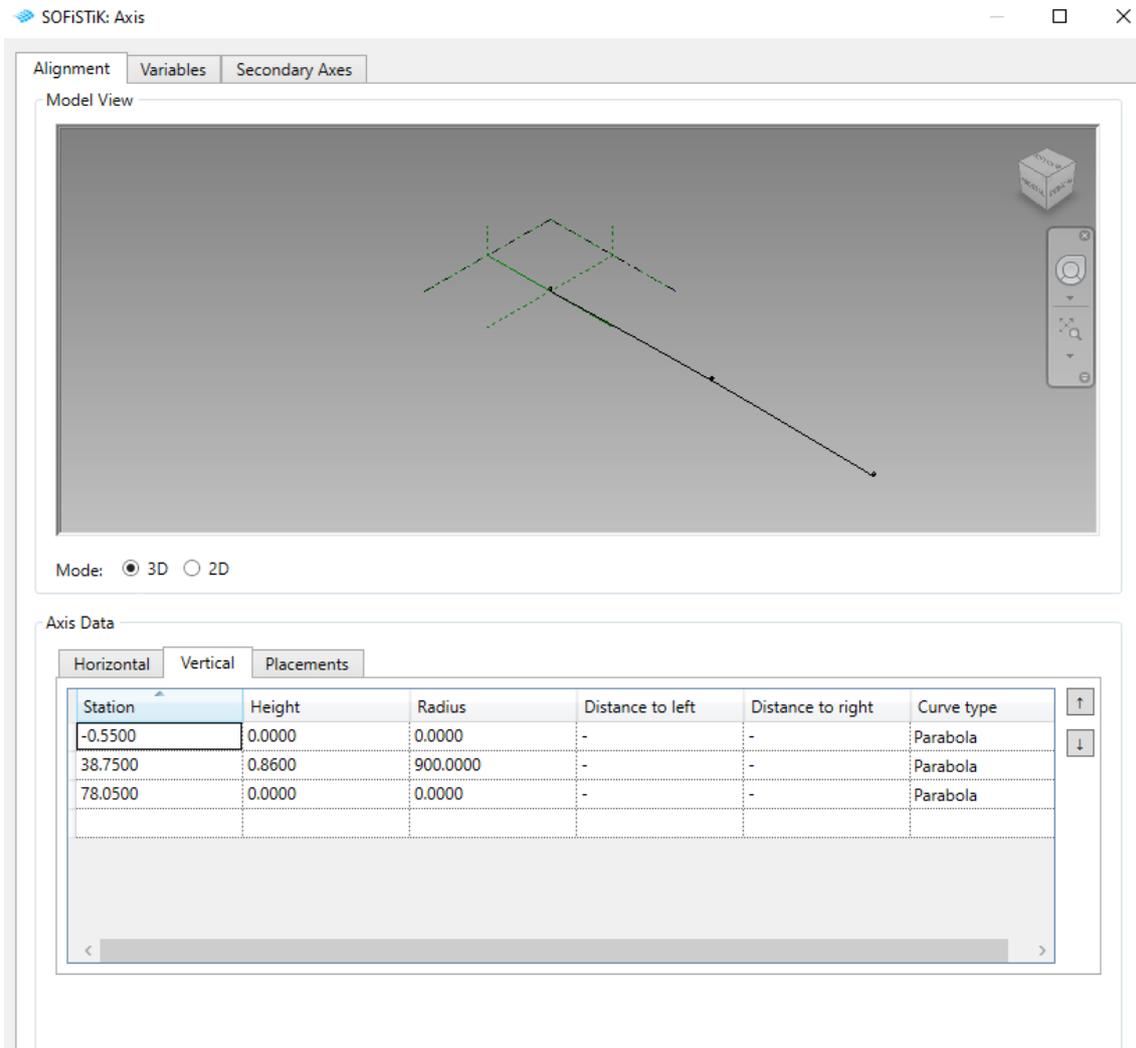


Figura 1.13. Ventana Axis > Alignment > Vertical. Trazado del eje

En la sub-pestaña *Placements*, vamos a fijar la posición de las pilas, de los estribos y de la sección inicial y final del tablero a lo largo del eje que estamos creando.

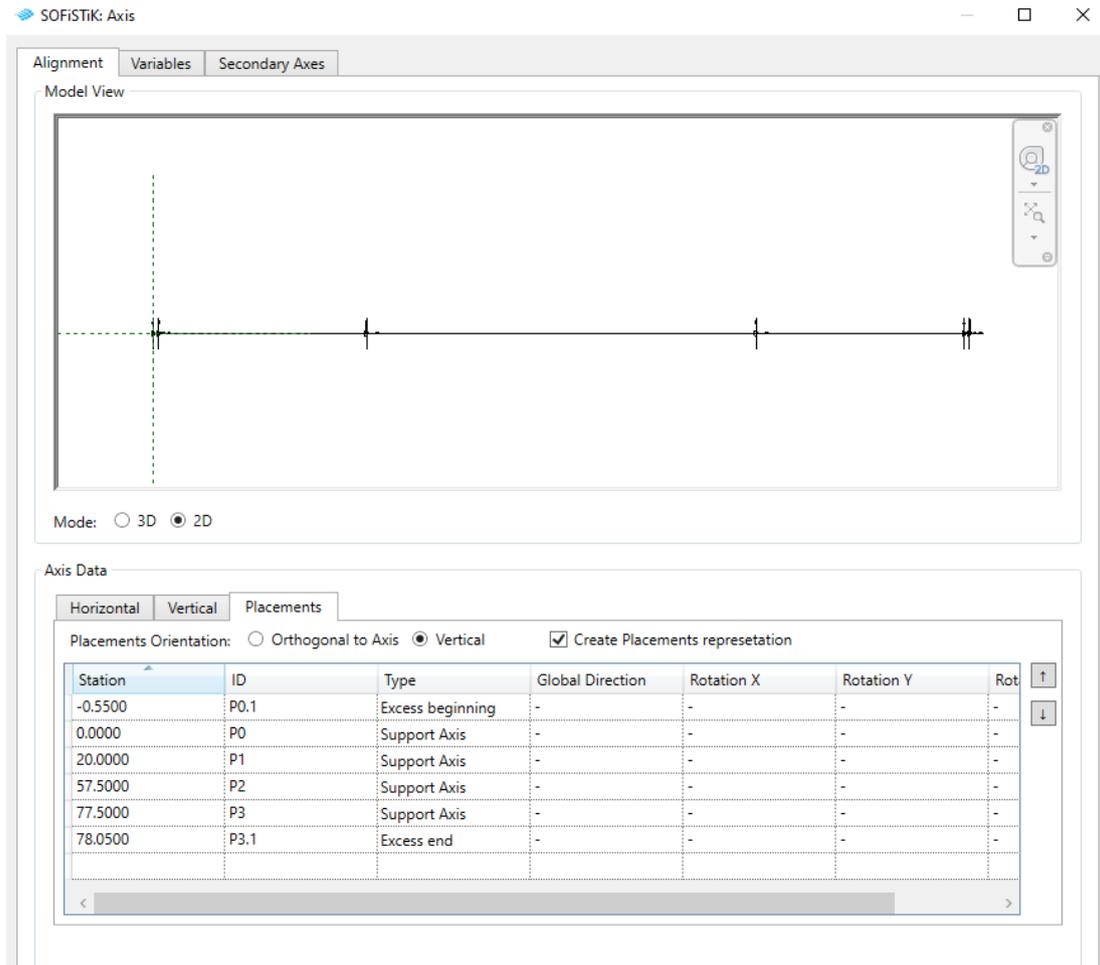


Figura 1.14. Ventana Axis > Alignment > Placement. Posición de las pilas

Ya habiendo introducido todos los parámetros de alineación del eje, nos dirigimos a la pestaña *Variables*. Aquí se introducen las variaciones a lo largo de un eje.

En el área *Variable Data* creamos una variable llamada “HT” con los valores del canto del tablero que necesitaremos más adelante. Para crear esta variable pulsamos en el menú desplegable de *Variable Data* y pulsamos el signo +.

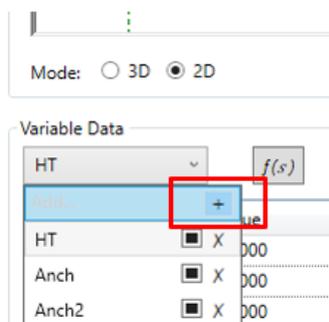


Figura 1.15. Ventana Axis > Variables. Creación de una variable

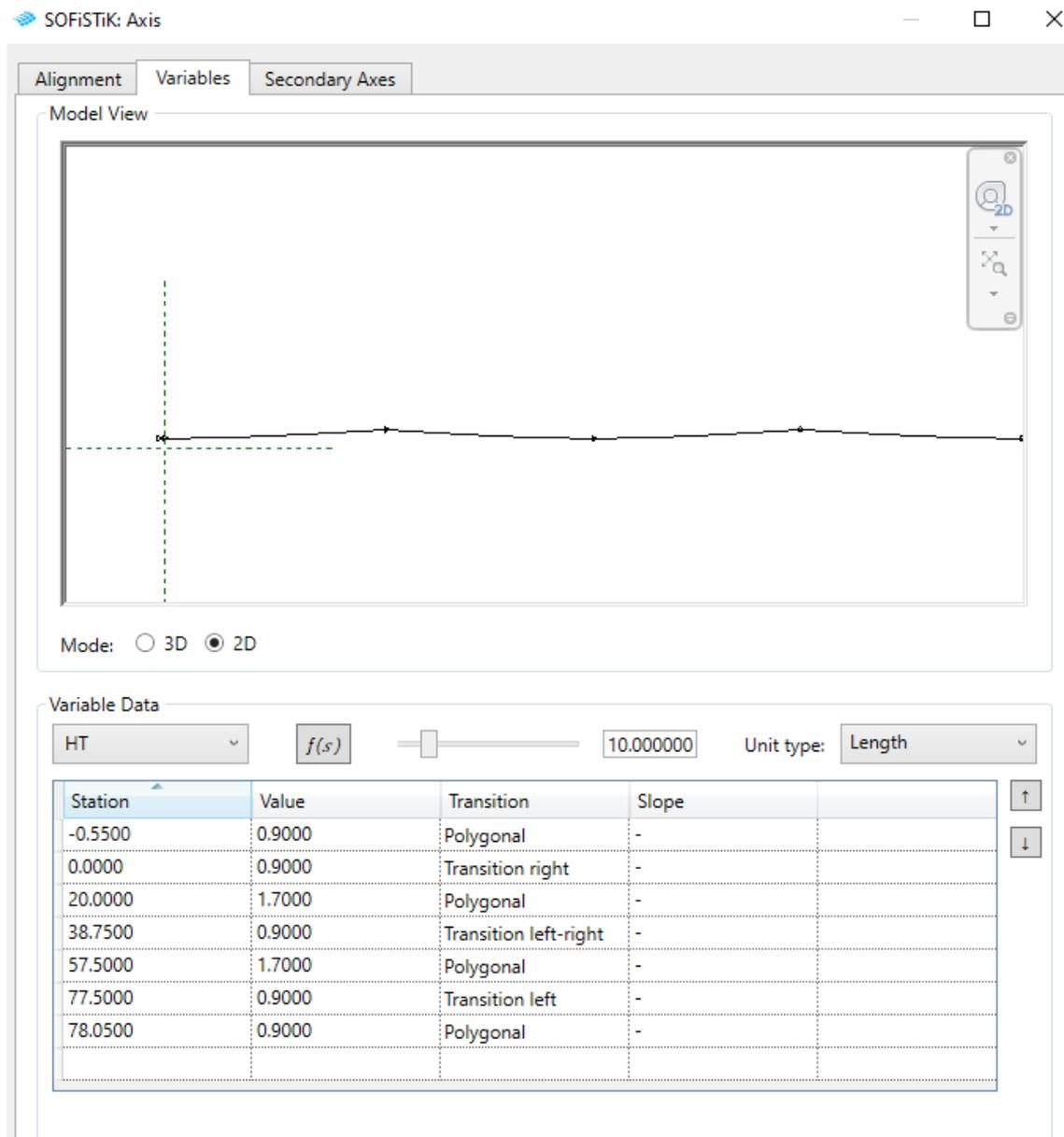


Figura 1.16. Ventana Axis > Variables. Valores del canto (HT)

El tipo de transición es para suavizar o no las curvas entre los valores introducidos de la función.

X → station (coordenada s a lo largo del eje definido)

F(x) → Value (valor de la variable en ese punto del eje)

Podemos definir ejes secundarios con la pestaña correspondiente, pero nosotros no los necesitamos para este ejercicio.

Creamos otra variable con el nombre de *Anch* que utilizaremos para variar una de las dimensiones del tablero a lo largo del eje.

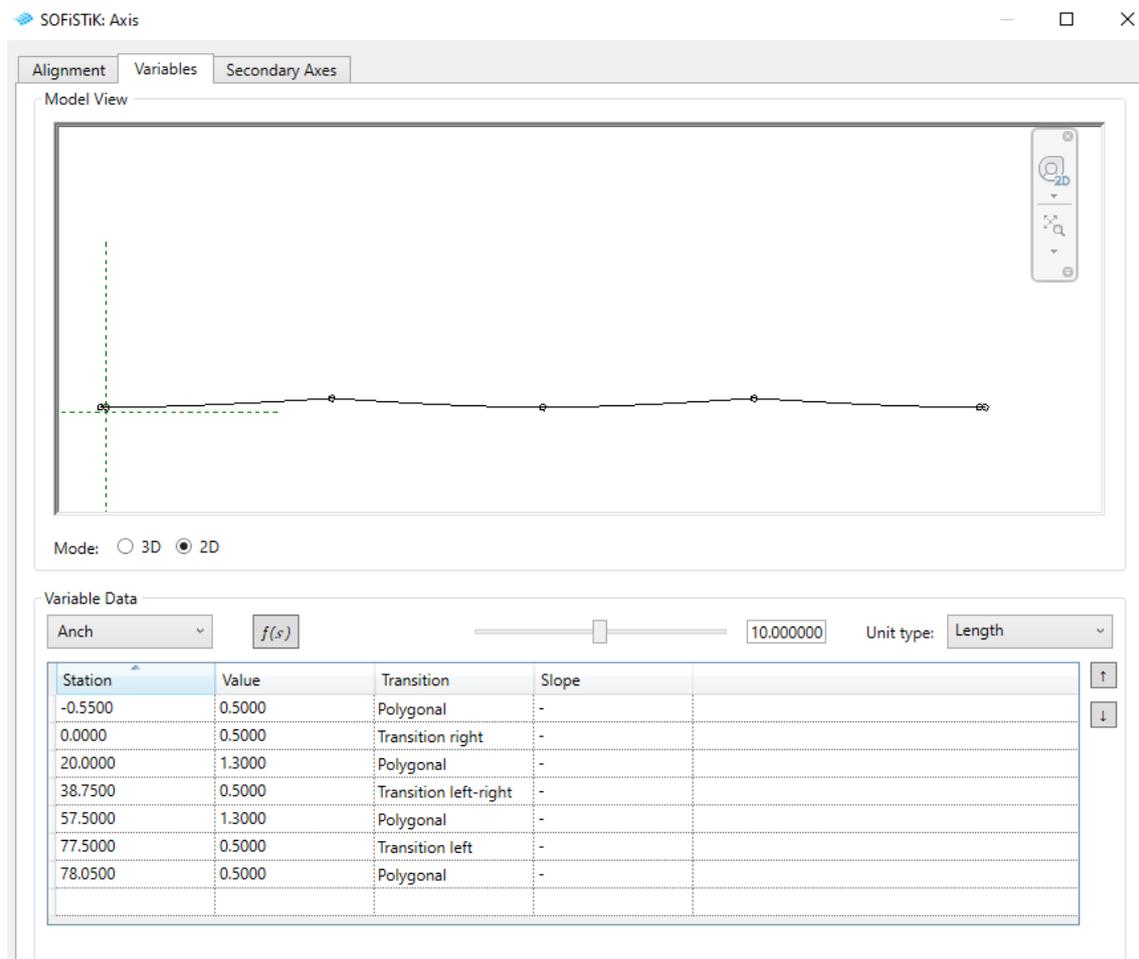


Figura 1.17. Ventana Axis > Variables. Valores del canto (*Anch*)

Tras la definición de esta segunda variable salimos de los formularios para la creación del eje pulsando aceptar

En el Navegador del proyecto seleccionamos la vista Nivel 1. En esta vista se debe ver el eje creado en color azul, aunque el tablero en planta todavía no se verá.

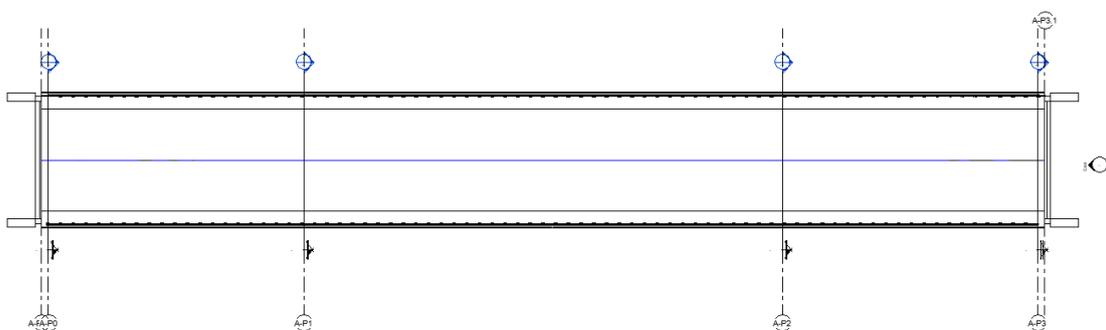


Figura 1.18. Eje del tablero

1.4.2. Tablero

Nuestro siguiente paso es crear el tablero. Para ello vamos a la cinta de opciones de **SOFiSTiK Bridge > Create > Superstructure > Create**.

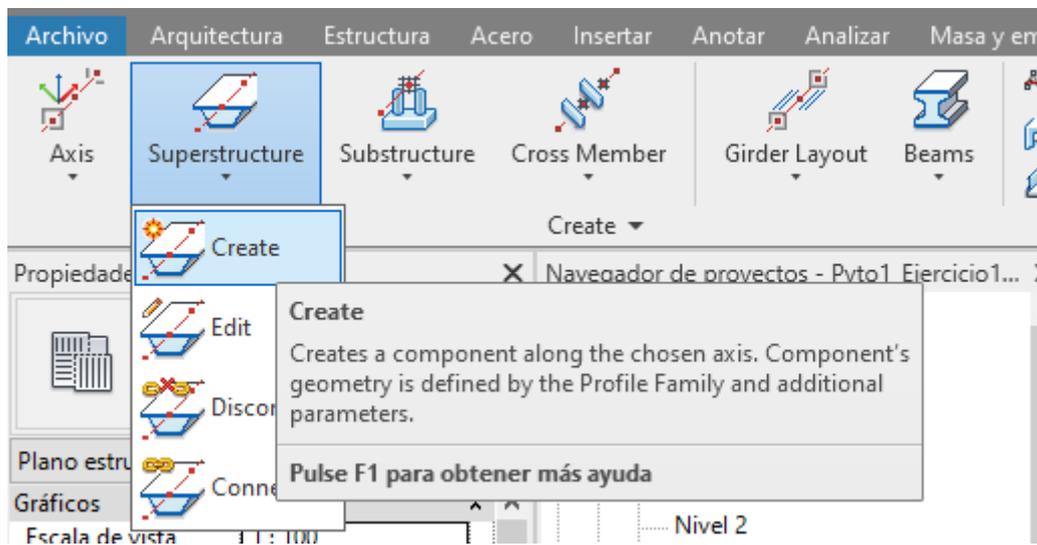


Figura 1.19. Pasos para la creación del tablero

Se abrirá la ventana de la Figura 1.20, donde se puede seleccionar una familia de perfiles que pueden ser modificados para luego ser colocados a lo largo del eje y crear un sólido 3D.

Con la sección *Parameter* se puede personalizar el perfil seleccionado con un valor constante o asignar un parámetro variable a lo largo del eje. Por lo tanto, se selecciona la familia de tablero *SOFiSTiK_1_T-Beam_doubleslope > Control Width Cantilever*.

No tenemos una forma o familia que permita introducir huecos circulares en la sección para aligerarla, por lo que, estos huecos no los podremos tener en el modelo.

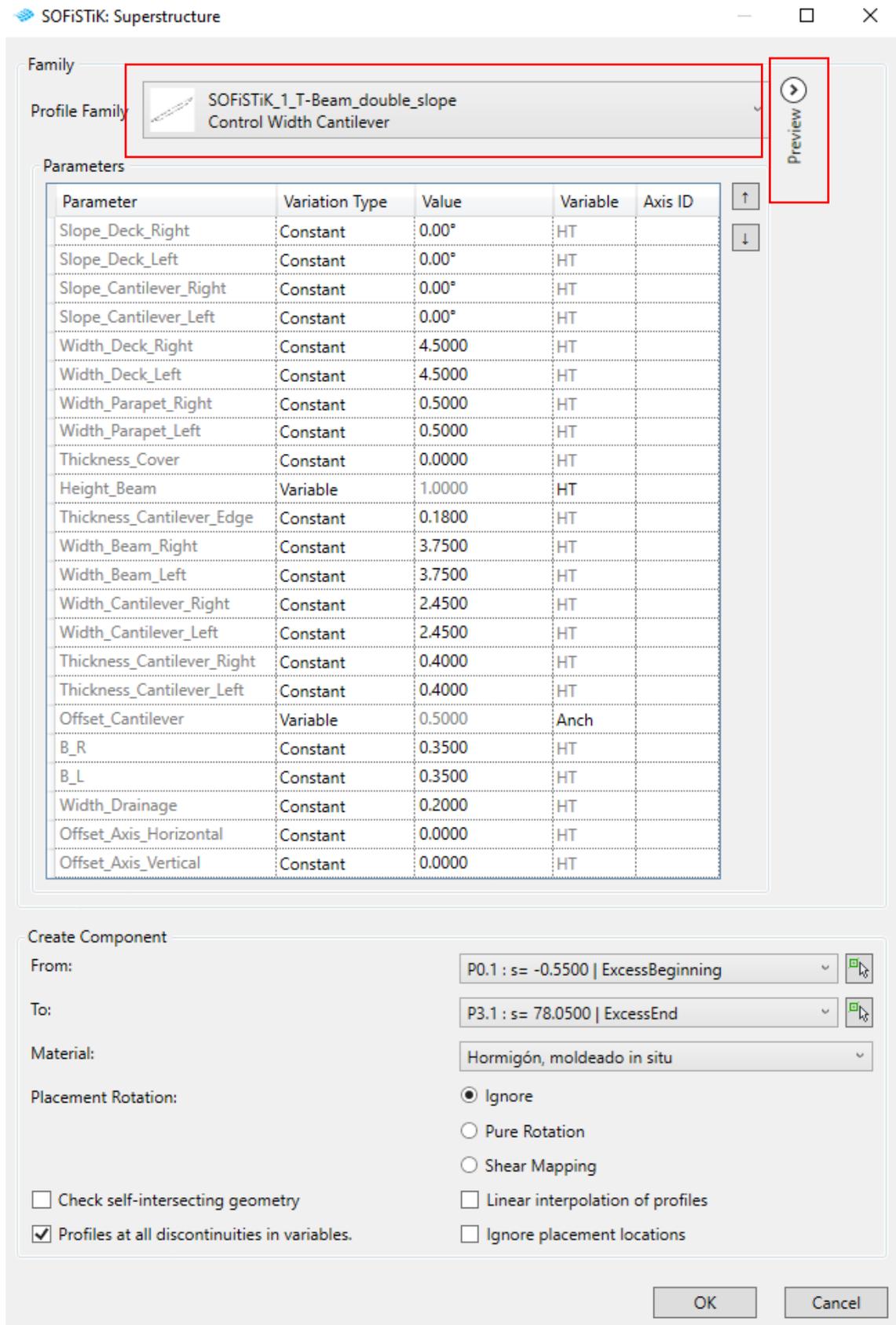


Figura 1.20. Ventana Superstructure. Creación tridimensional del tablero

Una vez cumplimentado este formulario, podemos ver las dimensiones de la sección transversal del tablero de canto variable en la pestaña *Preview* para comprobar que hemos introducido bien los datos.

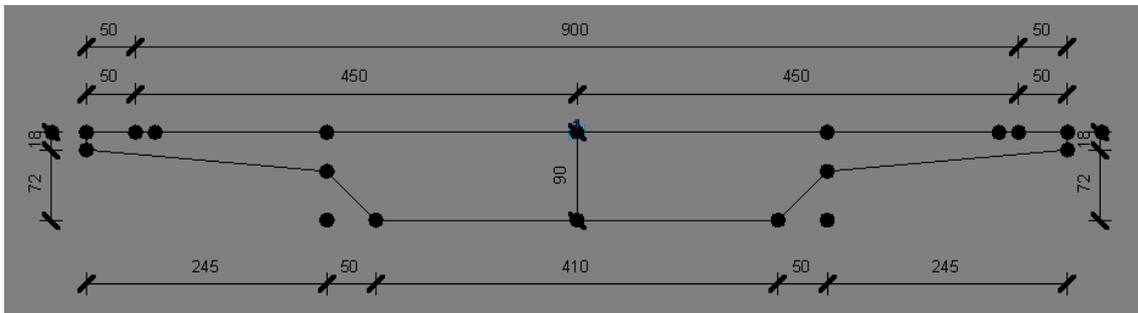


Figura 1.21. Sección transversal de tablero en centro del vano principal y en apoyos en estribos

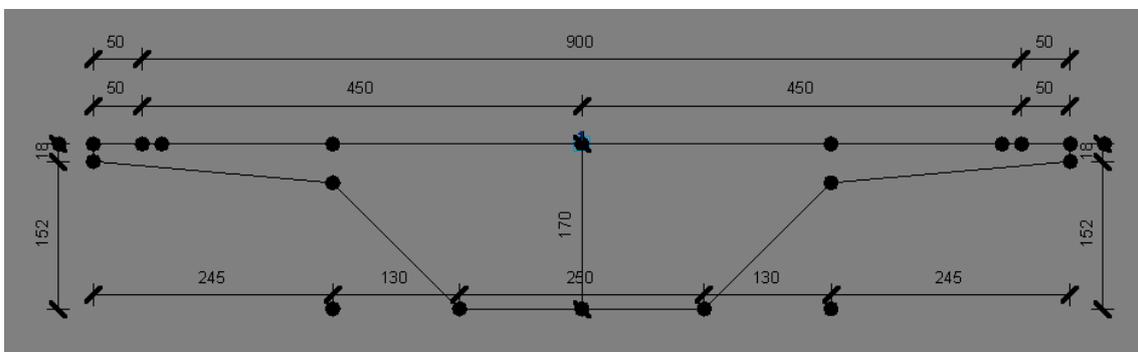


Figura 1.22. Sección transversal de tablero en apoyo en pilas

Aceptamos (OK) y se generará nuestro ejemplar de tablero.

Para verlo en 3D, tenemos que crear la vista 3D. En la ficha **Vistas** de Revit, ir al grupo **Crear > Vista 3D**.

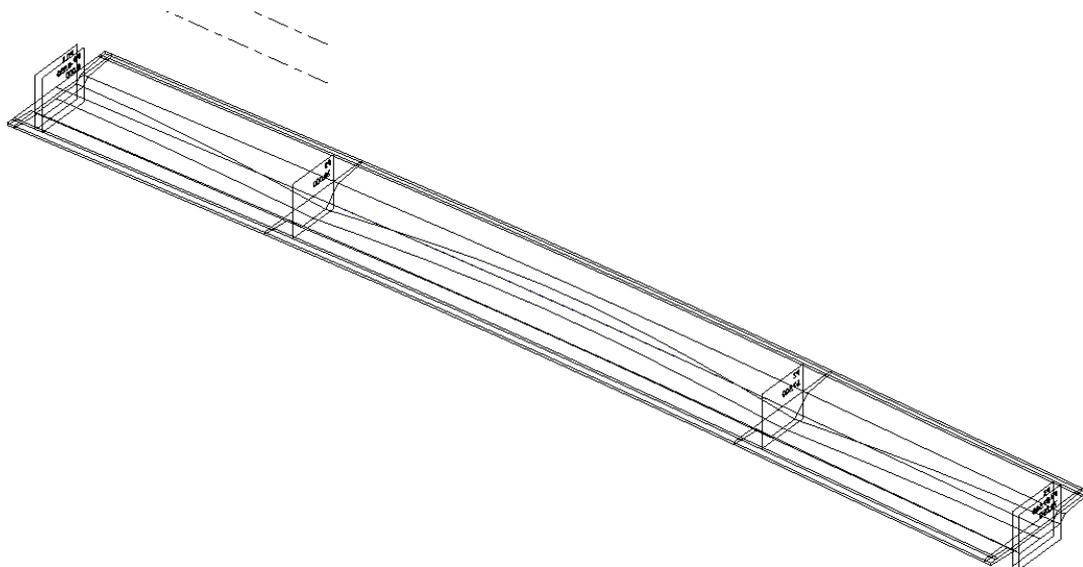


Figura 1.23. Tablero creado

1.4.3. Pilas

De forma similar creamos las pilas: **SOFISTIK Bridge > Create > Substructure > Create.**

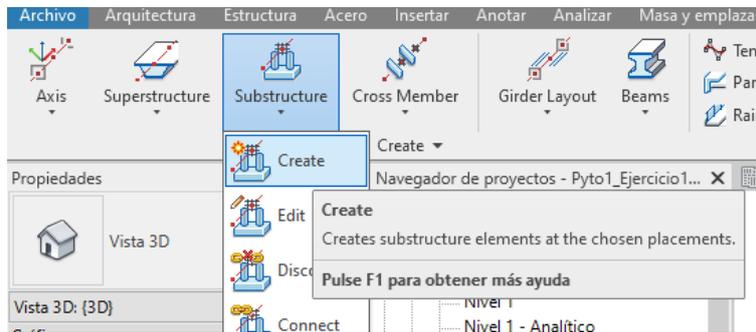


Figura 1.24. Pasos para la creación de las pilas

Se abrirá el siguiente formulario. Donde de nuevo elegimos una familia (o tipo) y lo particularizamos, dándole valor a los parámetros para crear nuestro ejemplar.

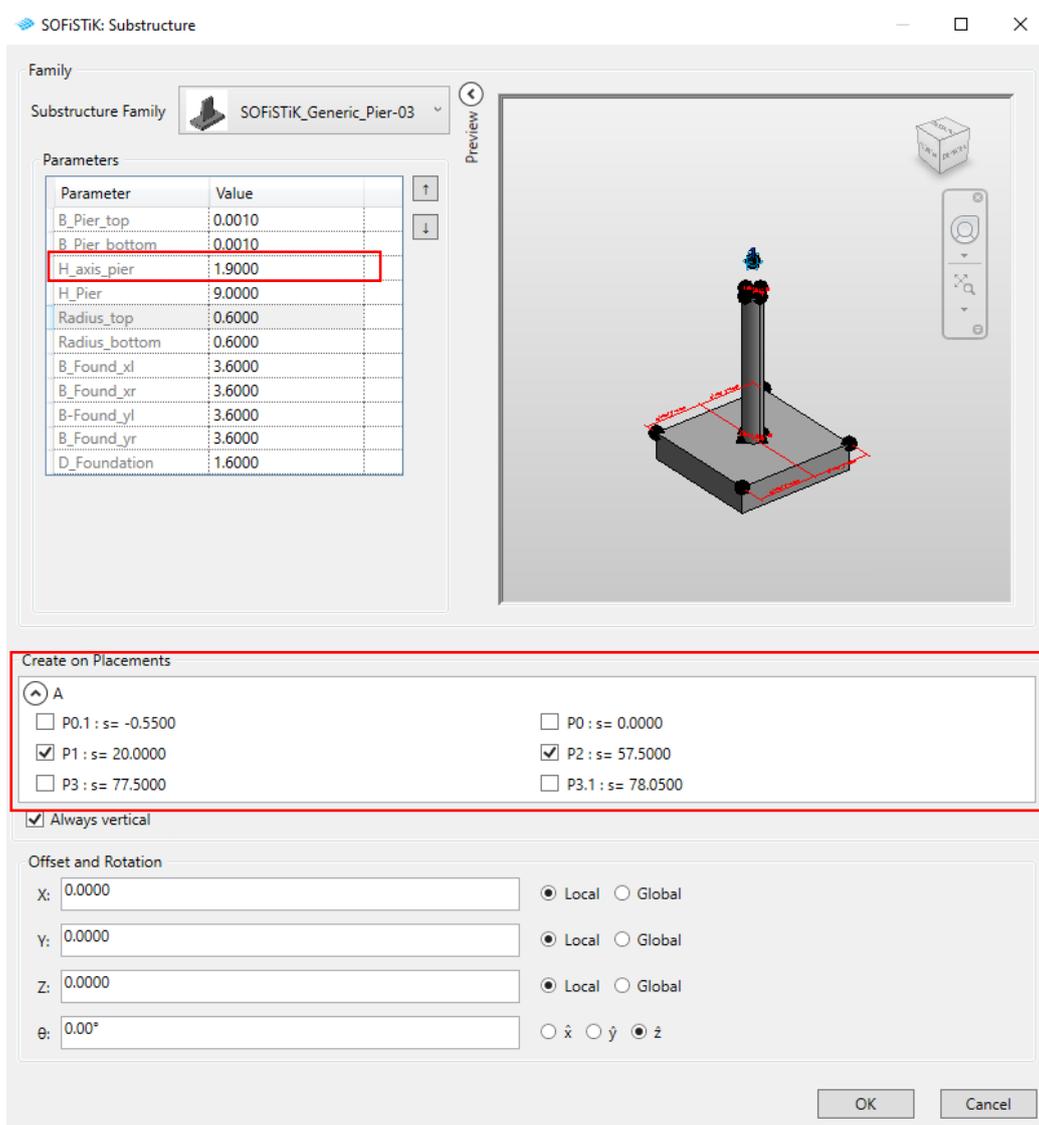


Figura 1.25. Ventana Substructure. Creación de las pilas

Con el parámetro *H_axis_pier*, colocamos la pila a su cota correcta. Este parámetro es la distancia entre el eje del tablero y la cara superior de la cabeza de la pila.

Para colocar las pilas en su emplazamiento dentro del modelo, seleccionamos los *Placements* que corresponden a las pilas.

Aceptamos.

Ya tenemos las pilas en el modelo.

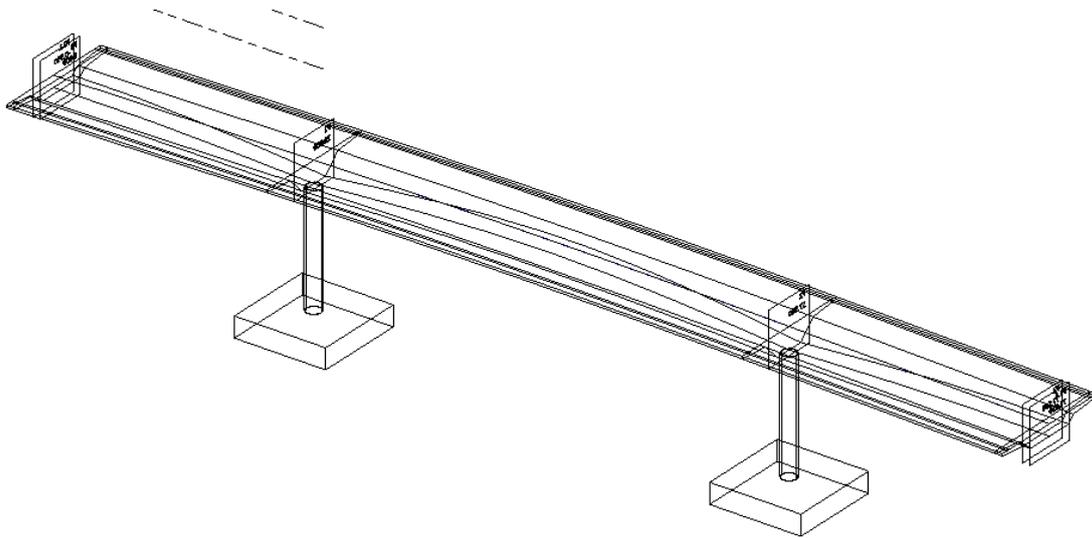


Figura 1.26. Pilas creadas

1.4.4. Estribos

Al igual que para las pilas, vamos a **SOFiSTiK Bridge > Create > Substructure > Create** (Figura 1.24).

Obviamente, se abrirá la misma ventana de la Figura 1.25. La diferencia es que ahora seleccionaremos una familia distinta, la cual particularizaremos dándole valor a los parámetros para crear nuestro ejemplar.

No tenemos con este complemento de Revit una familia de estribos abiertos, pero podemos hacer un apaño con la familia de estribos genérica y con una familia de pilas.

Para el cargadero del estribo elegimos la familia *SOFiSTiK_Generic_Abutment-01* e introducimos los siguientes datos geométricos en el formulario.

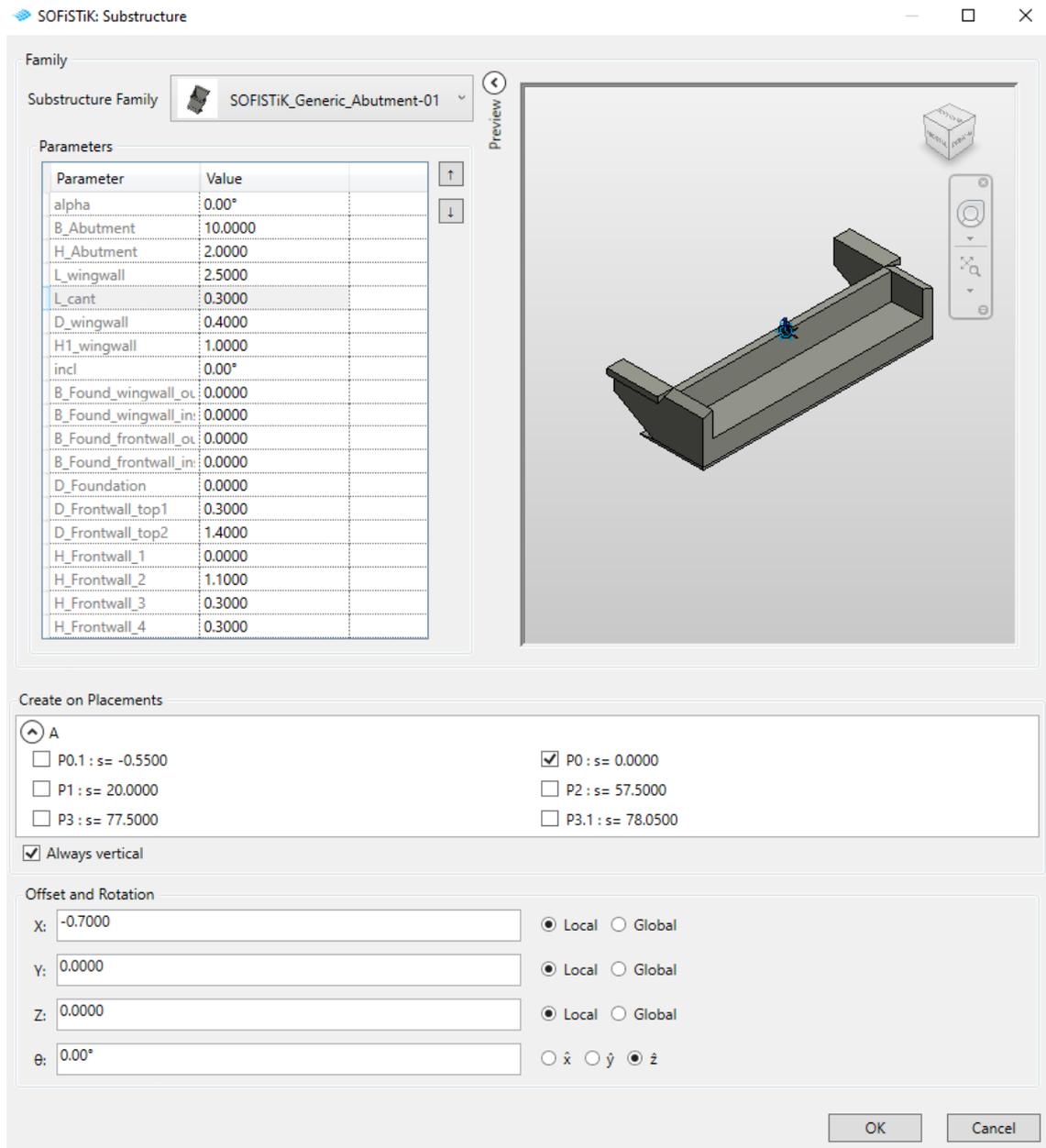


Figura 1.27. Ventana Substructure. Creación del estribo izquierdo

Para el otro estribo lo mismo, con pequeños cambios en la posición del estribo (ver los cambios en el cuadro rojo de la Figura 1.28).

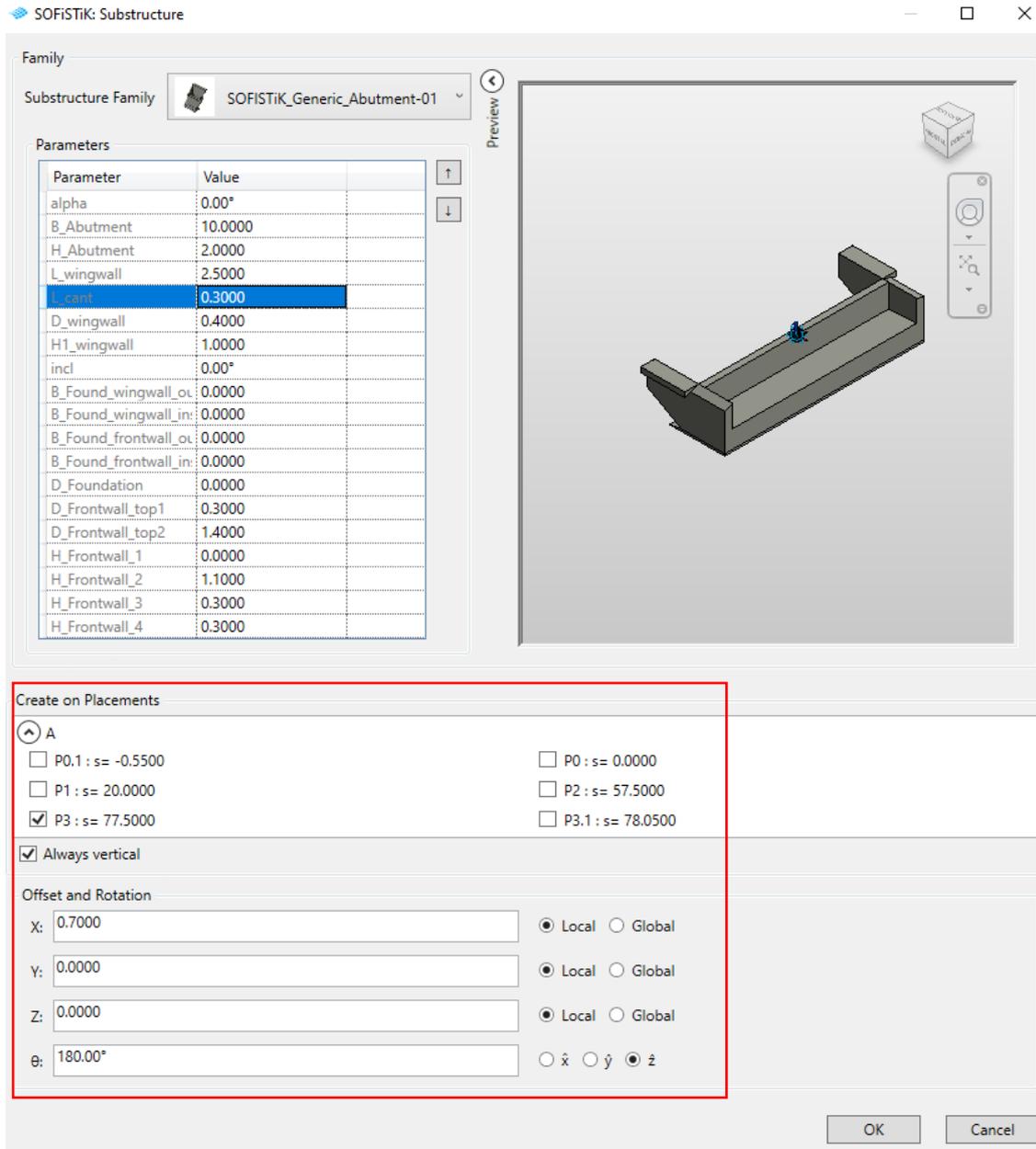


Figura 1.28. Ventana Substructure. Creación del estribo derecho

Para crear el segundo cargadero de estribo, podíamos haberlo hecho de otra forma. Marcar la casilla P3 en la sección *Create on Placements* del primer estribo para que se generen los dos estribos y, después, editar el segundo estribo (**Create > Substructure > Edit**) y cambiamos los datos del recuadro rojo.

Ahora tenemos en el modelo lo siguiente:

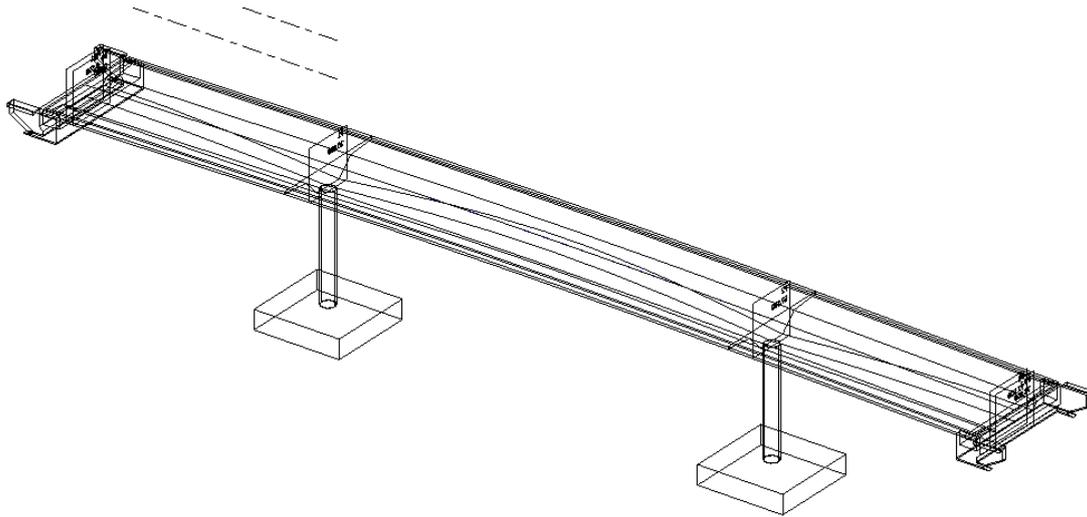


Figura 1.29. Cagaderos de estribos creados. Vista 3D

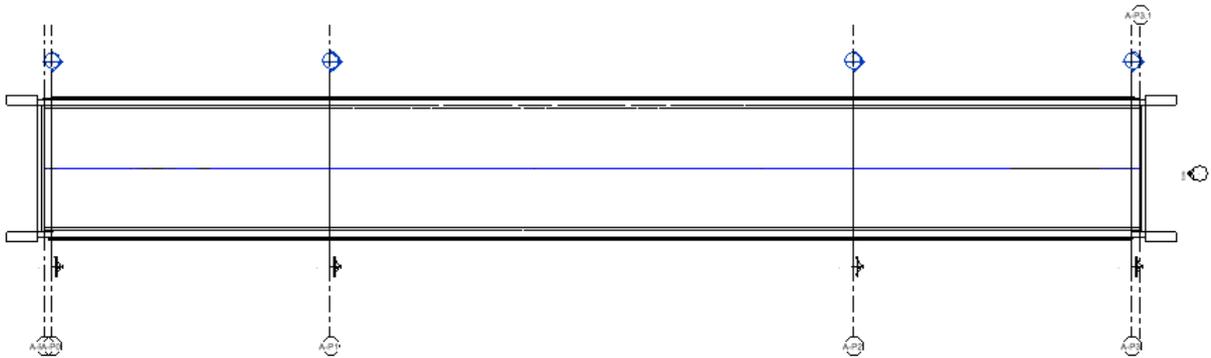


Figura 1.30. Cagaderos de estribos creados. Nivel 1

Las secciones y las líneas de referencia todavía no os aparecerán en la vista en planta del Nivel 1.

Para completar los estribos vamos a introducir pilas. De nuevo: **SOFiSTiK Bridge > Create > Substructure > Create** (Figura 1.24). Seleccionar en *Substructure Family* a *SOFTiSTiK_Generic_Pier-01* y completar como se muestra en la Figura 1.31.

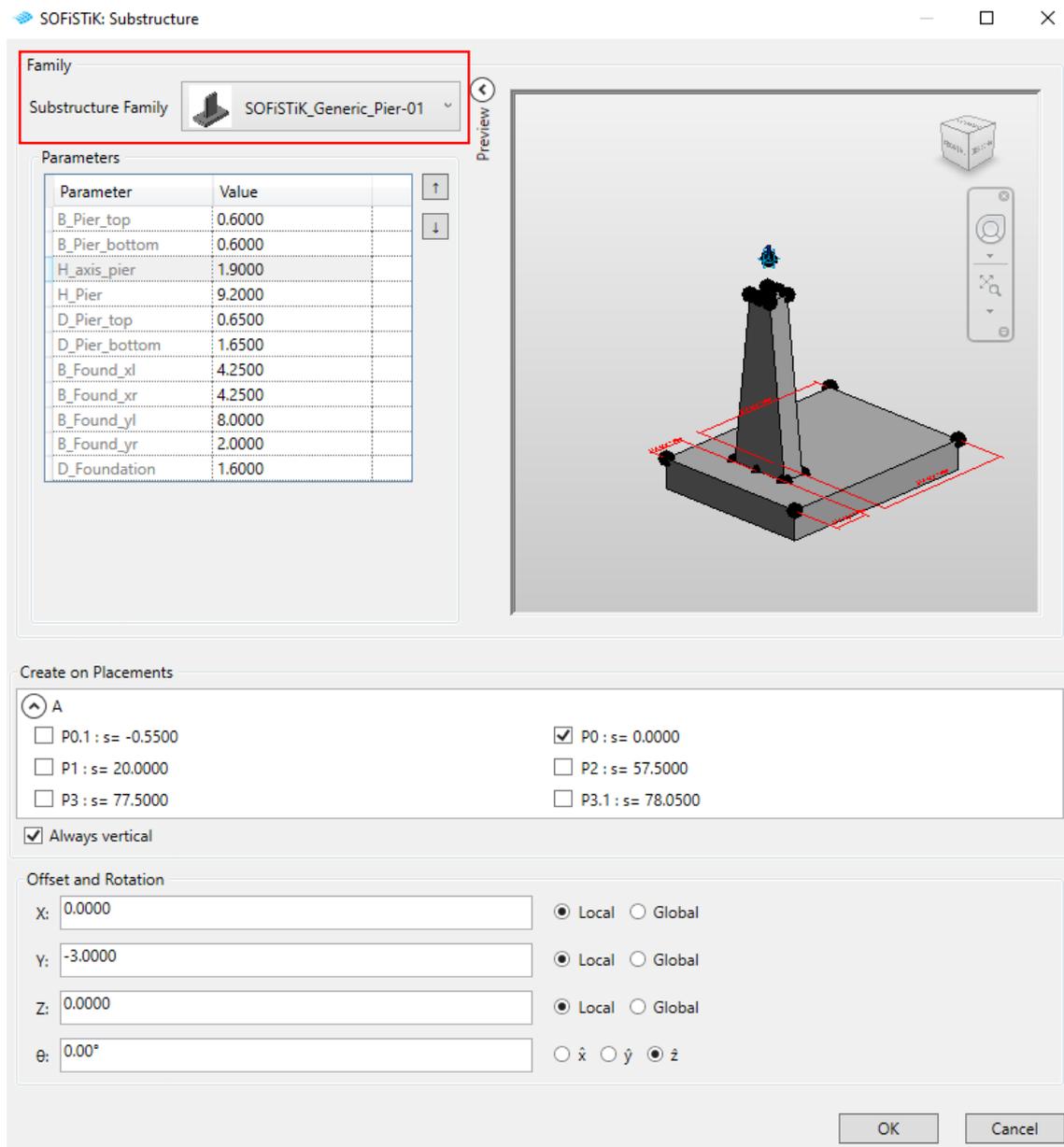


Figura 1.31. Ventana Substructure. Creación del primer fuste del estribo

Y para el segundo fuste del estribo abierto:

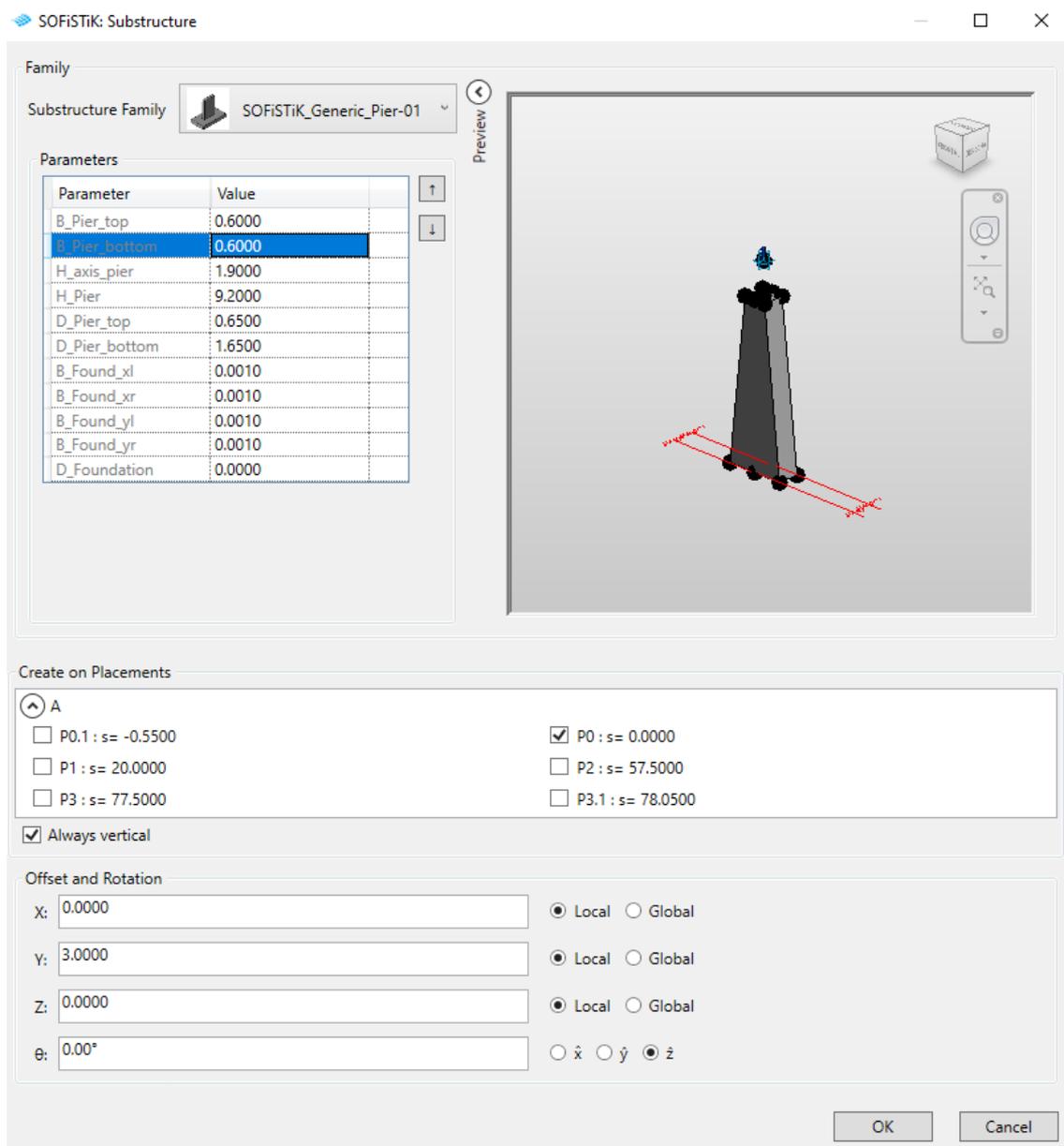


Figura 1.32. Ventana Substructure. Creación del segundo fuste del estribo

¿Como introducimos la cimentación y los fustes del estribo 2?

Una vez hecho esto tendremos:

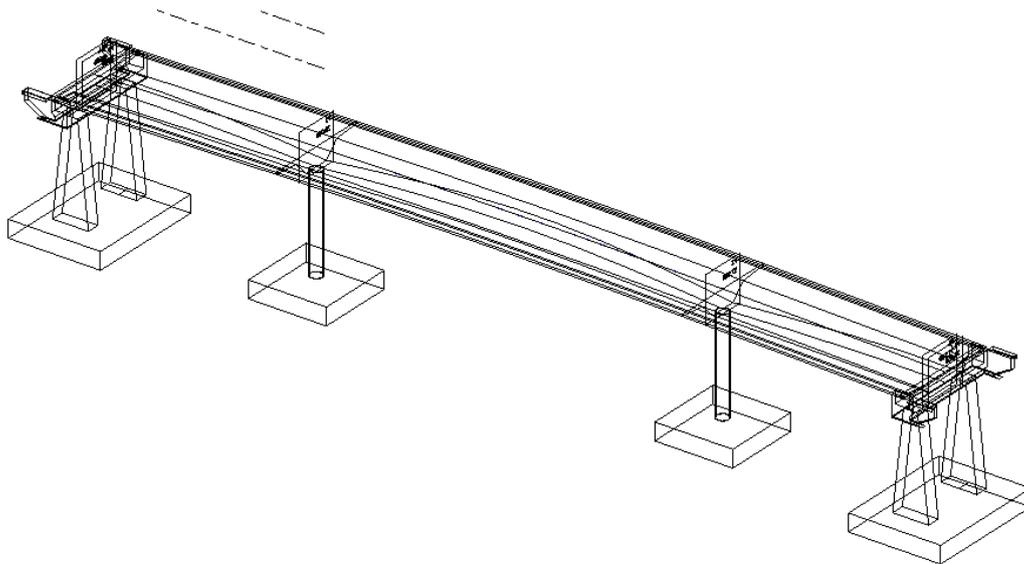


Figura 1.33. Estribos creados

1.4.5. Puente curvo

Imaginaos que tenemos un proyecto de una autovía que contempla muchos pasos superiores similares a este, pero no iguales. Con otras luces. Y puentes curvos.

Uno de los usos más extendido del BIM es poder sacar los planos de la estructura a partir de su modelo BIM. Este es un modelo paramétrico. Cambiando parámetros tendríamos una nueva estructura casi inmediatamente y esto nos permite tener los planos de la nueva estructura también si tener que comenzar el trabajo desde el principio.

Para ver la potencia de los modelos paramétricos, vamos a realizar el siguiente ejercicio.

Vamos a cambiar la alineación en planta de eje de una recta a una curva de radio 200 m.

Para ello, entramos en **SOFiStiK Bridge** > **Create** > **Axis** > **Edit** y seleccionamos el eje del puente.

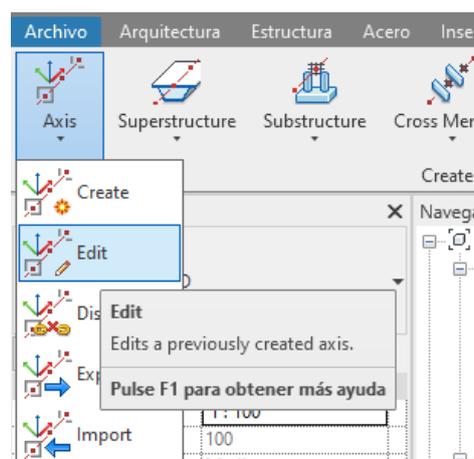


Figura 1.34. Pasos para la edición del eje

Se abre el siguiente formulario. Cambiamos el tipo de curva (*Curve Type*) a *Arc* e introducimos el radio de 200 m.

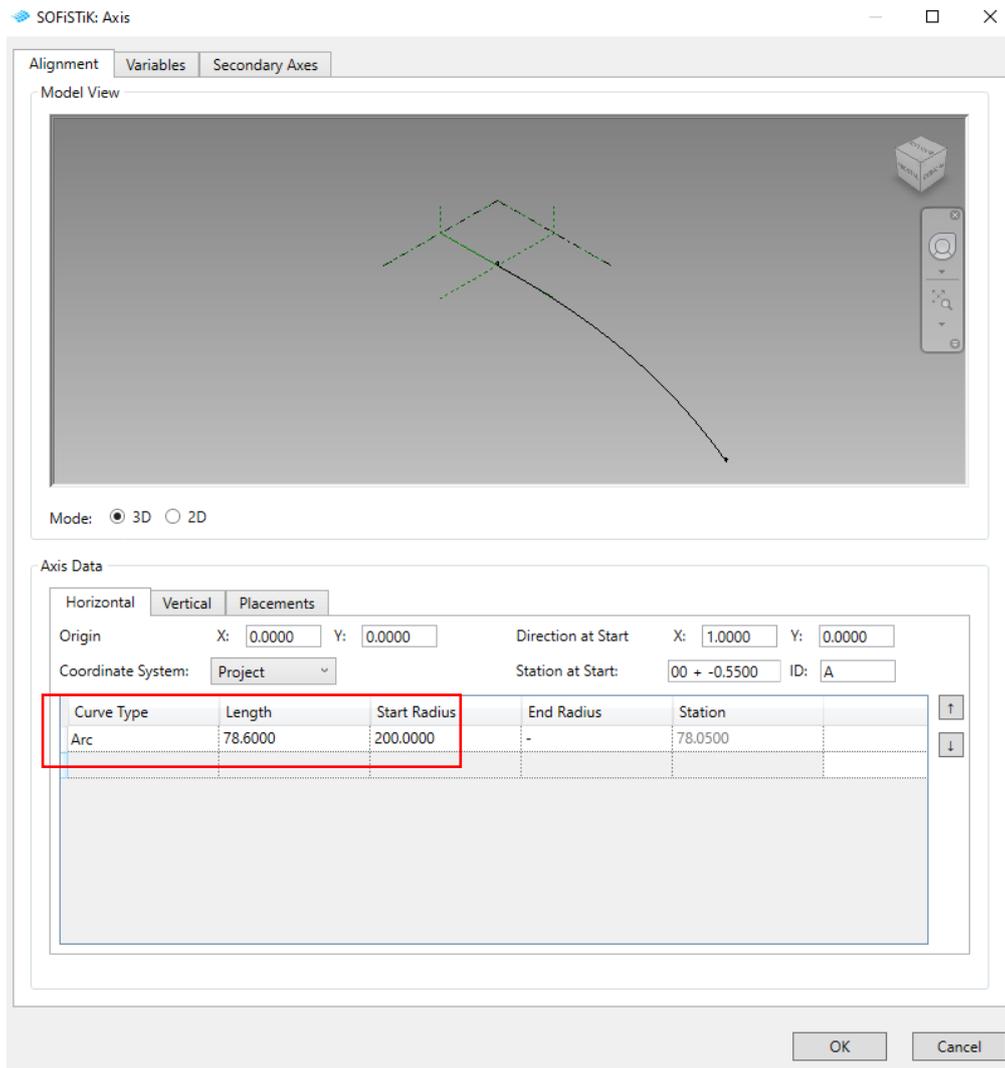


Figura 1.35. Ventana Axis > Alignment. Trazado del eje curvo

Aceptamos y se actualiza el modelo.

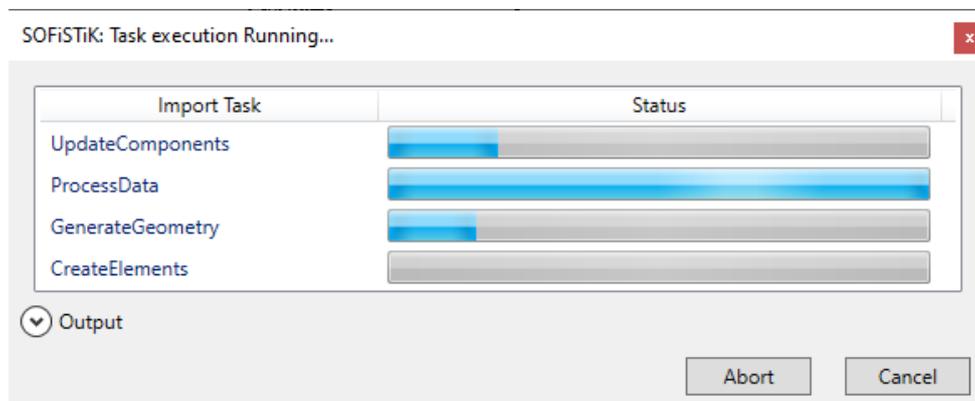


Figura 1.36. Ventana de ejecución el modelo

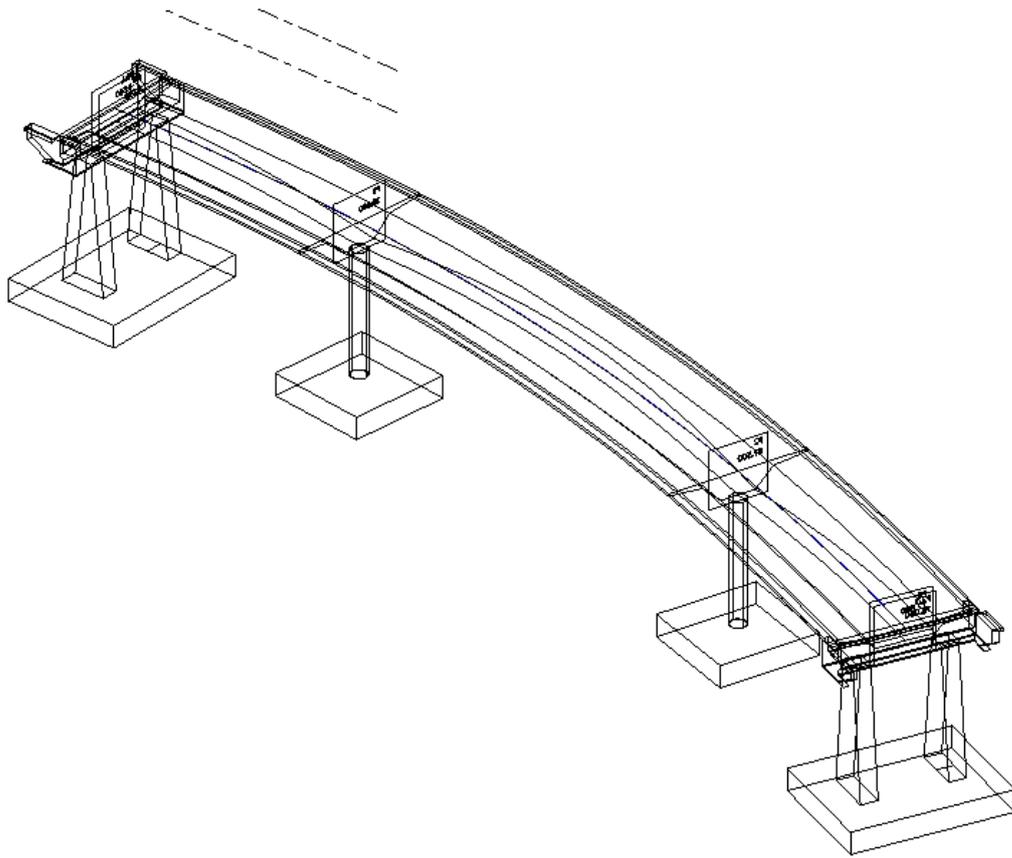


Figura 1.37. Puente curvo. Vista 3D

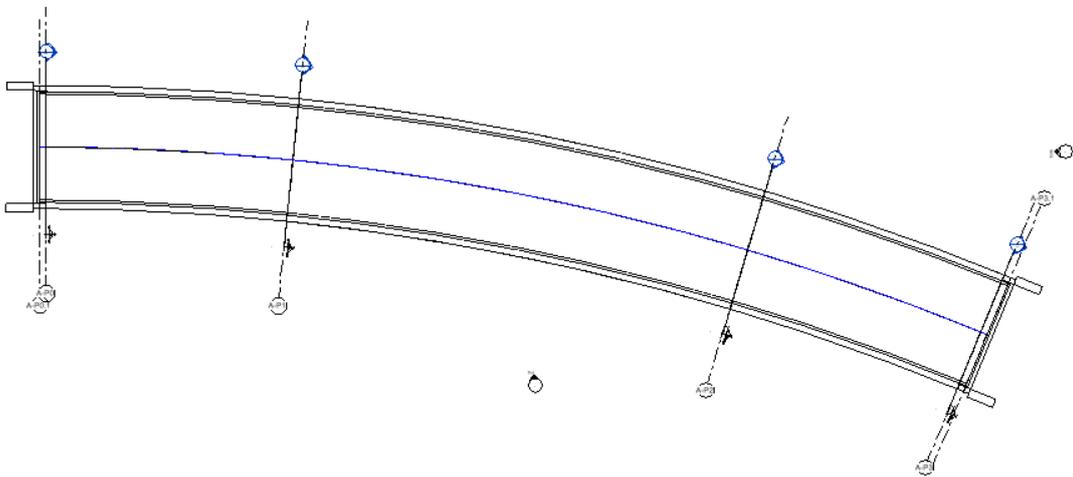


Figura 1.38. Eje curvo del tablero

Deshacemos los cambios de eje para regresar al modelo anterior.

1.4.6. Imposta

Para introducir la imposta vamos a **SOFISTIK Bridge > Create > Parapet**.



Figura 1.39. Pasos para la creación de la imposta

Y se abre la ventana siguiente:

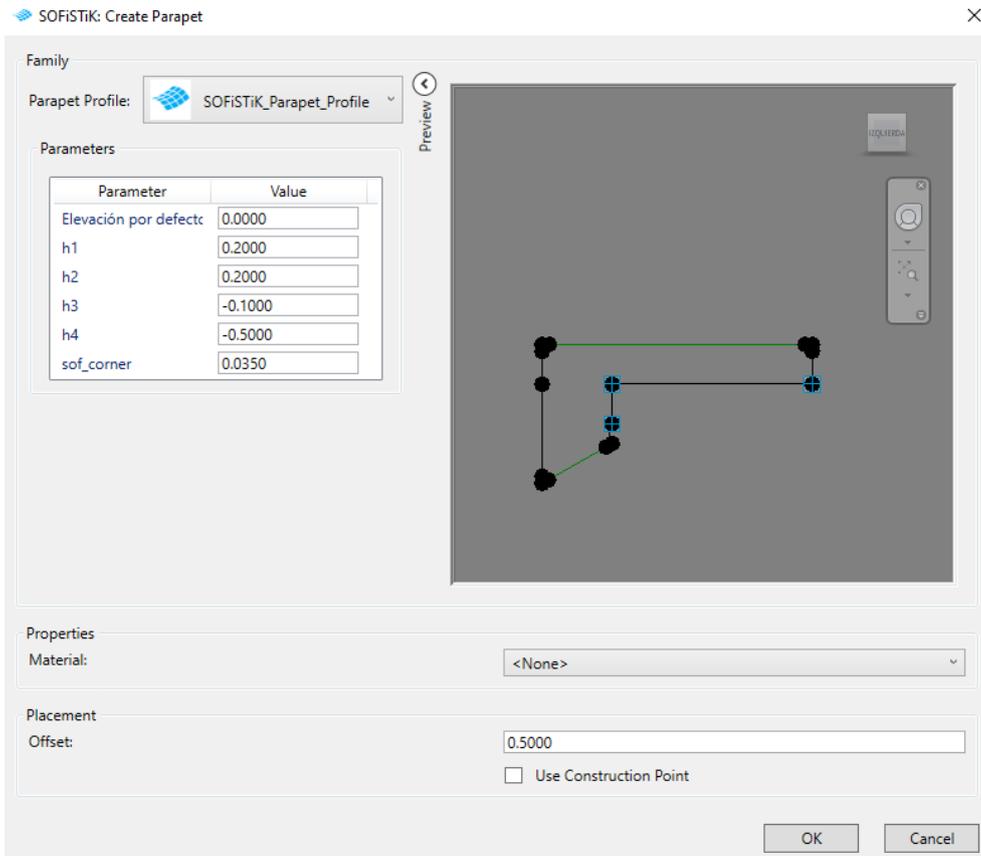


Figura 1.40. Ventana Create Parapet. Creación de impostas del puente

Al aceptar, tenemos que seleccionar las líneas de un borde del tablero.

Antes de seleccionar estas líneas, clicamos en múltiple (encima de la paleta de propiedades).

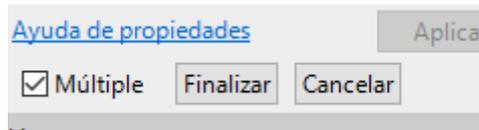


Figura 1.41. Opción a clicar antes de la introducción de la imposta

Una vez seleccionadas todas las líneas de un borde del tablero damos a finalizar. Ídem con el otro borde.

Ahora tenemos:

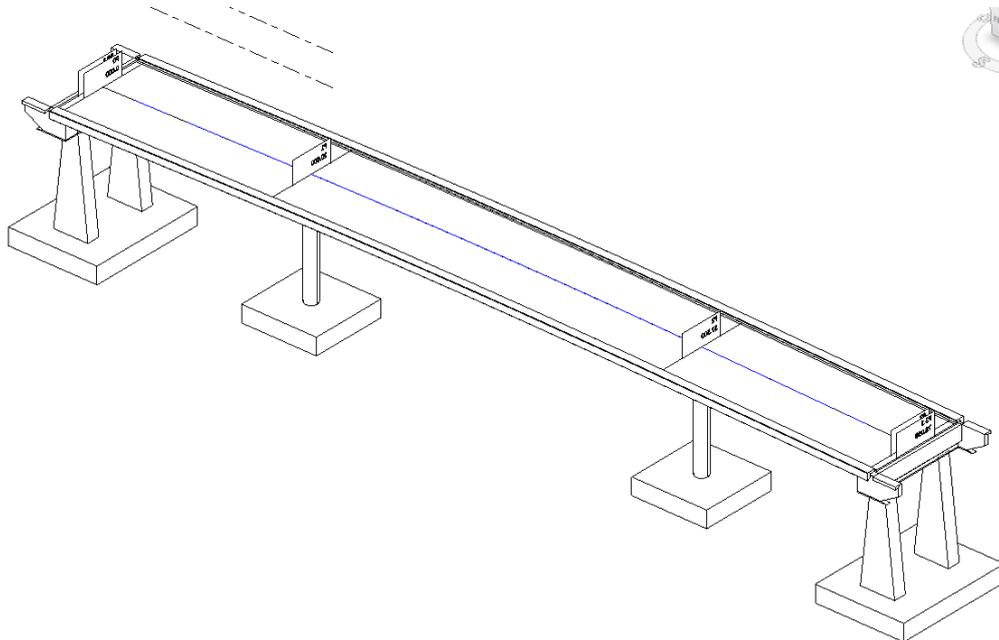


Figura 1.42. Impostas del puente

1.4.7. Barandilla

Para las barandillas: **SOFiSTiK Bridge > Create > Axis > Railing**. En la pestaña de *General*, establecer los siguientes valores:

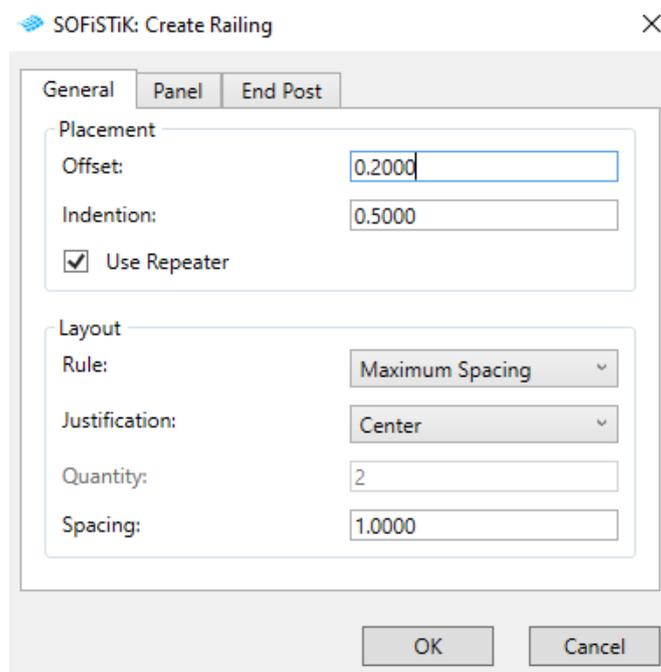


Figura 1.43. Ventana Create Railing > General

En la pestaña *Panel*:

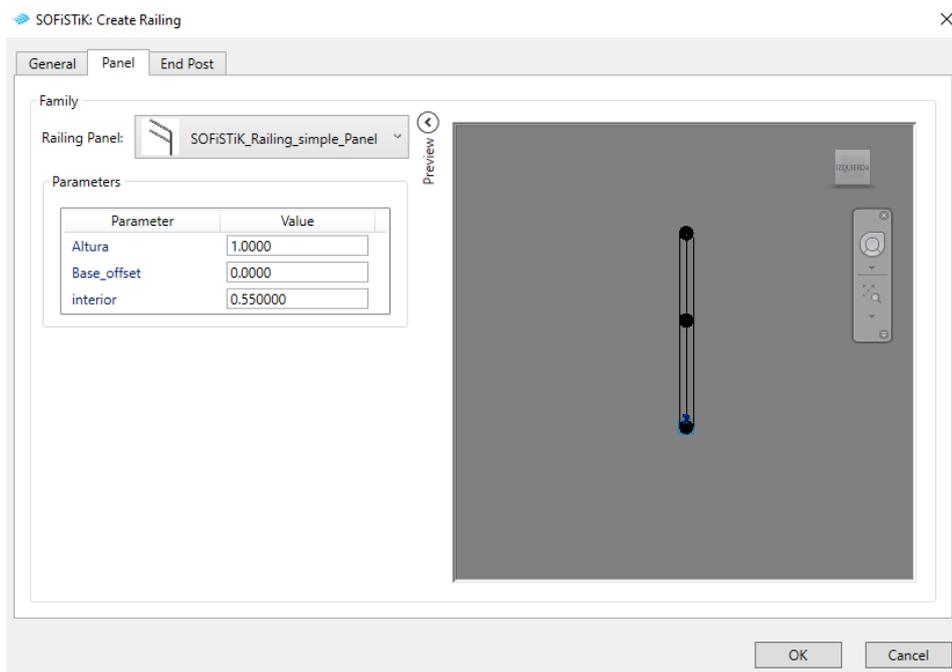


Figura 1.44. Ventana Create Railing > Panel

En la pestaña *End Post*:

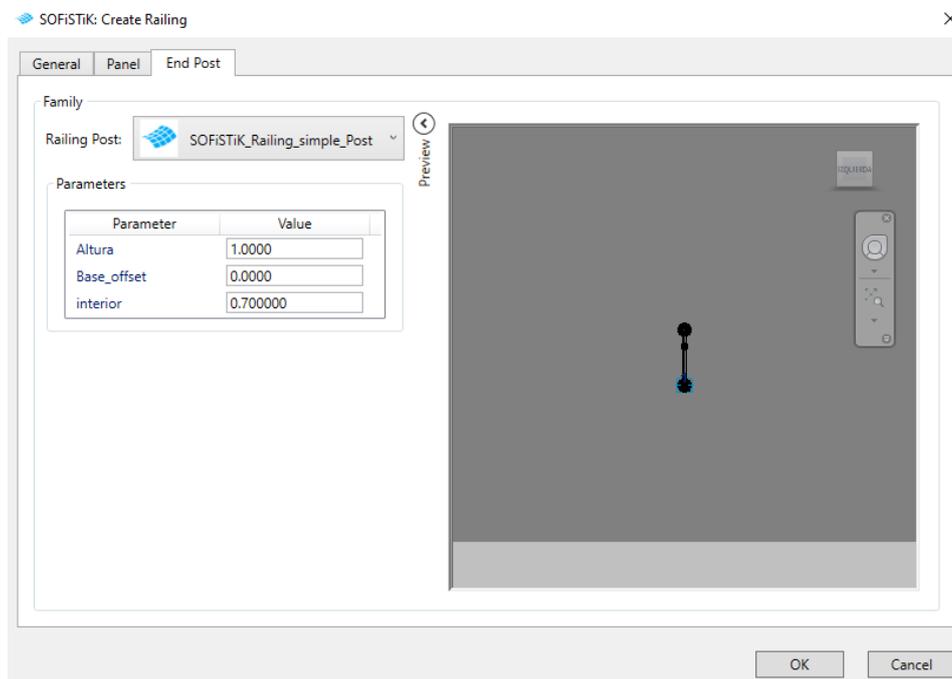


Figura 1.45. Ventana Create Railing > End Post

Aceptamos y seleccionamos la línea de borde de la imposta en la vista en Planta Nivel 1. Ídem para el otro borde.

Deberíamos ver las barandillas en todas las vistas.

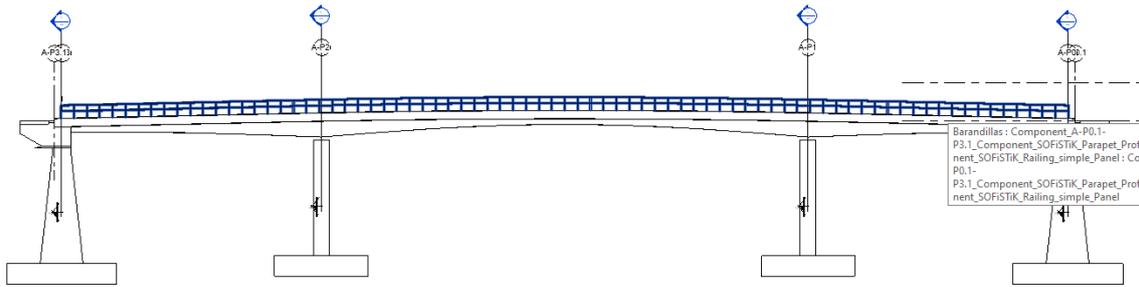


Figura 1.46. Barandilla recién colocada. Vista Norte

1.4.8. Shop Drawings

Para poder componer los planos de la estructura, este plug-in te permite crear secciones, vistas, líneas de referencia, acotación, tablas de coordenadas de puntos del tablero, etc.

En función a lo que queramos obtener: **SOFISTIK Bridge > Shop Drawing**.

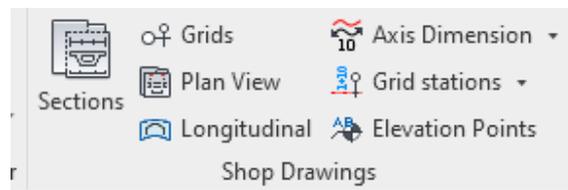


Figura 1.47. Grupo Shop Drawings

1.4.8.1. Secciones

Por ejemplo, si queremos alguna sección: **SOFISTIK Bridge > Shop Drawing > Sections** y pinchamos el eje del tablero. Entonces:

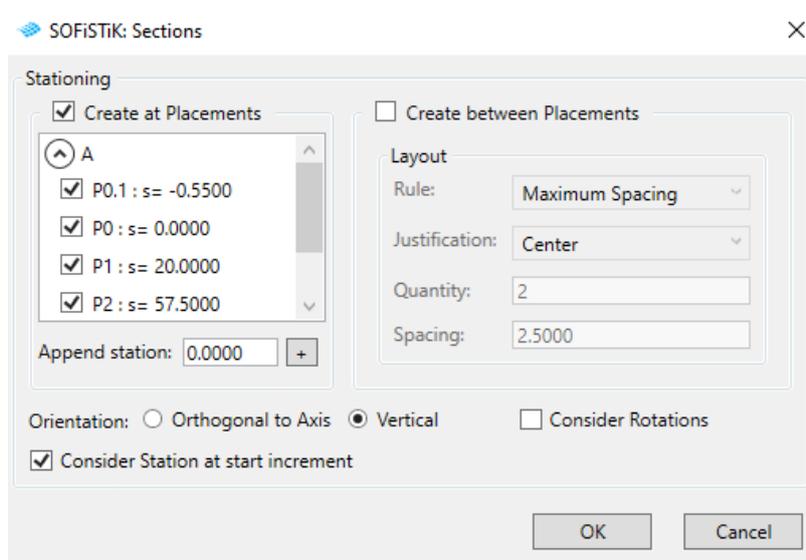


Figura 1.48. Ventana Sections. Para obtener secciones de dibujo

Con esto creamos secciones en las zonas donde tenemos apoyos (en placements). También podemos crear secciones en otro lugar entre placements.

Las secciones creadas las podemos ver en el navegador del proyecto.

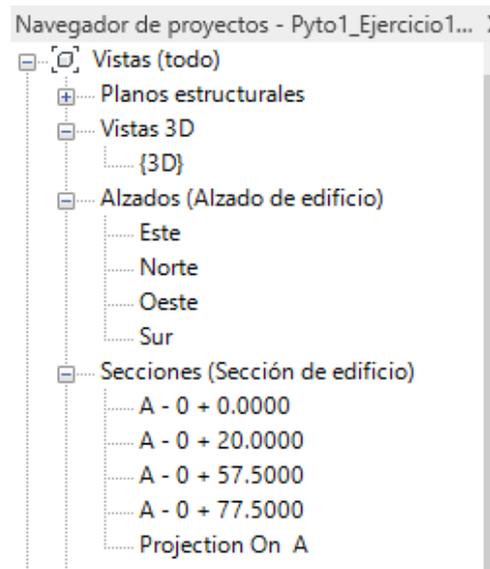


Figura 1.49. Navegador de proyectos con las secciones creadas

1.4.8.2. Líneas de referencia

En el mismo grupo **Shop Drawing** (Figura 1.47) nos dirigimos a **Grids** y pinchamos en el eje del tablero, entonces:

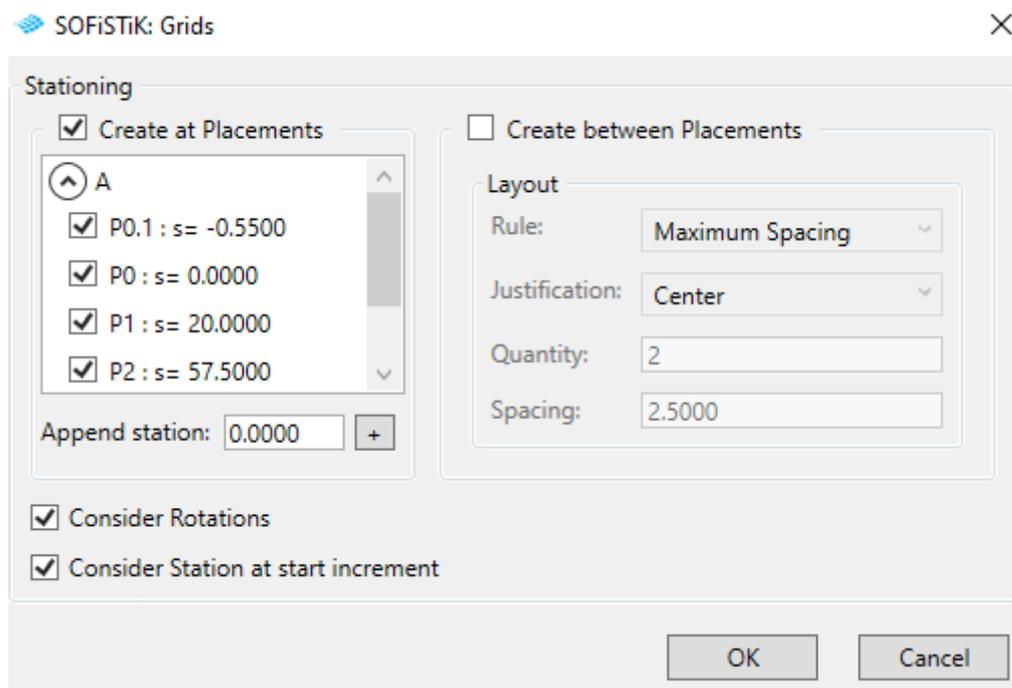


Figura 1.50. Ventana Grids. Para obtener líneas de referencia

Con esto, creamos líneas de referencia en las vistas en planta en la posición donde tenemos apoyos (en placements). También podemos crear secciones en otro lugar entre placements.

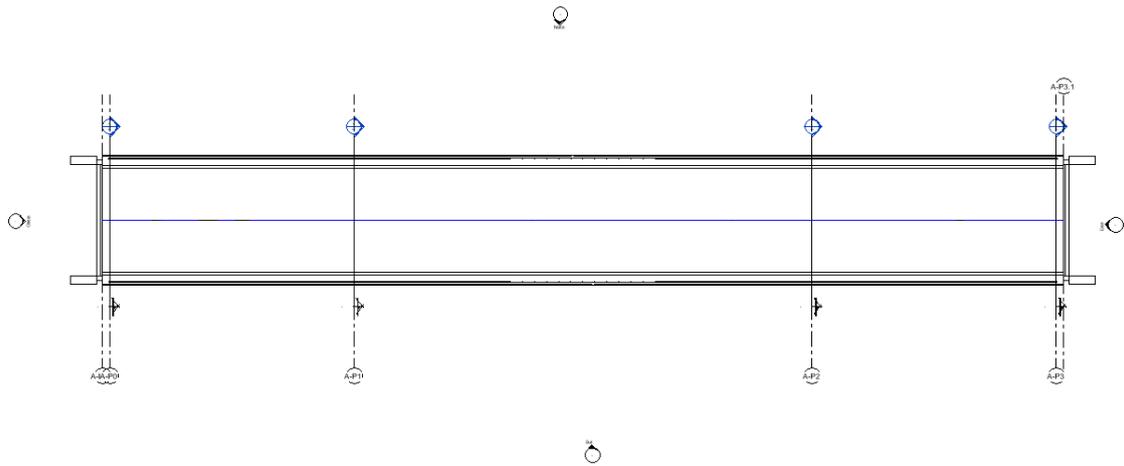


Figura 1.51. Líneas de referencia y Símbolos de vistas y secciones. Nivel 1

1.4.8.3. Vistas en planta

Mismo grupo, **Shop Drawing**, pero ir a **Plan View**. Pinchando en el eje del tablero:

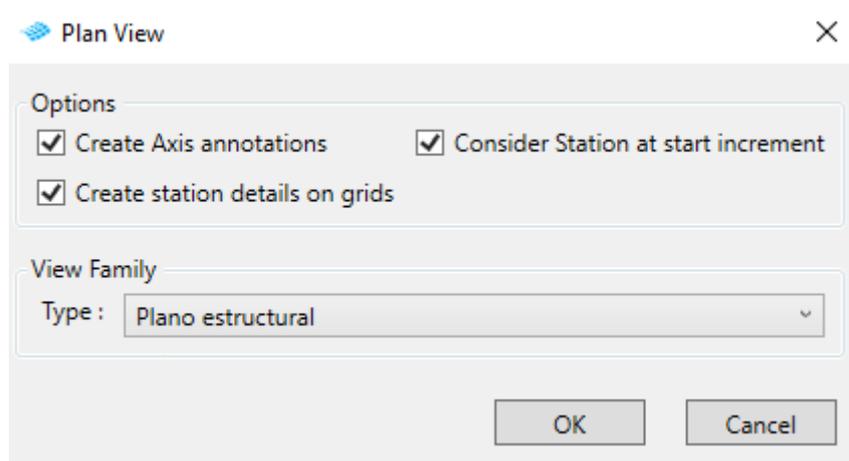


Figura 1.52. Ventana Plan View. Para crear vistas en planta de emplazamiento

De esta forma se crean las vistas en planta de emplazamiento y de anotaciones del eje.

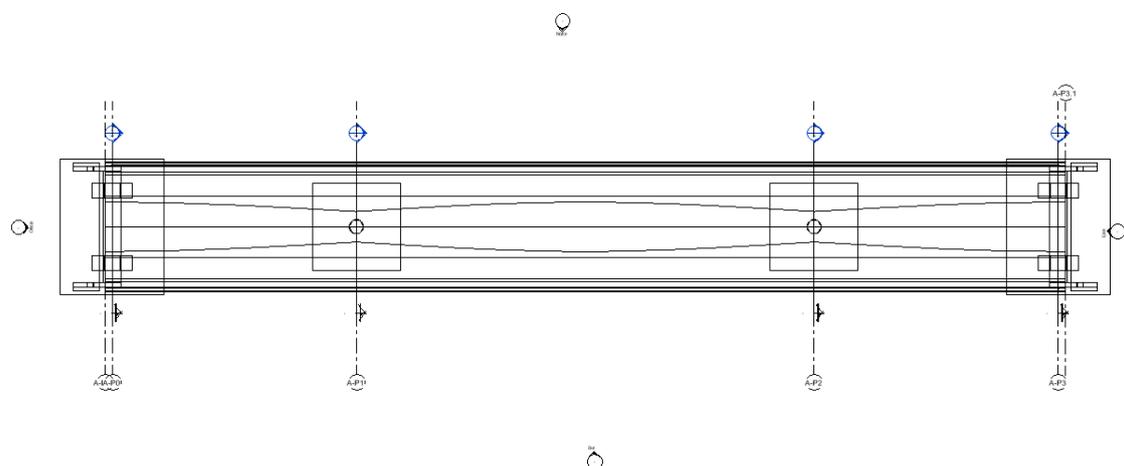


Figura 1.53. Vista emplazamiento

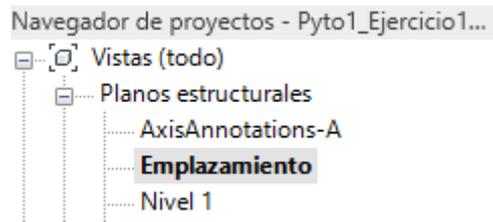


Figura 1.54. Navegador de proyectos con la vista de Emplazamiento

1.4.8.4. Perfil longitudinal

SOFiStiK Bridge > Shop Drawing > Longitudinal (Figura 1.47). Clicar nuevamente el eje del tablero. Se crea la siguiente sección longitudinal de la estructura.

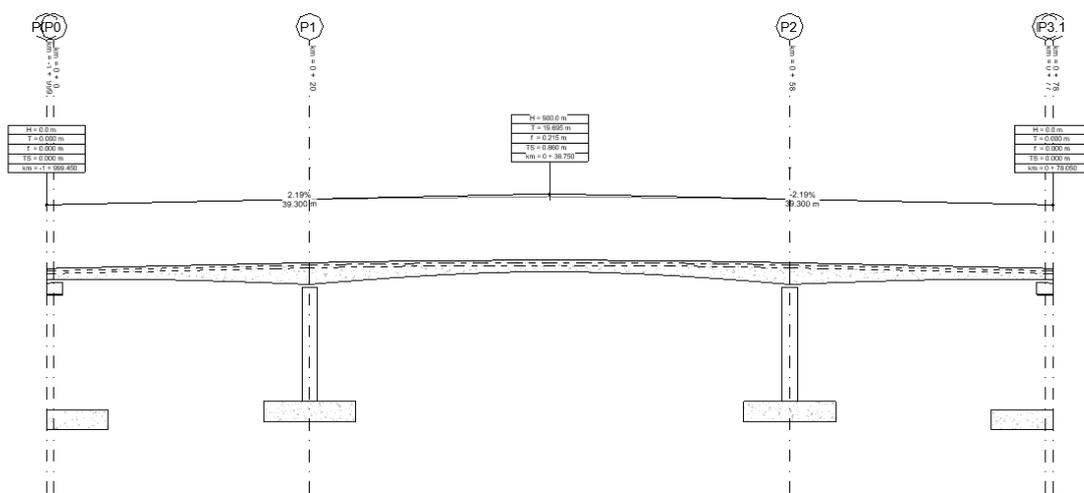


Figura 1.55. Perfil longitudinal de la estructura

Lo podemos ver esta sección en el navegador del proyecto.

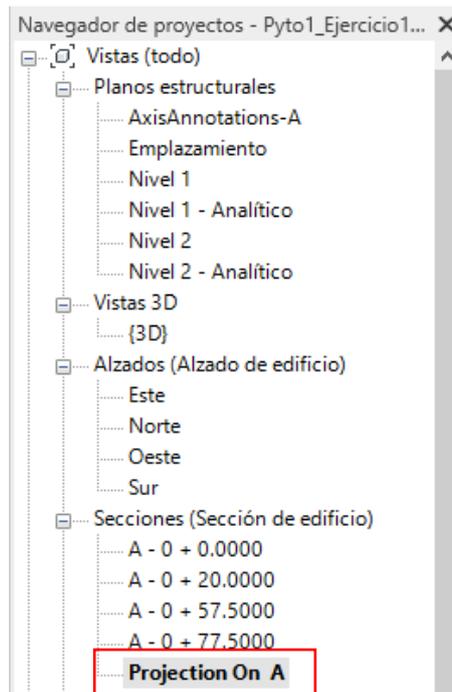


Figura 1.56. Navegador de proyectos con la sección longitudinal del proyecto

1.4.8.5. Acotaciones en el eje o en bordes

En este caso, **SOFiSTiK Bridge > Shop Drawing > Axis Dimension > Axis Dimension** y pinchamos el eje del tablero.

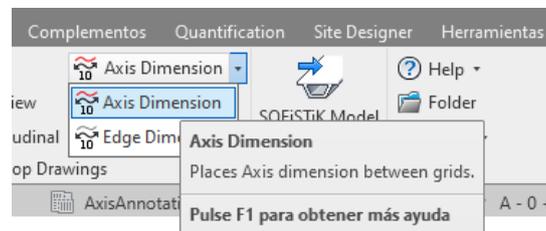


Figura 1.57. Pasos para acotar

Podemos acotar en eje entre Emplacements.

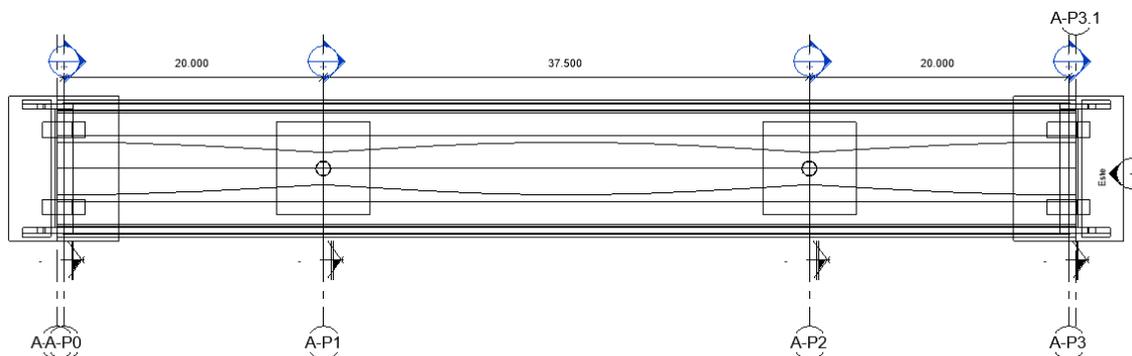


Figura 1.58. Vista Emplazamiento con acotaciones del eje

1.4.8.6. Tablas de coordenadas de puntos del tablero

SOFiSTiK Bridge > Shop Drawing > Elevation Points (Figura 1.47) y clicar en el eje del tablero.

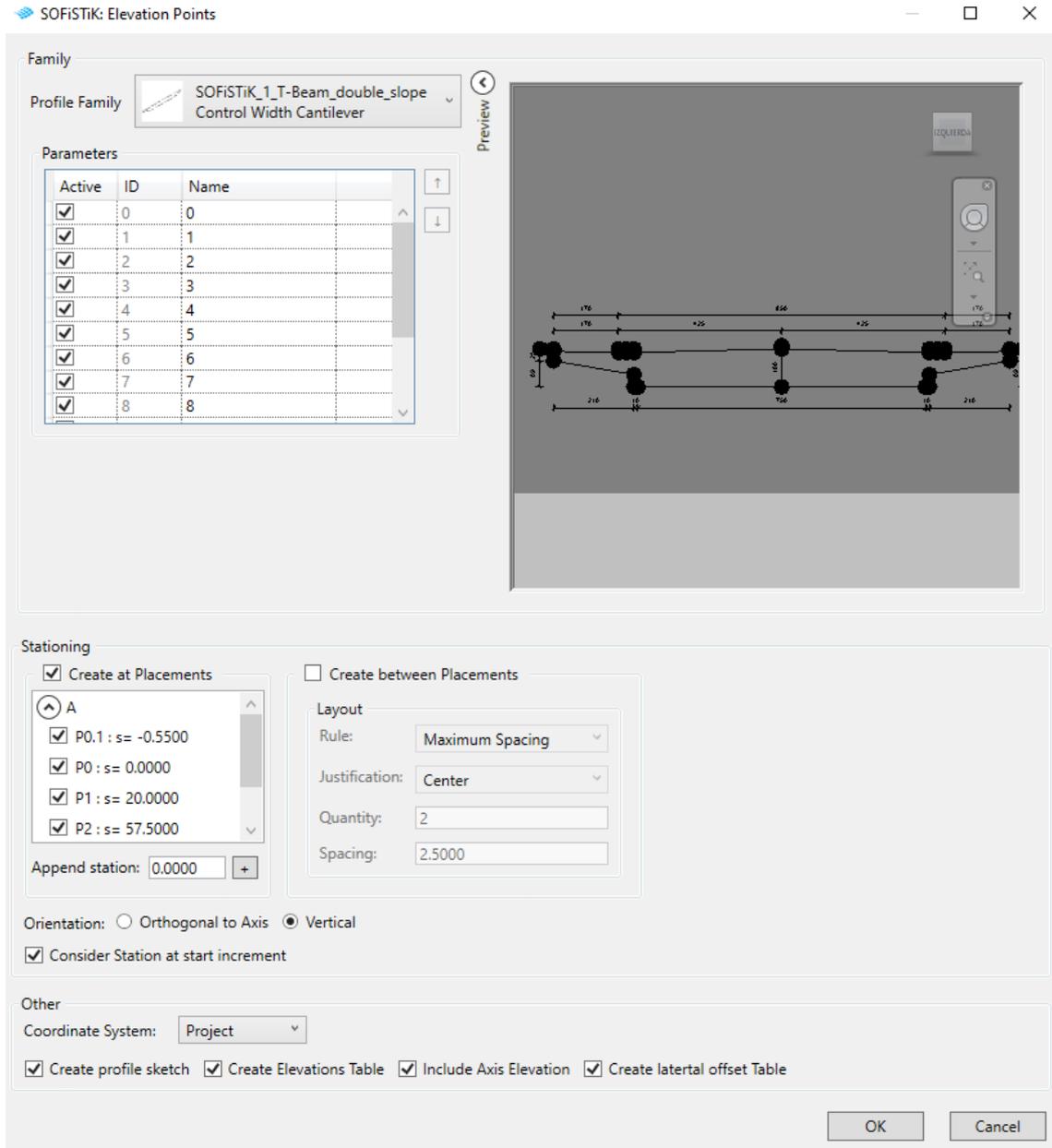


Figura 1.59. Ventana Elevation Points. Para crear la creación de tablas con coordenadas

Se crean tablas con la cota y las coordenadas de los puntos de las secciones en los emplazamientos. También se pueden incorporar a la tabla puntos de las secciones del tablero entre emplazamientos.

En el navegador del proyecto consultar lo remarcado en rojo de la Figura 1.60.

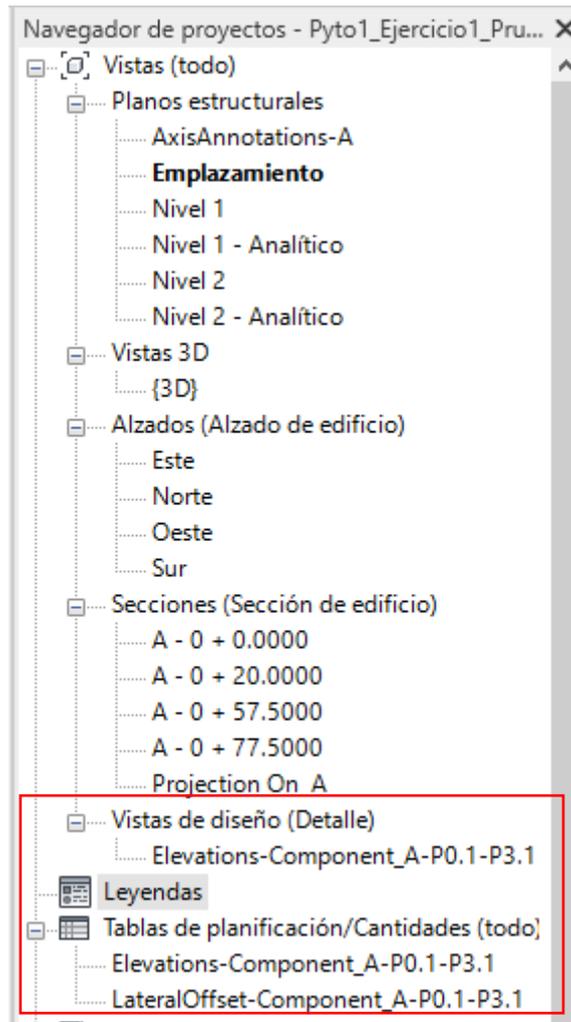


Figura 1.60. Navegador de proyectos. Tablas de puntos y coordenadas

La información de estas tablas es necesaria para el replanteo de los encofrados del tablero.

<LateralOffset-Component_A-P0.1-P3.1>					
A	B	C	D	E	F
Station	Point	X	Y	Z	Lateral Offset
-1 + 999.4500	0	0.000	-2.050	-0.900	-2.050
-1 + 999.4500	1	0.000	-2.550	-0.400	-2.550
-1 + 999.4500	2	0.000	-5.000	-0.180	-5.000
-1 + 999.4500	3	0.000	-5.000	0.000	-5.000
-1 + 999.4500	4	0.000	-4.500	0.000	-4.500
-1 + 999.4500	5	0.000	-4.300	0.000	-4.300
-1 + 999.4500	6	0.000	0.000	0.000	0.000
-1 + 999.4500	7	0.000	4.300	0.000	4.300
-1 + 999.4500	8	0.000	4.500	0.000	4.500
-1 + 999.4500	9	0.000	5.000	0.000	5.000
-1 + 999.4500	10	0.000	5.000	-0.180	5.000
-1 + 999.4500	11	0.000	2.550	-0.400	2.550
-1 + 999.4500	12	0.000	2.050	-0.900	2.050
-1 + 999.4500	13	0.000	0.000	-0.900	0.000
0 + 0.0000	0	0.550	-2.050	-0.888	-2.050
0 + 0.0000	1	0.550	-2.550	-0.388	-2.550
0 + 0.0000	2	0.550	-5.000	-0.168	-5.000
0 + 0.0000	3	0.550	-5.000	0.012	-5.000
0 + 0.0000	4	0.550	-4.500	0.012	-4.500
0 + 0.0000	5	0.550	-4.300	0.012	-4.300
0 + 0.0000	6	0.550	0.000	0.012	0.000
0 + 0.0000	7	0.550	4.300	0.012	4.300
0 + 0.0000	8	0.550	4.500	0.012	4.500
0 + 0.0000	9	0.550	5.000	0.012	5.000
0 + 0.0000	10	0.550	5.000	-0.168	5.000
0 + 0.0000	11	0.550	2.550	-0.388	2.550
0 + 0.0000	12	0.550	2.050	-0.888	2.050
0 + 0.0000	13	0.550	0.000	-0.888	0.000
0 + 20.0000	0	20.550	-1.250	-1.251	-1.250
0 + 20.0000	1	20.550	-2.550	0.049	-2.550
0 + 20.0000	2	20.550	-5.000	0.269	-5.000
0 + 20.0000	3	20.550	-5.000	0.449	-5.000
0 + 20.0000	4	20.550	-4.500	0.449	-4.500
0 + 20.0000	5	20.550	-4.300	0.449	-4.300
0 + 20.0000	6	20.550	0.000	0.449	0.000
0 + 20.0000	7	20.550	4.300	0.449	4.300
0 + 20.0000	8	20.550	4.500	0.449	4.500
0 + 20.0000	9	20.550	5.000	0.449	5.000
0 + 20.0000	10	20.550	5.000	0.269	5.000
0 + 20.0000	11	20.550	2.550	0.049	2.550
0 + 20.0000	12	20.550	1.250	-1.251	1.250
0 + 20.0000	13	20.550	0.000	-1.251	0.000
0 + 57.5000	0	58.050	-1.250	-1.251	-1.250
0 + 57.5000	1	58.050	-2.550	0.049	-2.550
0 + 57.5000	2	58.050	-5.000	0.269	-5.000
0 + 57.5000	3	58.050	-5.000	0.449	-5.000
0 + 57.5000	4	58.050	-4.500	0.449	-4.500
0 + 57.5000	5	58.050	-4.300	0.449	-4.300
0 + 57.5000	6	58.050	0.000	0.449	0.000
0 + 57.5000	7	58.050	4.300	0.449	4.300
0 + 57.5000	8	58.050	4.500	0.449	4.500
0 + 57.5000	9	58.050	5.000	0.449	5.000
0 + 57.5000	10	58.050	5.000	0.269	5.000
0 + 57.5000	11	58.050	2.550	0.049	2.550
0 + 57.5000	12	58.050	1.250	-1.251	1.250
0 + 57.5000	13	58.050	0.000	-1.251	0.000
0 + 77.5000	0	78.050	-2.050	-0.888	-2.050
0 + 77.5000	1	78.050	-2.550	-0.388	-2.550
0 + 77.5000	2	78.050	-5.000	-0.168	-5.000
0 + 77.5000	3	78.050	-5.000	0.012	-5.000
0 + 77.5000	4	78.050	-4.500	0.012	-4.500
0 + 77.5000	5	78.050	-4.300	0.012	-4.300
0 + 77.5000	6	78.050	0.000	0.012	0.000
0 + 77.5000	7	78.050	4.300	0.012	4.300
0 + 77.5000	8	78.050	4.500	0.012	4.500
0 + 77.5000	9	78.050	5.000	0.012	5.000
0 + 77.5000	10	78.050	5.000	-0.168	5.000
0 + 77.5000	11	78.050	2.550	-0.388	2.550
0 + 77.5000	12	78.050	2.050	-0.888	2.050
0 + 77.5000	13	78.050	0.000	-0.888	0.000
0 + 78.0500	0	78.600	2.050	-0.900	-2.050
0 + 78.0500	1	78.600	2.550	-0.400	-2.550
0 + 78.0500	2	78.600	5.000	-0.180	-5.000
0 + 78.0500	3	78.600	5.000	0.000	-5.000
0 + 78.0500	4	78.600	4.500	0.000	-4.500
0 + 78.0500	5	78.600	4.300	0.000	-4.300
0 + 78.0500	6	78.600	0.000	0.000	0.000
0 + 78.0500	7	78.600	-4.300	0.000	4.300
0 + 78.0500	8	78.600	-4.500	0.000	4.500
0 + 78.0500	9	78.600	-5.000	0.000	5.000
0 + 78.0500	10	78.600	-5.000	-0.180	5.000
0 + 78.0500	11	78.600	-2.550	-0.400	2.550
0 + 78.0500	12	78.600	-2.050	-0.900	2.050
0 + 78.0500	13	78.600	0.000	-0.900	0.000

Figura 1.61. Coordenadas de la tabla LateralOffset-Component_A-P0.1-P3.1

Índice

Ejercicio 2. Diseño y cálculo de un puente de vigas. SOFiSTiK	39
2.1. PLANTEAMIENTO	39
2.2. PARÁMETROS DEL PROBLEMA.....	40
2.3. TAREAS A REALIZAR.....	40
2.3.1. Construcción del modelo de análisis con SOFiSTiK	40
2.3.2. Acciones y combinación de acciones en SOFIPLUS -X.....	41
2.3.3. Generación del modelo de elementos finitos	41
2.3.4. Análisis de los casos de carga.....	41
2.3.5. CSM definición de las fases constructivas del puente	41
2.3.6. Traffic loader	41
2.3.7. CSM Bridge Design - Superpositioning	42
2.3.8. CSM Bridge Design – Beam. (Comprobaciones tablero)	42
2.3.11. Resistencia a flexión en la sección viga sin losa	42
2.3.12. Modelo BIM del puente. IFC y Revit.....	42
Ejercicio 2A. Materiales y secciones transversales	43
A. RESOLUCIÓN.....	43
A.1. Nuevo proyecto.....	43
A.2. Materiales	47
A.3. Secciones.....	51
Ejercicio 2B. Eje del puente	63
B. RESOLUCIÓN.....	63
Ejercicio 2C. Elementos estructurales del tablero	67
C. RESOLUCIÓN.....	67
C.1. Structural lines	67
C.2. Structural areas	71
Ejercicio 2D. Sistema de pretensado.....	73
D. RESOLUCIÓN.....	73
D.1. Datos del pretensado (armaduras pretesas).....	73
D.2. Introducción del pretensado en SOFIPLUS.....	74
Ejercicio 2E. Apoyos: pila y estribos	89
E. RESOLUCIÓN.....	89
Ejercicio 2F. Acciones y creación del MEF	109
F. RESOLUCIÓN.....	109
F.1. Casos de carga.....	109

Ejercicio 2G. Fases de construcción y sobrecargas de tráfico. SSD.....	125
G. RESOLUCIÓN.....	125
G.1. Análisis lineal	125
G.2. Construction Stage Manager	134
G.3. Traffic Loader	144
G.4. CSM Bridge Design Superpositioning	153
Ejercicio 2H. Cálculo y comprobaciones ELU y ELS. SSD.....	155
H. RESOLUCIÓN.....	155
H.1. Comprobaciones a realizar en tableros de hormigón pretensado	155
H.2. Comprobaciones de SOFiSTiK en un elemento finito seleccionado del tablero ...	156
H.3. Comprobaciones de SOFiSTiK en todas las vigas del tablero	161
Ejercicio 2I. Consulta de la resistencia de la viga sin la losa.....	169
I. RESOLUCIÓN.....	169
Ejercicio 2J. Modelo BIM del puente. IFC y Revit	173
J. RESOLUCIÓN.....	173
J.1. IFC.....	173

Ejercicio 2

Diseño y cálculo de un puente de vigas.

SOFiSTiK

2.1. PLANTEAMIENTO

La estructura ODT 2.2. se proyecta para el cruce de la carretera N-332 con la Rambla de la Entrevista (P.K. 0+320 del encauzamiento de la Rambla de La Entrevista). Consiste en un puente de vigas 2 vanos de 12.95 m de luz cada uno. La longitud total del puente entre juntas de dilatación es de 25.9 m. y su anchura de 10.80 m.

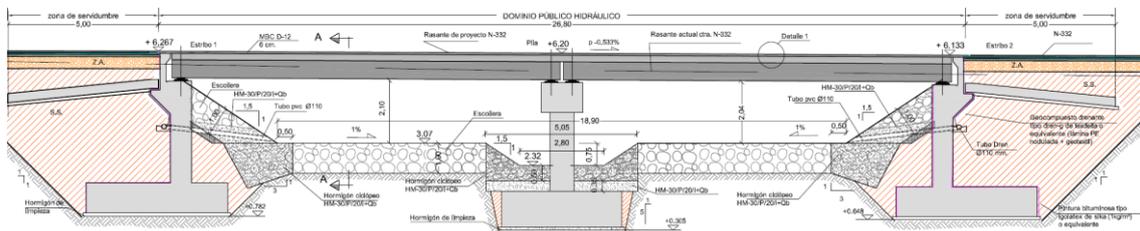


Figura 2.1. Perfil longitudinal del puente

El tablero está formado por 6 vigas doble T de hormigón pretensado HP-60 de 0.60 m. de canto y una losa superior de hormigón HA-30 ejecutada in situ de 22.5 cm. de espesor. Las vigas están colocadas sobre aparatos de apoyo de neopreno zunchado de 200 x 250 x 47 mm (e_n 37).

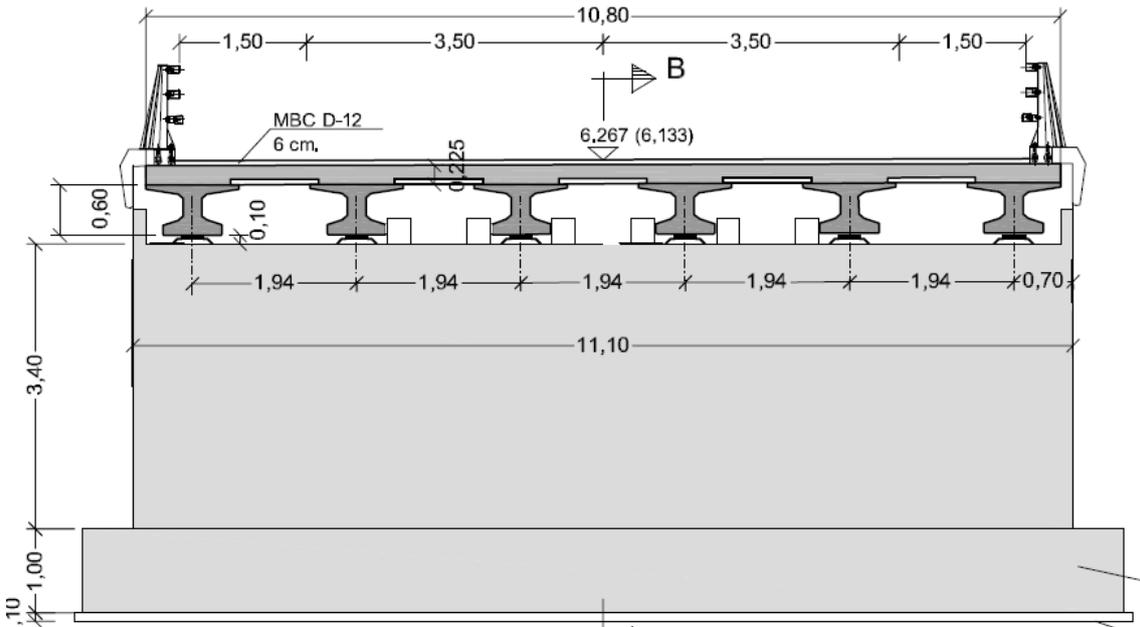


Figura 2.2. Alzado estrizo y sección de tablero

Los estribos son estribos cerrados de hormigón HA-30. Y la pila es una pila tabique de hormigón HA-30 de 0.8 m de ancho. Las cimentaciones de la pila y los estribos se han proyectado con zapatas corridas de hormigón HA-30.

En esta obra se ha elevado 0.60 m la rasante de la carretera N-332, para conseguir el resguardo exigido para la avenida de 500 años. Esto supone modificar la rasante de la carretera N-332 en una longitud aproximada de 400 m.

2.2. PARÁMETROS DEL PROBLEMA

- **Materiales. Niveles de control de calidad y coeficientes de seguridad**

Con este ejercicio se proporciona el archivo *Pyto02 Memoria de calculo.pdf* como Anexo A. En el punto 3 de esta memoria están descritos los materiales, nivel de control de la ejecución de la obra y los coeficientes de seguridad de los materiales y de las acciones a considerar. Todo ello son datos de este ejercicio.

- **Acciones a considerar**

En el punto 4 del Anexo A: *Pyto02 Memoria de calculo.pdf*, están recogidas y particularizadas las acciones sobre el puente a considerar en este ejercicio. Los resultados de los cálculos de las acciones recogidos en esa memoria se han realizado con la hoja de cálculo *01 Acciones Horiz IAP-11 y Neoprenos V7.xlm*, que también se adjunta. Estos datos y cálculos de acciones son datos para el presente ejercicio.

- **Planos de la estructura**

Con este ejercicio, también se proporciona el archivo *Pyto02 PlanosPuenteVigas.pdf*, como Anexo B. La definición geométrica de la estructura para construir el modelo de análisis en SOFiSTiK se tomará de este archivo.

2.3. TAREAS A REALIZAR

2.3.1. Construcción del modelo de análisis con SOFiSTiK

Se construirá un modelo mecánico del puente. Este modelo consistirá en un modelo mixto (barras y elementos lámina) para el tablero y barras para alzado de pilas y estribos. Las zapatas de pilas y estribos se modelarán con elementos losa por ser zapatas flexibles. Para ello:

- Se definirán materiales (SOFiPLUS - X). **Ejercicio 2A**
- Se definirán las secciones transversales de las barras y sus características. **Ejercicio 2A**
- Se introducirá el eje del puente. Sus Placements. **Ejercicio 2B**
- Se crearán los elementos estructurales del tablero (Structural lines y structural areas). **Ejercicio 2C.**
- Se introducirá el sistema de pretensado. **Ejercicio 2D.**
- Se colocarán los apoyos (springs). **Ejercicio 2E.**

- Constrains (restricciones o relaciones cinemáticas entre los grados de libertad de los nudos de los distintos elementos para materializar nudos de dimensión finita). **Ejercicio 2E.**
- Se modelarán las pilas y los estribos. **Ejercicio 2E.**

2.3.2. Acciones y combinación de acciones en SOFIPLUS -X

Se definirán los casos de carga, los grupos de carga y las categorías de acciones, junto con los coeficientes de mayoración de acciones, y de simultaneidad (**Ejercicio 2F**).

En concreto las acciones a considerar son

- Peso propio
- Cargas muertas
- Sobrecargas de uso
- Temperatura
- Viento
- Sobre carga de agua en pilas

La fluencia y la retracción se considerarán más adelante.

Se introducirán las fuerzas debidas a las acciones y las deformaciones impuestas por temperatura sobre los elementos estructurales del modelo con SOFIPLUS – X, excepto las debidas a las sobrecargas de uso.

2.3.3. Generación del modelo de elementos finitos

(**Ejercicio 2G**).

2.3.4. Análisis de los casos de carga

(**ejercicio 2H**).

2.3.5. CSM definición de las fases constructivas del puente

Con esta task de SSD (SOFiSTiK) se definen las fases constructivas y se calculan los esfuerzos, desplazamientos y tensiones en las secciones de los elementos estructurales en cada una de las fases constructivas y de servicio por la acción de las cargas permanentes (peso propio, cargas muertas, pretensado, retracción y fluencia). Cada una de las acciones actuando en las partes de la estructura activadas en cada fase definidas.

(**Ejercicio 2H**).

2.3.6. Traffic loader

Con este task se introducen las sobrecargas de tráfico (carros, sobrecarga uniforme, cargas horizontales de frenado). Cada tipo en su grupo de cargas correspondientes. Y se calculan los esfuerzos y deformaciones de la estructura debido a estas sobrecargas.

(Ejercicio 2H).

2.3.7. CSM Bridge Design - Superpositioning

Con esta herramienta de SSD (SOFiSTiK) se hacen las combinaciones de resultados del cálculo (esfuerzos, deformaciones, tensiones), obteniendo envolventes para comprobar los ELU y los ELS, teniendo en cuenta tanto cargas permanentes como las variables en servicio (sobrecargas de uso, temperatura y viento). **(Ejercicio 2H).**

2.3.8. CSM Bridge Design – Beam. (Comprobaciones tablero)

Comprobaciones de diseño de las vigas del tablero. En ELS (tensiones y fisuración) y en ELU (resistencia a flexión). **(Ejercicio 2I).**

2.3.9. Resistencia a flexión en la sección viga sin losa

(Ejercicio 2J).

2.3.10. Modelo BIM del puente. IFC y Revit

(Ejercicio 2K).

Ejercicio 2A

Materiales y secciones transversales

A. RESOLUCIÓN

A.1. Nuevo proyecto

Abrimos SOFiSTiK Structural Desktop (SSD) 2020.

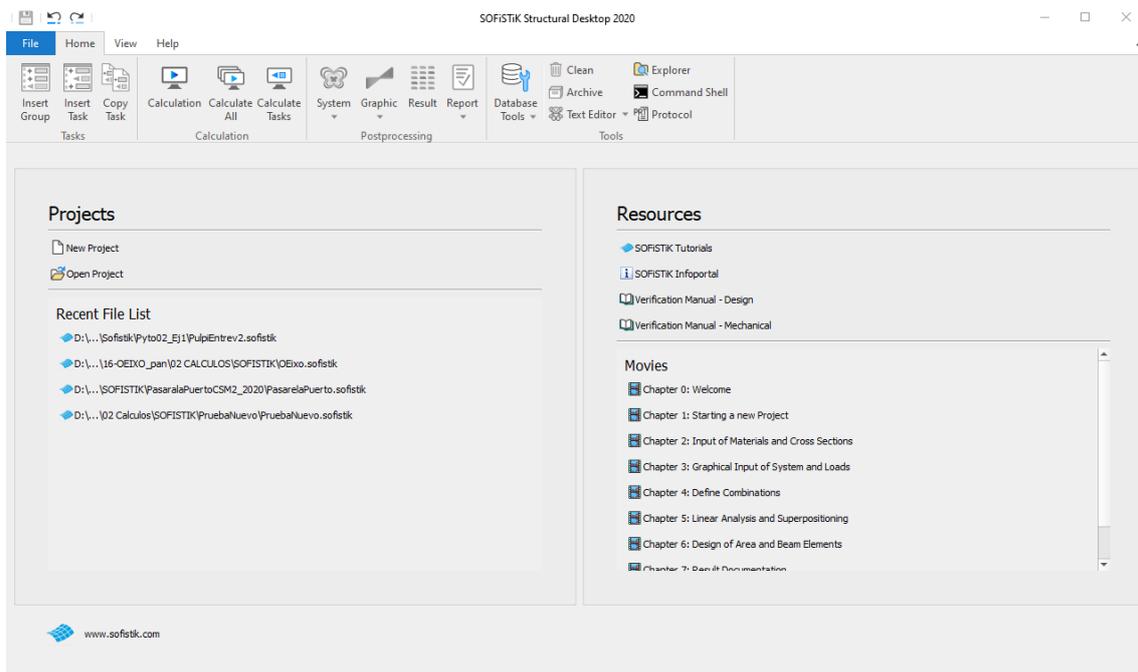


Figura 2A.1. Pantalla principal de SSD 2020

Creamos un proyecto nuevo:

The screenshot shows the 'SOFiSTiK: System Information' dialog box with the following settings:

- Project:**
 - Name: C:\BIM UPCT\000 Modulos Titulo BIM 2019_2020\05 Puentes BIM\Pyto02_Ejercicio1\Sofistik\Pyto02_Ej1\PulpiEntrev2.sofistik
 - Title: Puente de vigas doble T sobre rambla de Entrevista - Pulpi (Almería)
- Design Code:**
 - EuroNorm EN 1992-2:2005 Concrete Structures
 - EN, 1992-2004, Road bridges, B Road bridges, ES
- System:**
 - 3D FEA (selected)
 - Other options: 3D Frame, 2D Frame, 2D Wall, 2D Girder System, 2D Slab, 2D Prestressed Slab
- Calculation:**
 - Orientation of Deadload: Negative Z-Axis
 - Type of Calculation: Plane Stress System
 - Module: ASE
- Groups:**
 - Fixed (selected), Group Divisor: 10000
 - Automatic, Factor group base: 10000
- Unit Set:** Structural Engineering (sections in mm, system in m)
- Language:** English
- Location:** (empty)
- Boxed Values:** (empty)
- System preview:** 3D model of a bridge structure with coordinate axes (x, y, z).
- Preprocessing:** SOFPLUS(-X) - Graphical Preprocessing

Buttons: OK, Cancel, Help

Figura 2A.2. Ventana System Information. Para crear un nuevo proyecto

Name: En este formulario introducimos una carpeta vacía como carpeta de trabajo (en el campo nombre). Y le damos un nombre al archivo.

Title: Ponemos un título al proyecto.

Design Codes: Seleccionamos el Eurocódigo 2 y puentes de carretera. ES para el anejo nacional.

System: 3D FEA

Llegamos a la interface del programa SSD

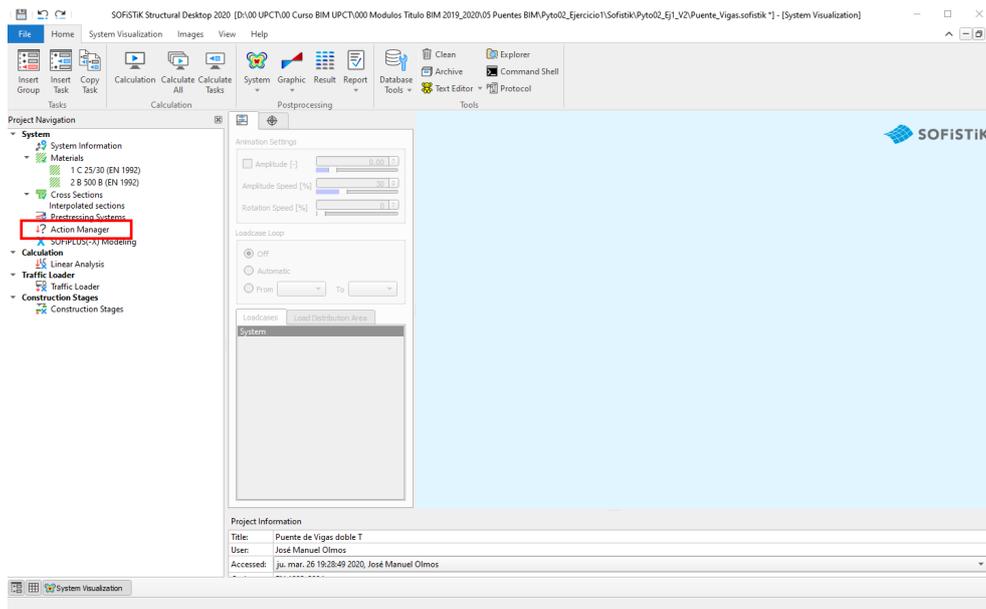


Figura 2A.3. Apariencia común de SSD 2020

Lo primer que vamos a hacer es definir el tipo de acciones que vamos a considerar en el proyecto. Pulsamos en *Action Manager*.

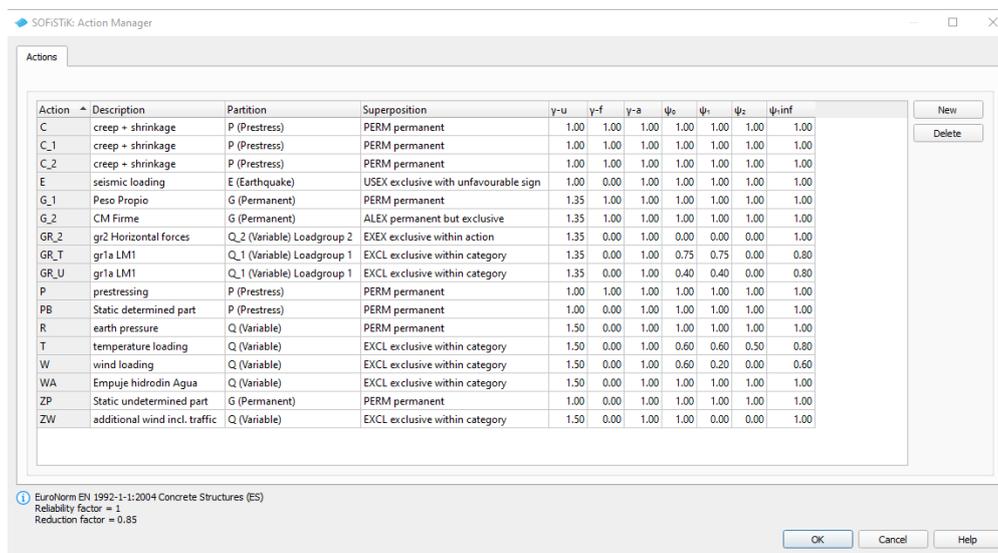


Figura 2A.4. Action Manager

De la imagen anterior, las acciones C, C_1, C_2, E, PF y ZP no hace falta introducirlas. Las introducirá el programa automáticamente más adelante.

A continuación, abrimos el programa *SOFiPLUS(-X)*

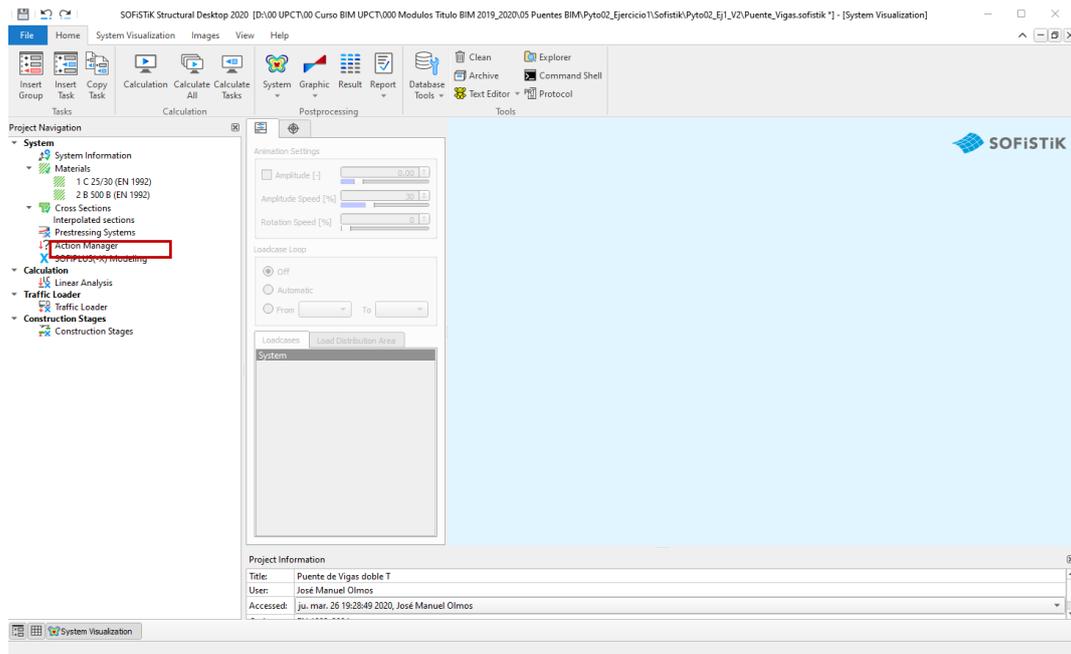


Figura 2A.5. SSD 2020. SOFiPLUS(-X)

SOFiPLUS(-X) es AutoCad con una paleta de órdenes con la que construiremos el modelo de análisis.

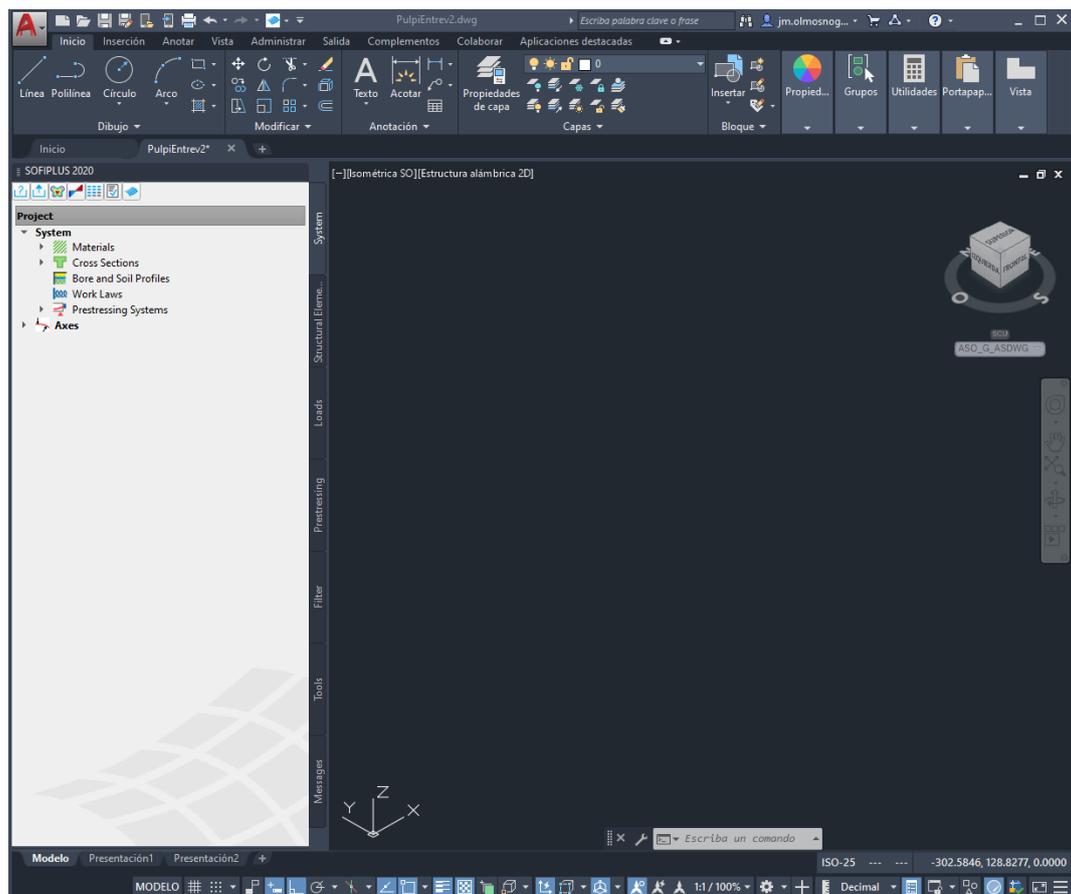


Figura 2A.6. Apariencia común de SOFiPLUS

A.2. Materiales

Comenzamos por definir los materiales del puente.

Tenemos que introducir en el proyecto todos los materiales de la lista de la Figura 2A.7, con el nombre de la imagen. El número de material es lo de menos.

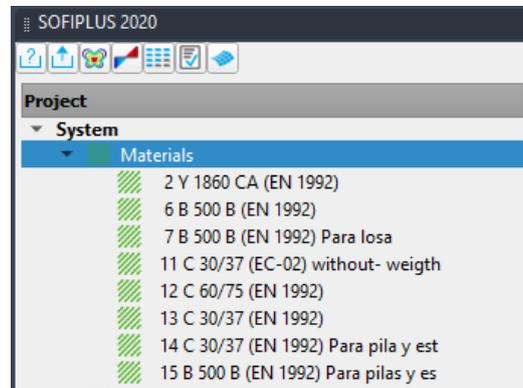


Figura 2A.7. Navegador de proyectos > Materiales

Para ello, pulsamos con el botón derecho del ratón en *Materials* clicamos en *New Material from Design Code*:

Se abre la ventana de la Figura 2A.8 y seleccionamos el tipo de material (hormigón, acero de armar o acero de pretensar y su clasificación según se indica en los pantallazos siguientes:

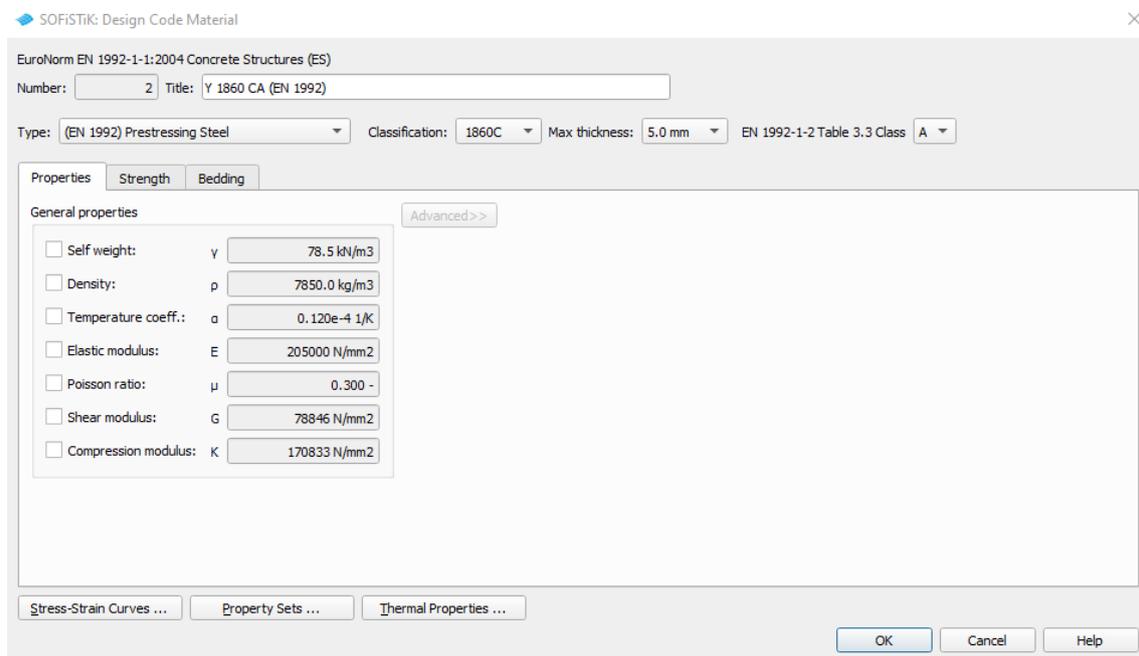


Figura 2A.8. Ventana Desing Code Material: Y 1860 CA (EN 1992)

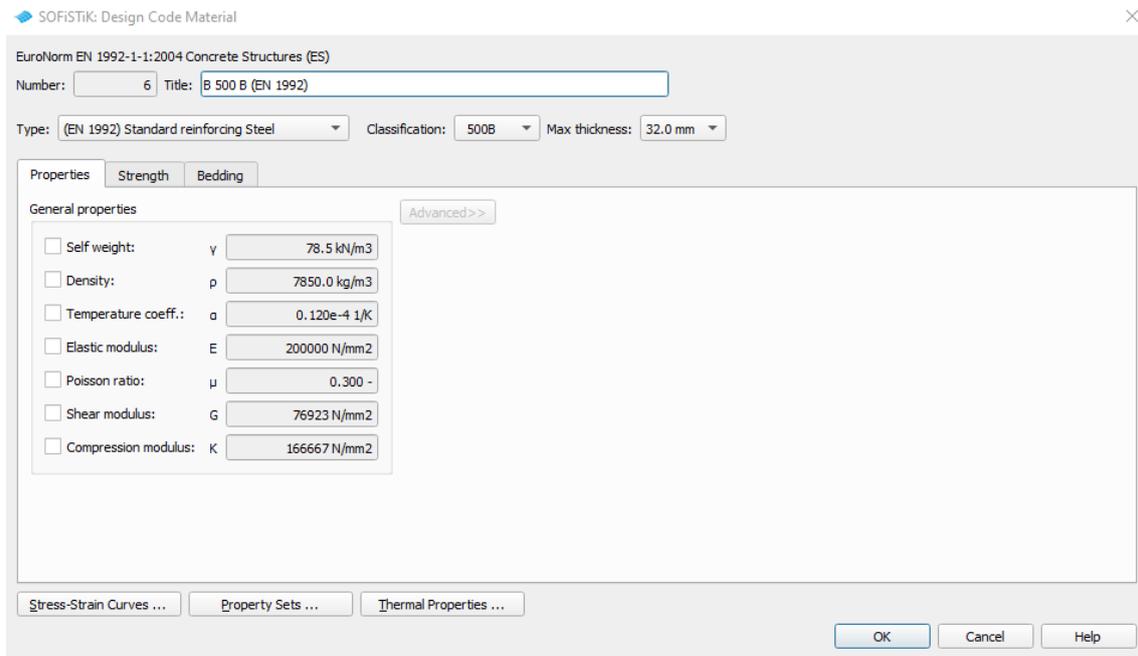


Figura 2A.9. Ventana Desing Code Material: B 500 B (EN 1992)

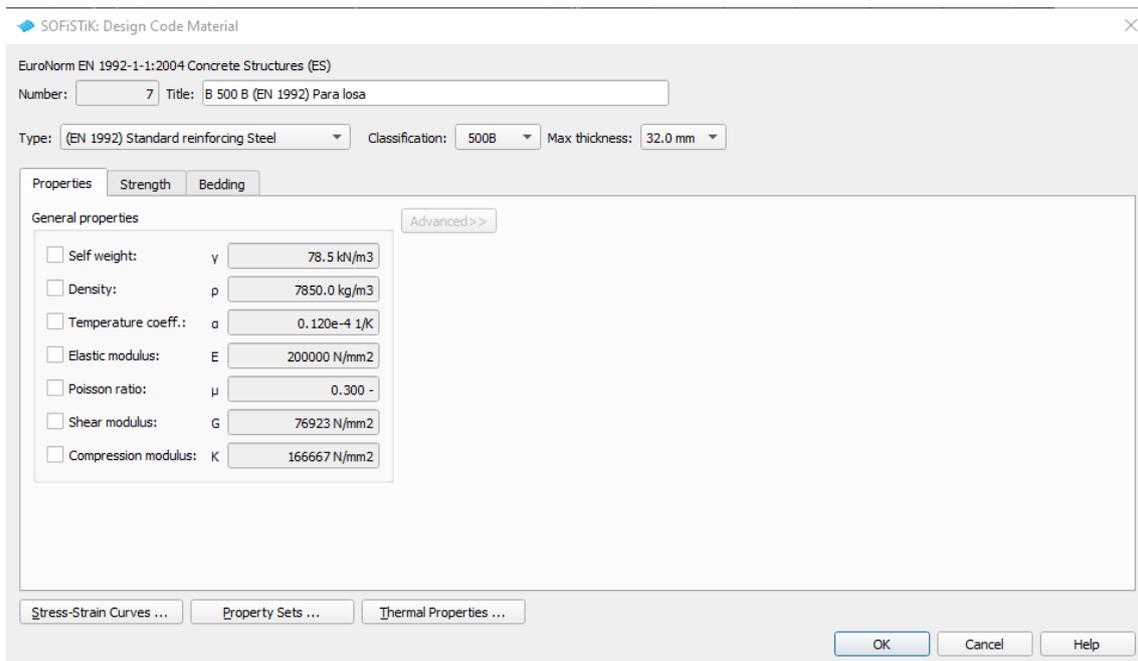


Figura 2A.10. Ventana Desing Code Material: B 500 B (EN 1992) Para losa

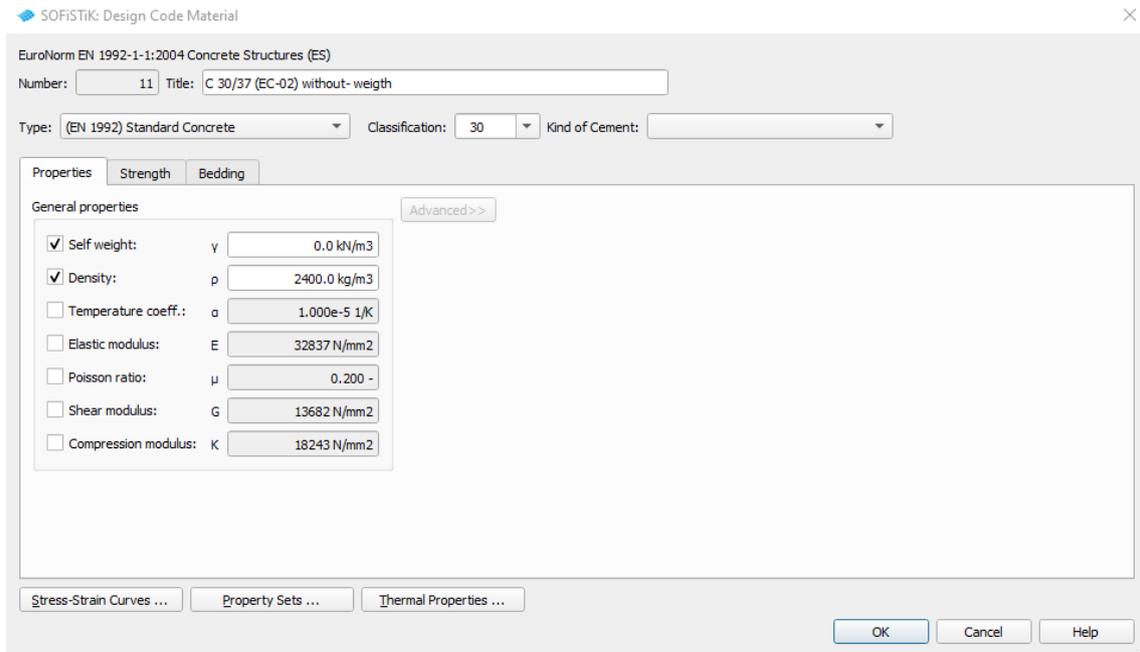


Figura 2A.11. Ventana Desing Code Material: C 30/37 (EC-02) without weighth

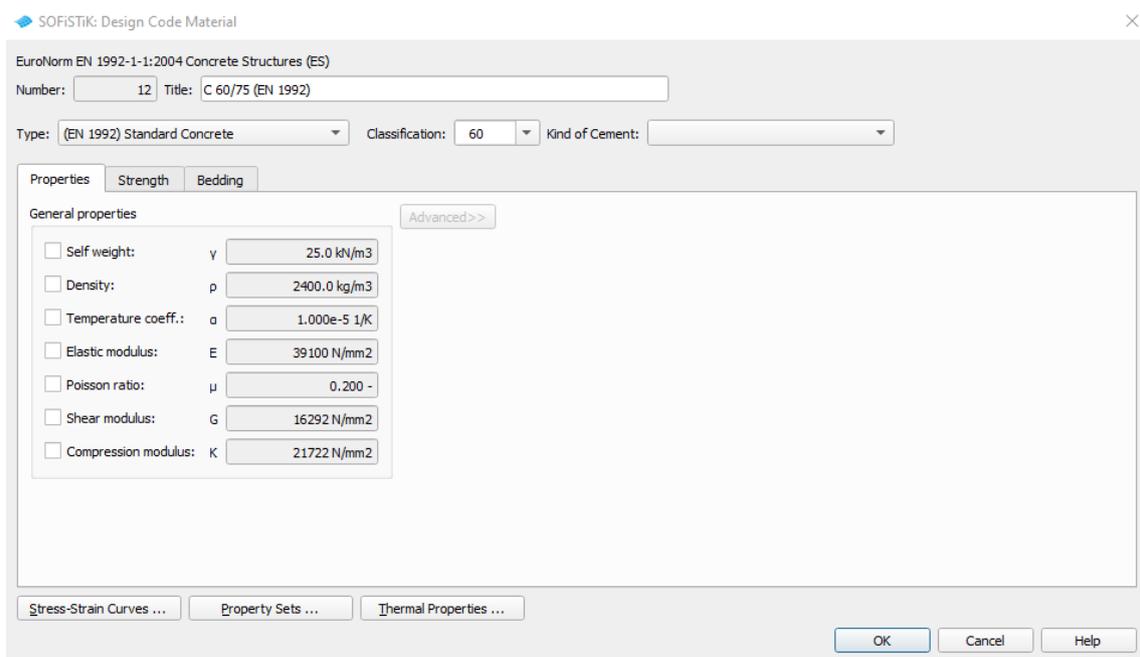


Figura 2A.12. Ventana Desing Code Material: C 60/70 (EN 1992)

SOFiStiK Design Code Material

EuroNorm EN 1992-1-1:2004 Concrete Structures (ES)

Number: 13 Title: C 30/37 (EN 1992)

Type: (EN 1992) Standard Concrete Classification: 30 Kind of Cement:

Properties Strength Bedding

General properties Advanced>>

Self weight: γ 25.0 kN/m³

Density: ρ 2400.0 kg/m³

Temperature coeff.: α 1.000e-5 1/K

Elastic modulus: E 32837 N/mm²

Poisson ratio: μ 0.200 -

Shear modulus: G 13682 N/mm²

Compression modulus: K 18243 N/mm²

Stress-Strain Curves ... Property Sets ... Thermal Properties ...

OK Cancel Help

Figura 2A.13. Ventana Desing Code Material: C 30/37 (EN 1992)

SOFiStiK Design Code Material

EuroNorm EN 1992-1-1:2004 Concrete Structures (ES)

Number: 14 Title: C 30/37 (EN 1992) Para pila y est

Type: (EN 1992) Standard Concrete Classification: 30 Kind of Cement:

Properties Strength Bedding

General properties Advanced>>

Self weight: γ 25.0 kN/m³

Density: ρ 2400.0 kg/m³

Temperature coeff.: α 1.000e-5 1/K

Elastic modulus: E 32837 N/mm²

Poisson ratio: μ 0.200 -

Shear modulus: G 13682 N/mm²

Compression modulus: K 18243 N/mm²

Stress-Strain Curves ... Property Sets ... Thermal Properties ...

OK Cancel Help

Figura 2A.14. Ventana Desing Code Material: C 30/37 (EN 1992) Para pila y est

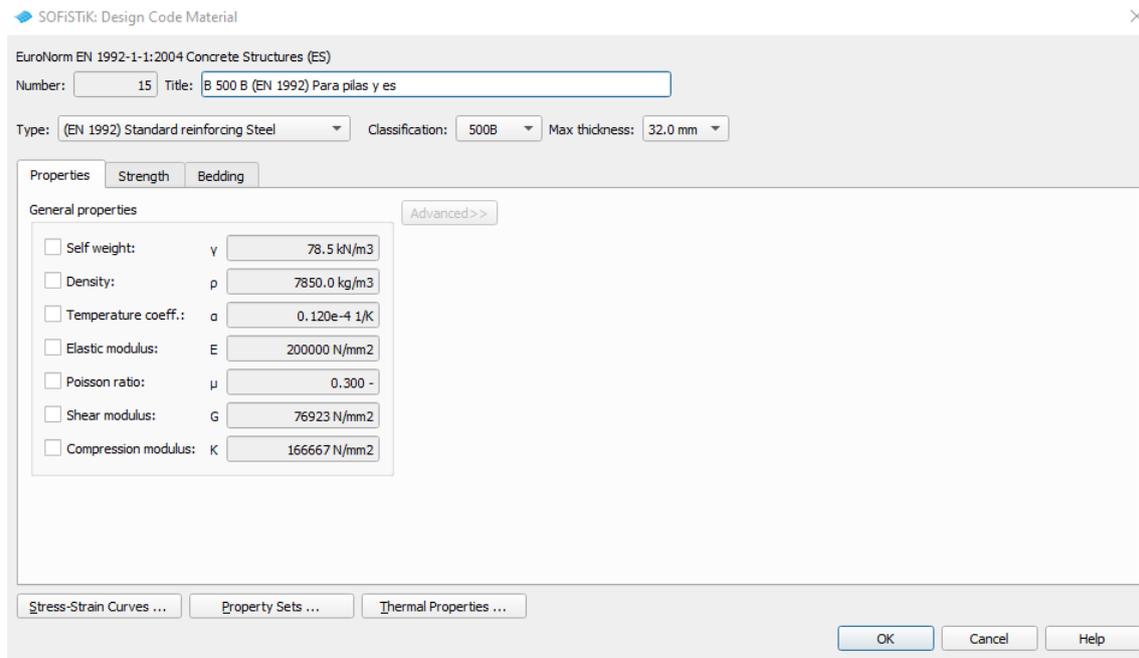


Figura 2A.15. Ventana Desing Code Material: B 500 B (EN 1992) Para pilas y est

A.3. Secciones

A continuación, definimos las secciones transversales de los elementos viga que vamos a emplear en el modelo.

Vamos a introducir el siguiente listado de secciones transversales:

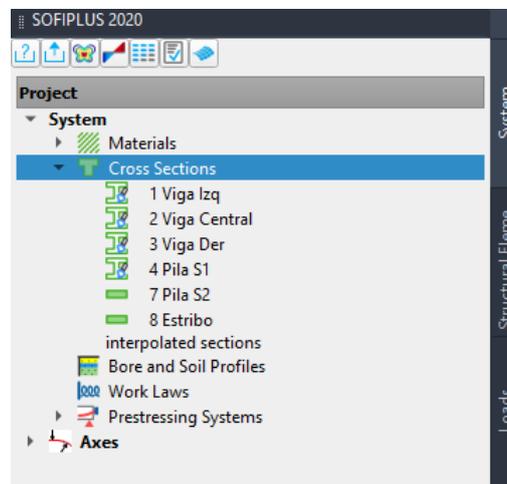


Figura 2A.16. Navegador de proyectos > Cross Sections. Listado de secciones transversales

Para ello pinchamos con el botón derecho del ratón en *Cross Section* y a continuación en *New Solid Sección > General*.

Se abre el siguiente formulario:

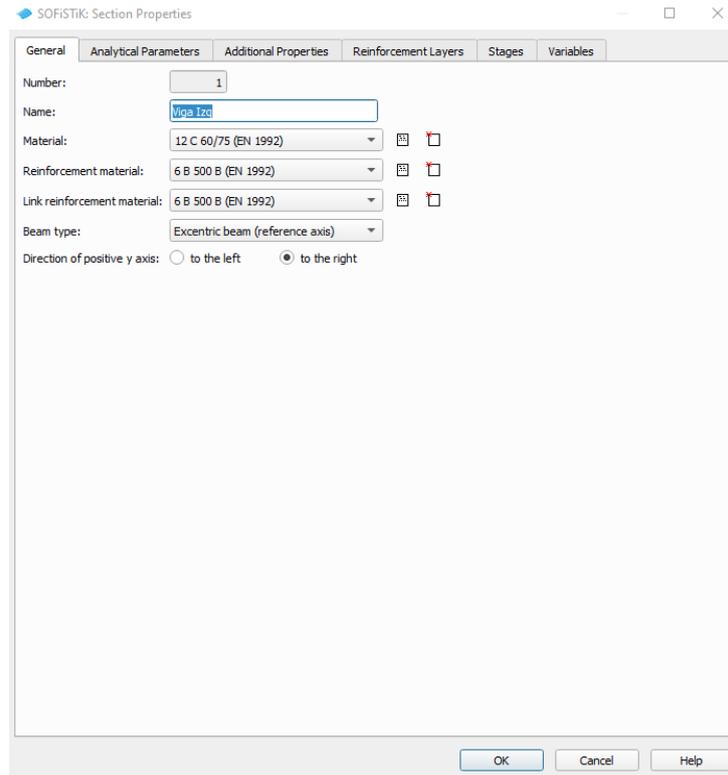


Figura 2A.17. Section Properties > General (Viga Izq)

Ponemos el nombre de la sección y seleccionamos los materiales.

En la pestaña *Analytical Parameters* de la ventana anterior, seleccionamos *Suppression of the rotation of the principal axes*:

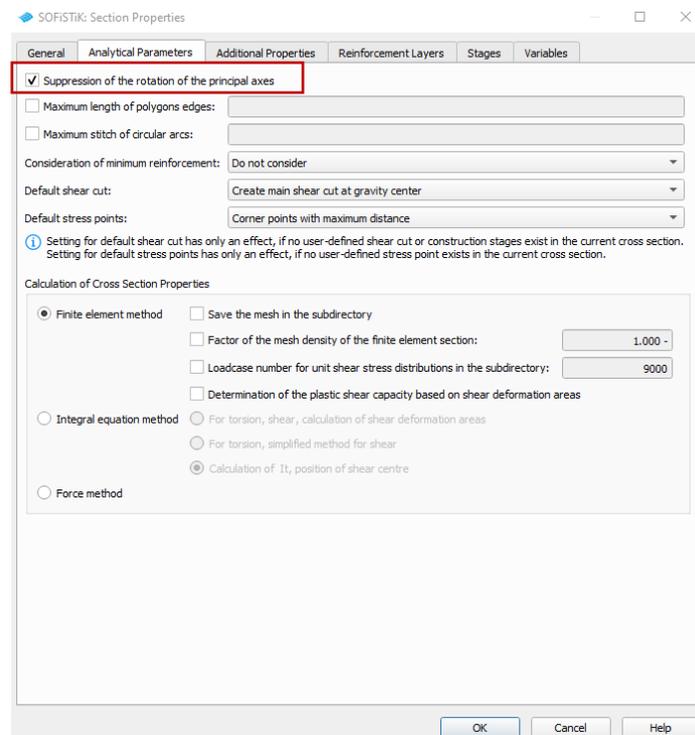


Figura 2A.18. Section Properties > Analytical Parameters (Viga Izq)

Ahora nos dirigimos a la pestaña *Additional Properties*, aquí introducimos los espesores efectivos para que SoFiSTiK calcule adecuadamente los coeficientes de fluencia y retracción.

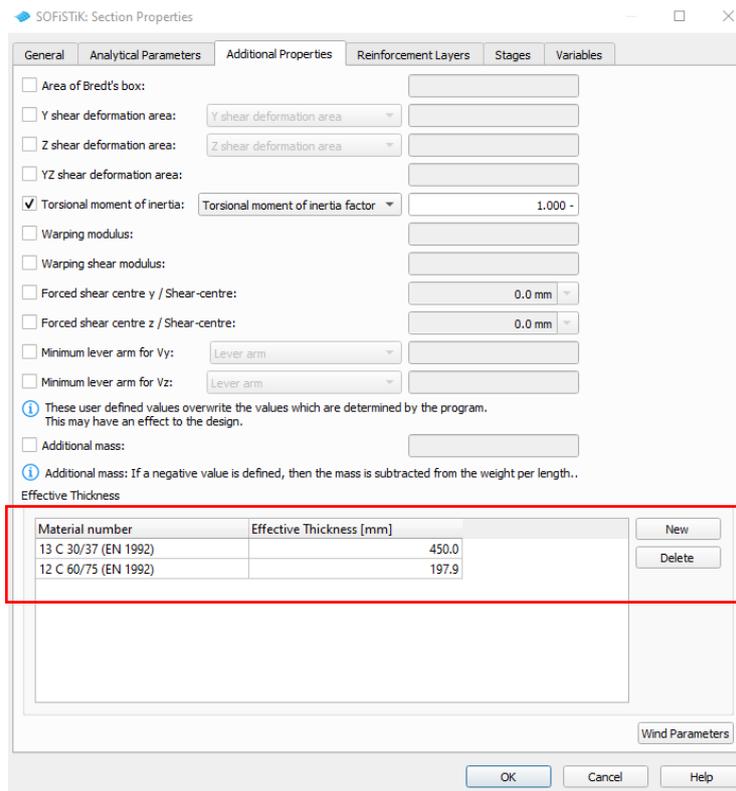


Figura 2A.19. Section Properties > Additional Properties (Viga Izq)

En la pestaña *Reinforcement Layers*, seleccionamos los materiales para armar.

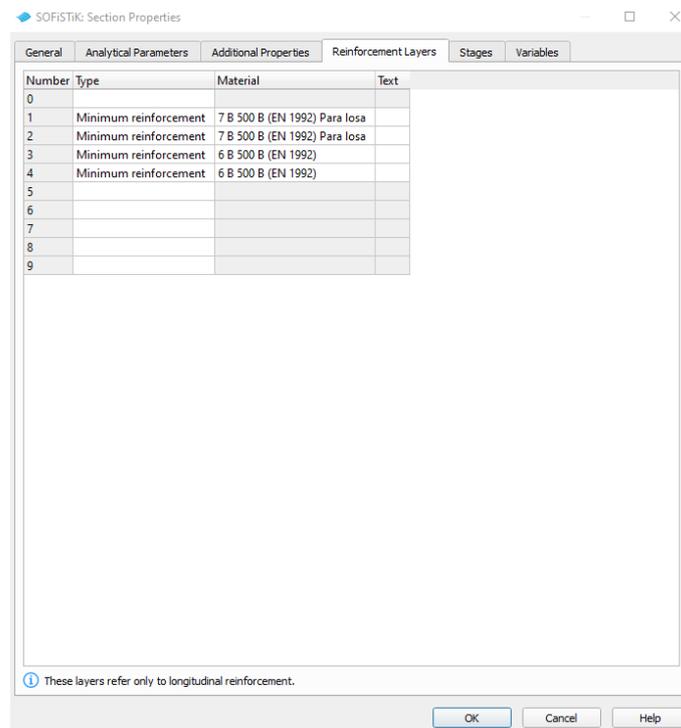


Figura 2A.20. Section Properties > Reinforcement Layers (Viga Izq)

En la pestaña *Stages*, introducimos dos fases de construcción con los números 11 y 40:

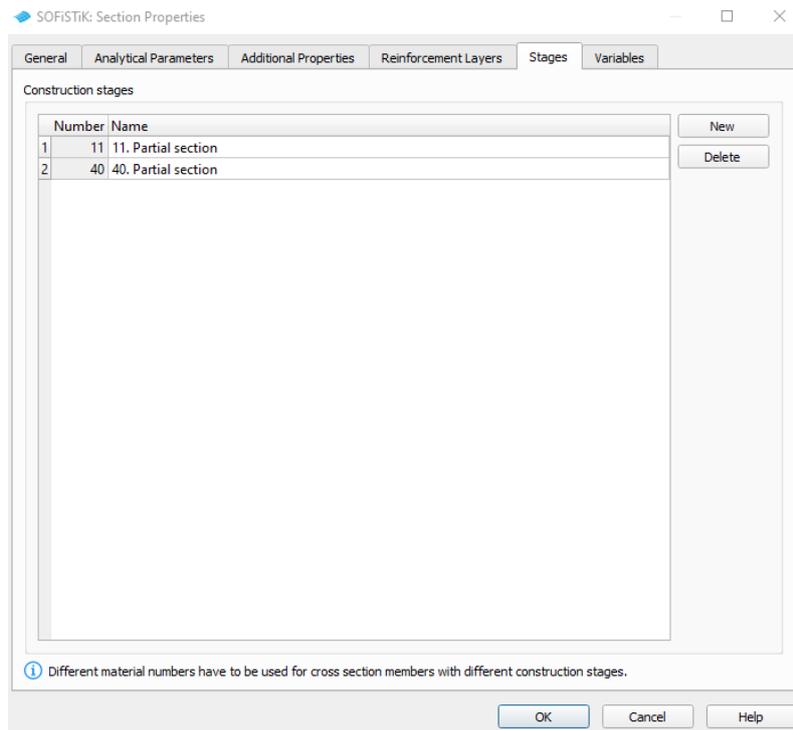


Figura 2A.21. Section Properties > Stages (Viga Izq)

Aceptamos.

Así llegamos al *Cross Section Editor*, con su paleta de comandos:

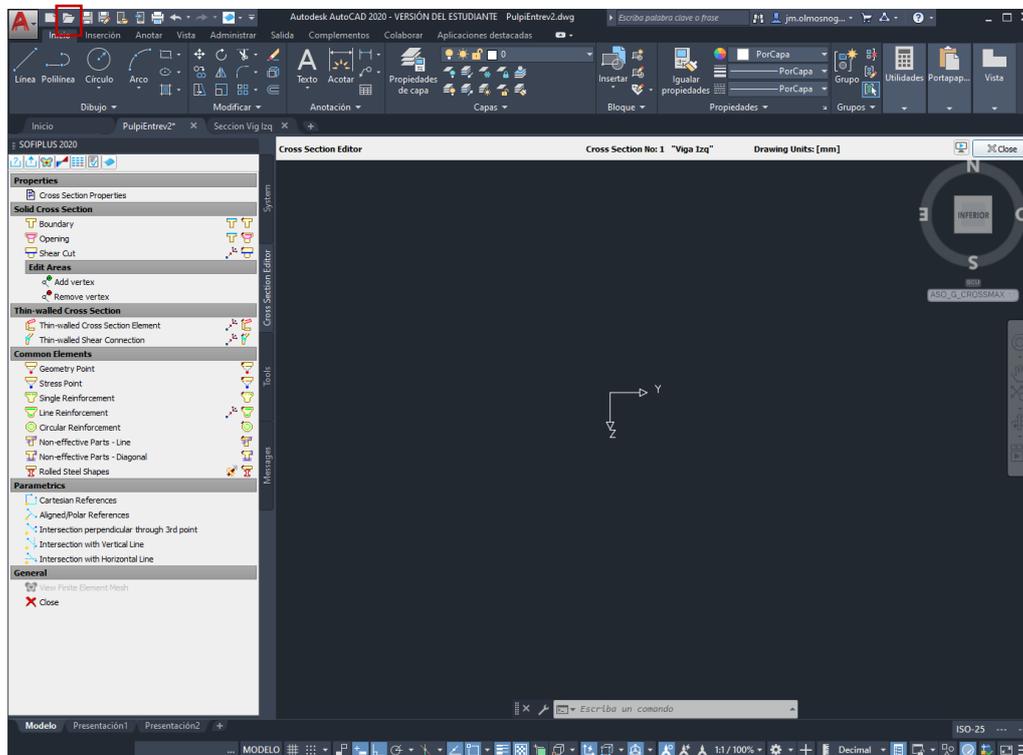


Figura 2A.22. Paleta de comandos Cross Section Editor

Para introducir la geometría y otras propiedades de la sección vamos a abrir un archivo de AutoCad llamado *viga Izq.dwg*. Lo abrimos con el icono señalado en la imagen anterior.

Una vez abierto, tenemos:

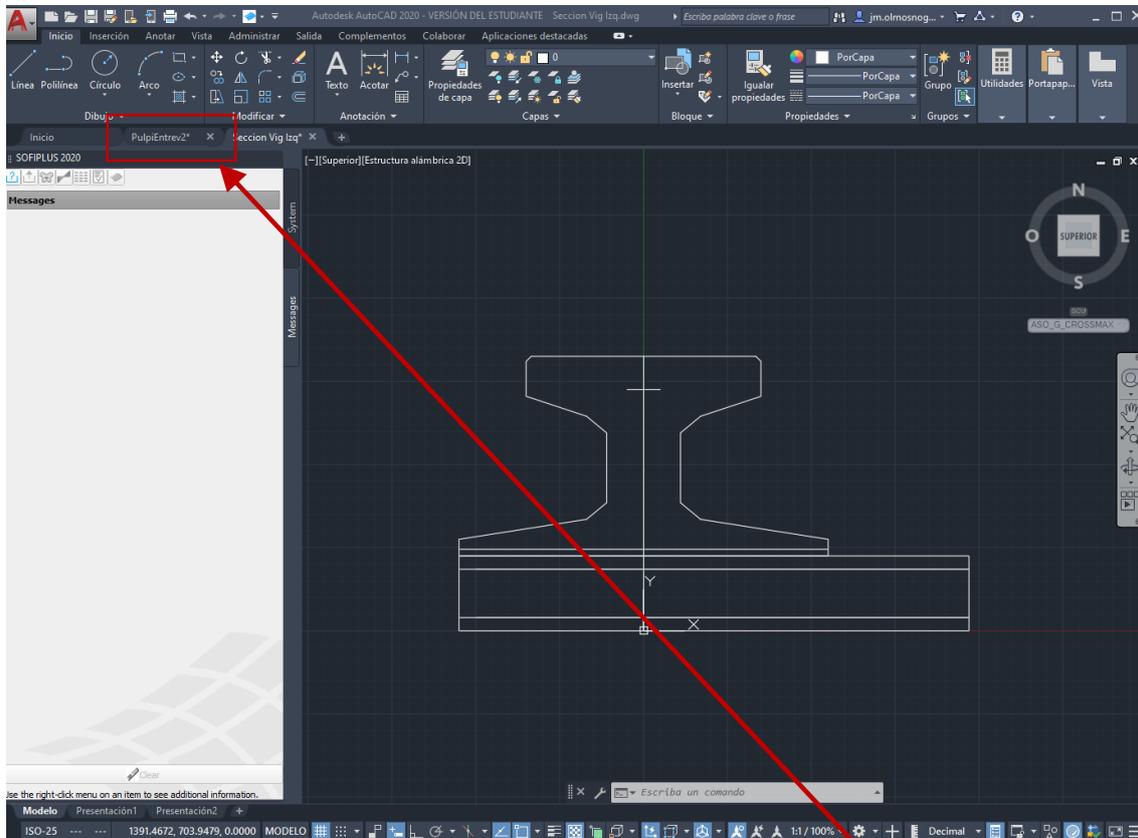


Figura 2A.23. Introducción de geometría

Seleccionamos todas las líneas de este dibujo y copiamos con Ctrl+C y pegamos con Ctrl+V en la ventana del *Cross Section Editor*. Para volver al *Cross Section Editor* pulsamos aquí.

Una vez que hemos pegado el dibujo anterior en el editor de secciones, lo desplazamos hasta que quede en la posición indicada en la figura siguiente:

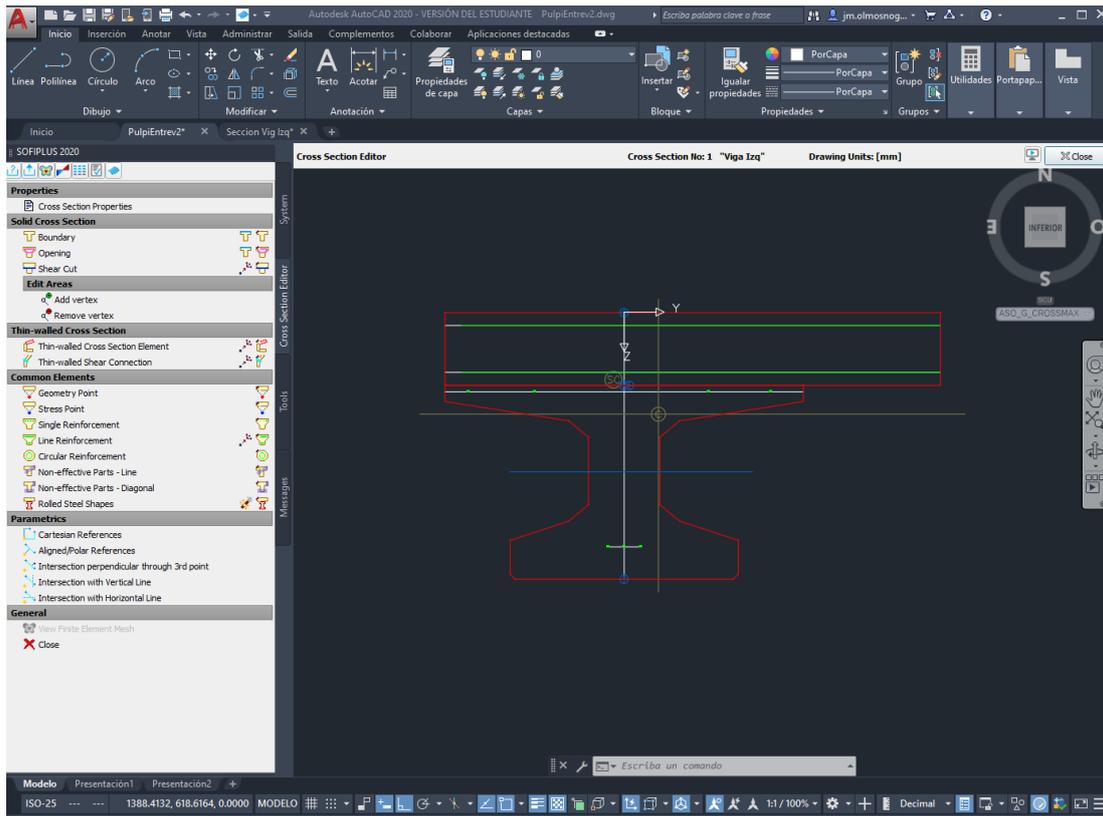


Figura 2A.24. Viga introducida en Cross Section Editor

En tu ordenador se verán todas las líneas en color blanco. Ahora tenemos que utilizar las siguientes ordenes de la paleta del editor de secciones para construir la sección:

Boundary: Pinchando sobre esta orden en la paleta aparece la siguiente ventana, en ella seleccionamos el hormigón de la parte de la sección que queremos crear y sus fases de activación en el proyecto. A continuación, dibujamos una poligonal sobre el área marcada en la figura siguiente. Ya tenemos la losa superior de nuestra sección viga+losa izquierda.

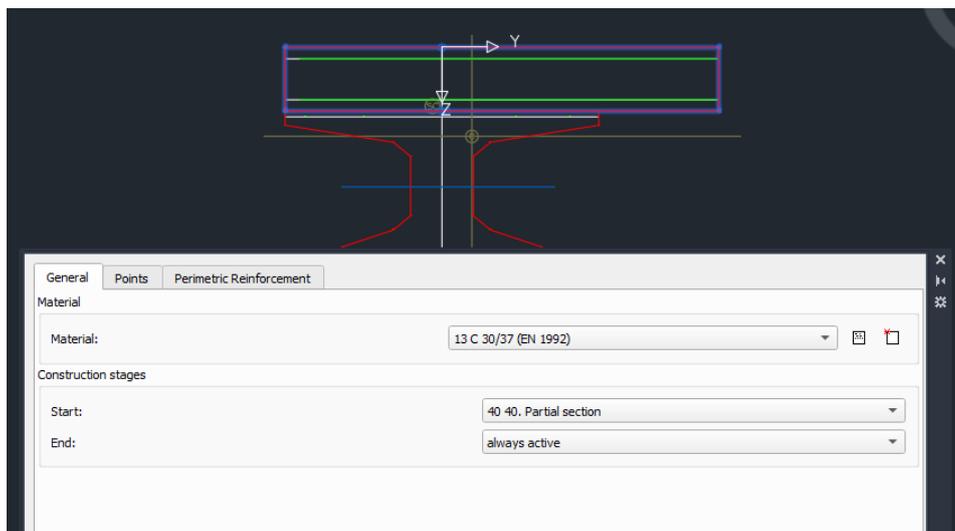


Figura 2A.25. Boundary: hormigón en losa

De la misma forma creamos la sección de la viga:

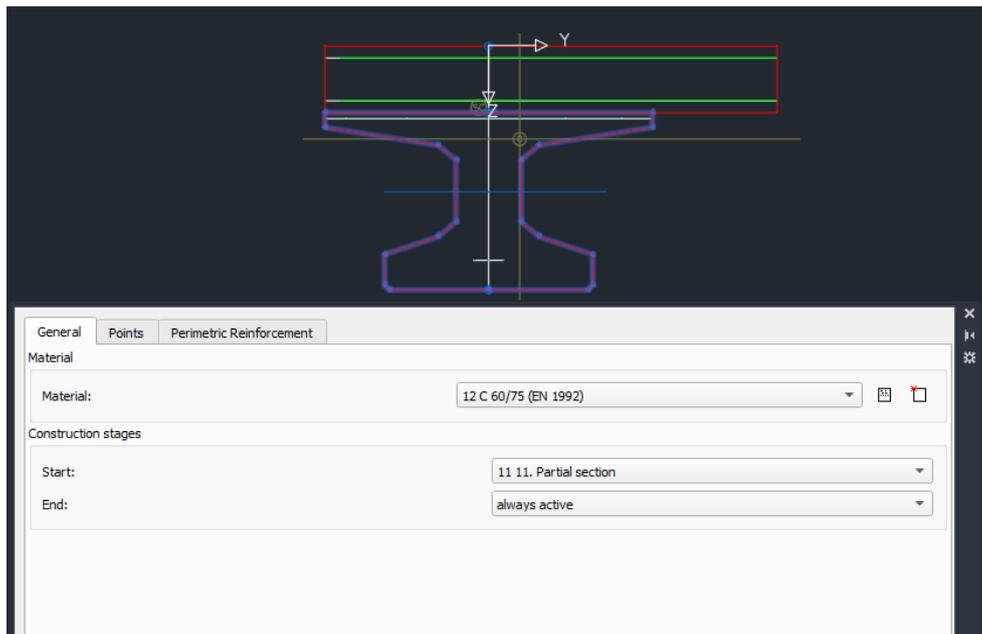


Figura 2A.26. Boundary: hormigón en viga

Line reinforcement: Con esta orden dibujamos las dos líneas verdes de la Figura 2A.27, dándoles las propiedades en la ventana emergente que se indican en dicha figura.

Par la línea superior: (primero se introducen los datos y luego se dibuja la línea pinchando sobre la plantilla de AutoCad.

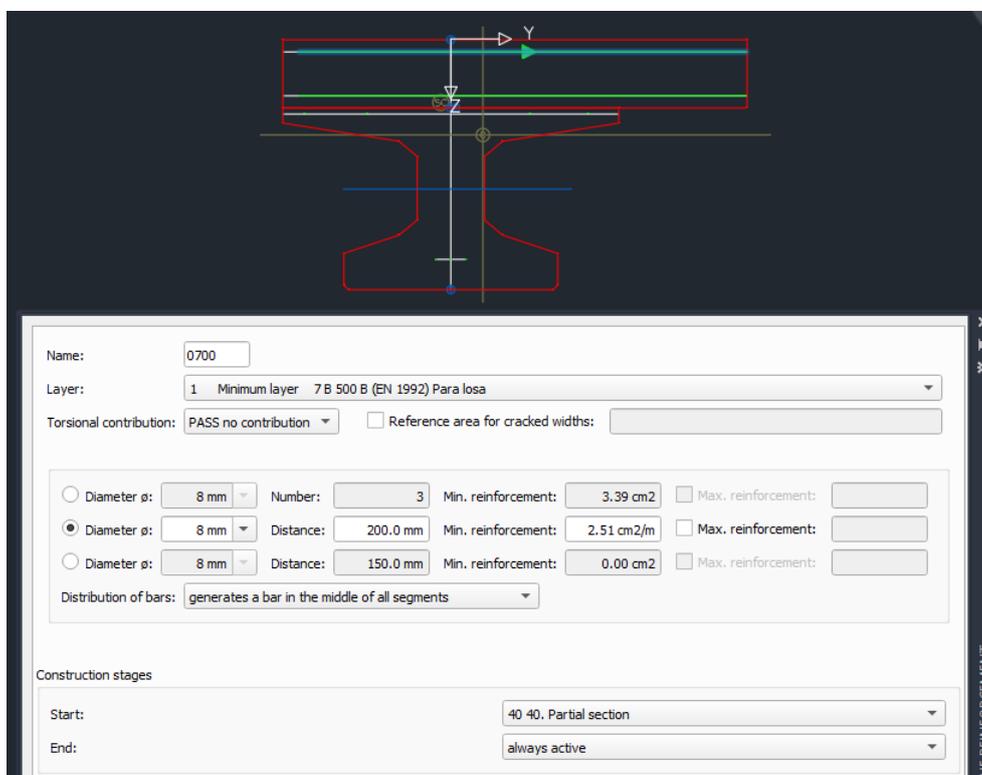


Figura 2A.27. Line reinforcement: refuerzo línea superior en losa

Par la línea inferior:

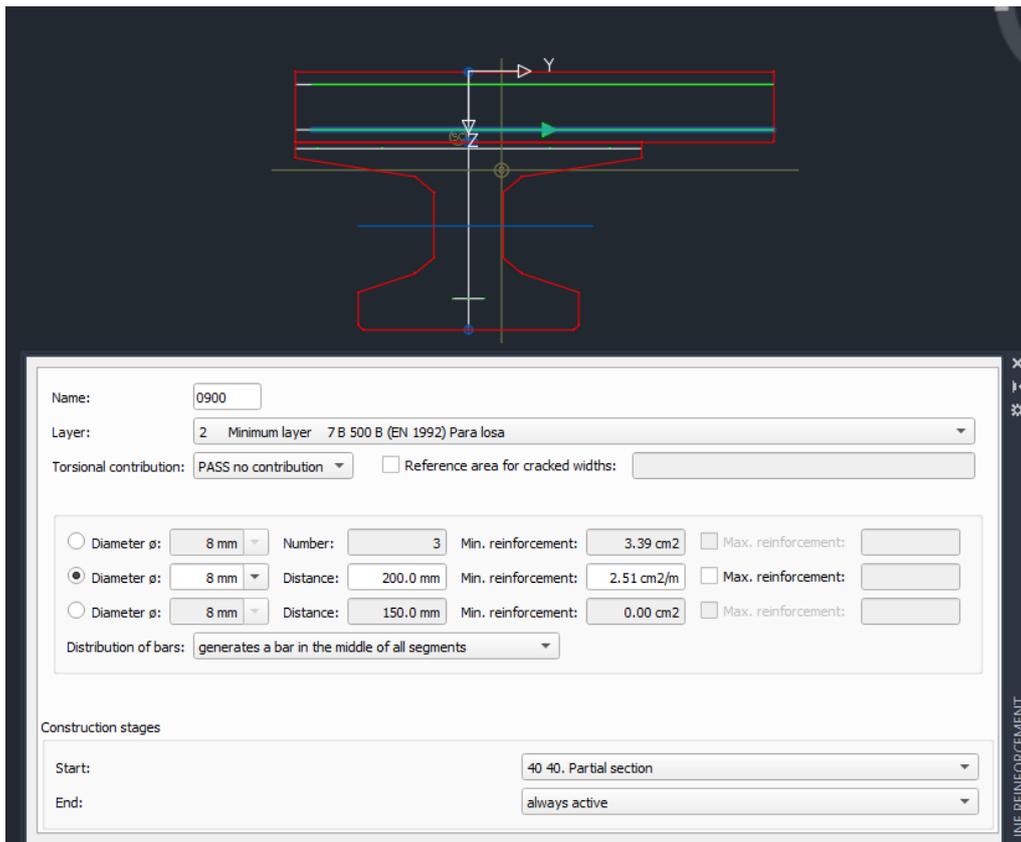


Figura 2A.28. Line reinforcement: refuerzo línea inferior en losa

Single reinforcement: Ahora introducimos 4 redondos de 6 mm de diámetro en la capa 3 y en la posición que se indica en la Figura 2A.29 y en las fases de construcción indicadas:

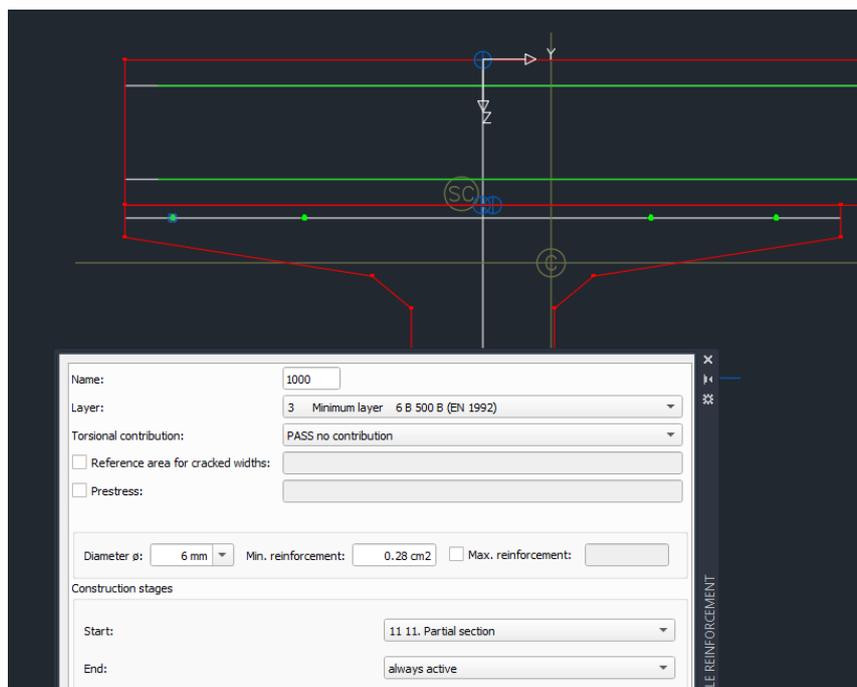


Figura 2A.29. Single reinforcement: refuerzo superior en viga

Por último, metemos 3 redondos del doce en la capa 4:

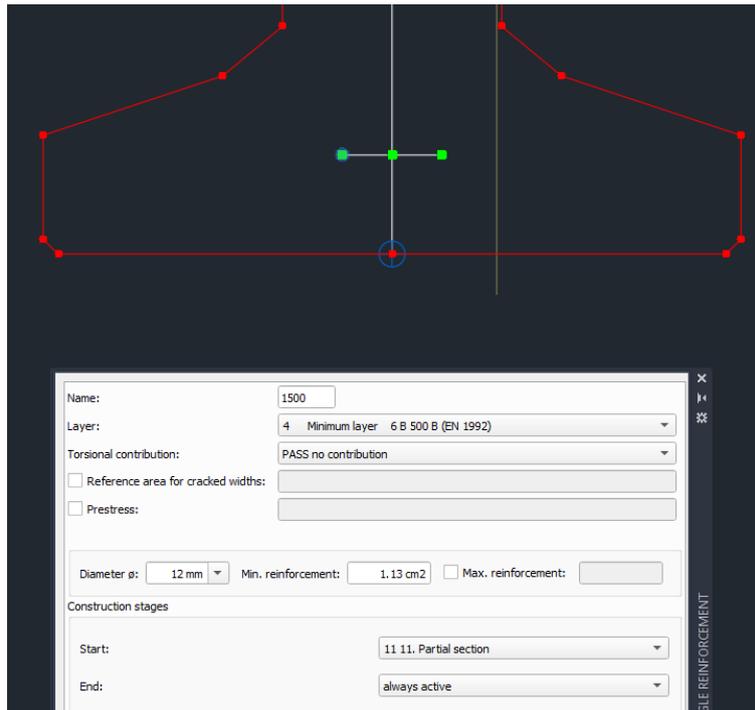


Figura 2A.30. Single reinforcement: refuerzo inferior en viga

Una vez hecho esto, calculamos la sección y cerramos el editor de secciones.

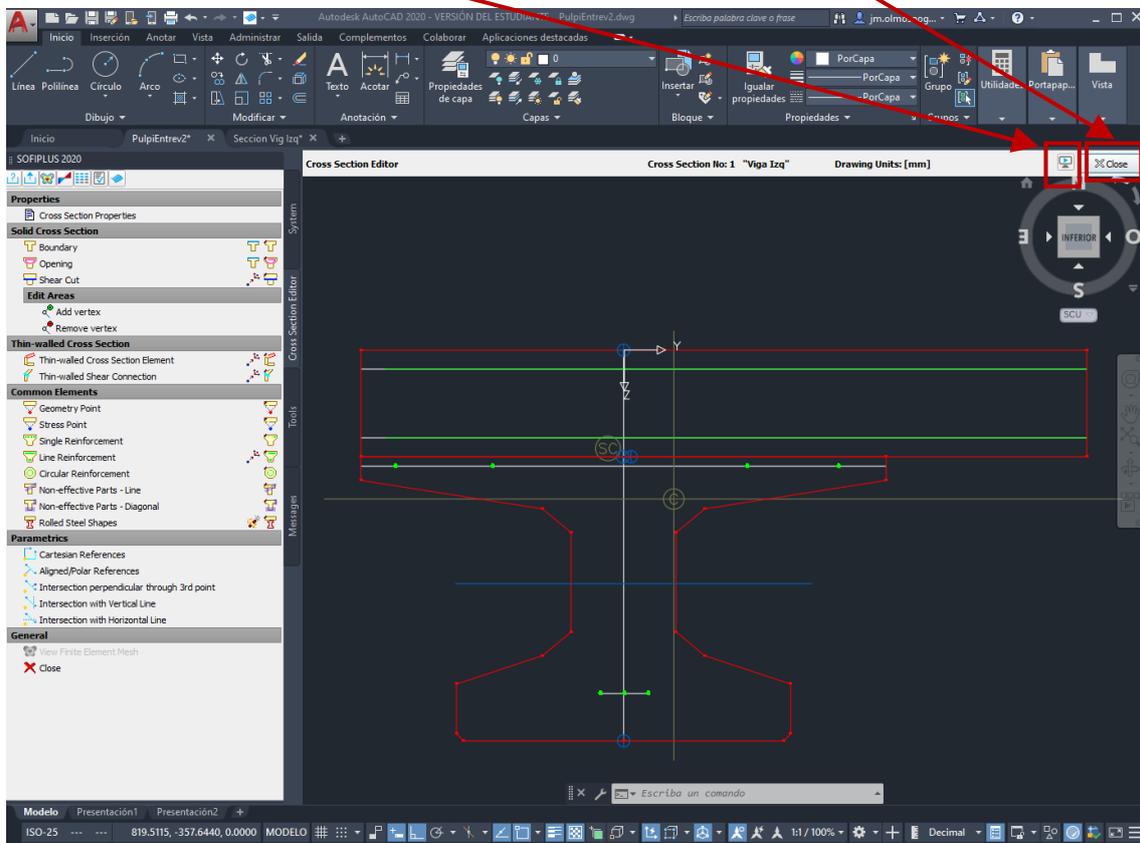


Figura 2A.31. Ícono de cálculo de sección

Repitiendo el proceso, creamos las secciones 2 *Viga Central* y 3 *Viga Der* de la siguiente lista:

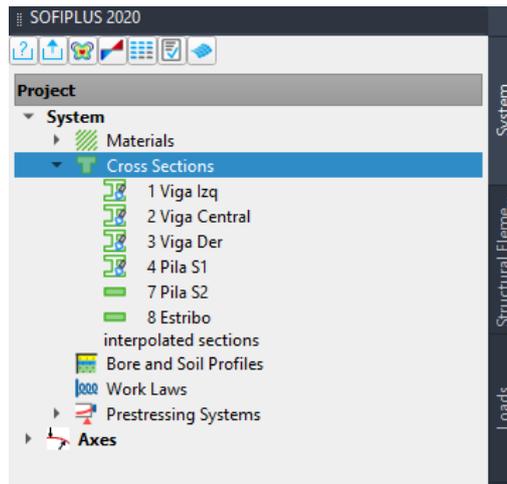


Figura 2A.32. Navegador de proyectos, secciones por crear

Para ello, repetiremos los pasos que hemos seguido para crear la sección 1 Viga Izq. y utilizaremos los archivos *Viga Central.dwg*, *Viga Der.dwg* y *Pila S1.dwg*.

Para la armadura de la sección Pila S1 colocamos muy poco armado de la siguiente forma, para que luego SOFiSTiK calcule el necesario.

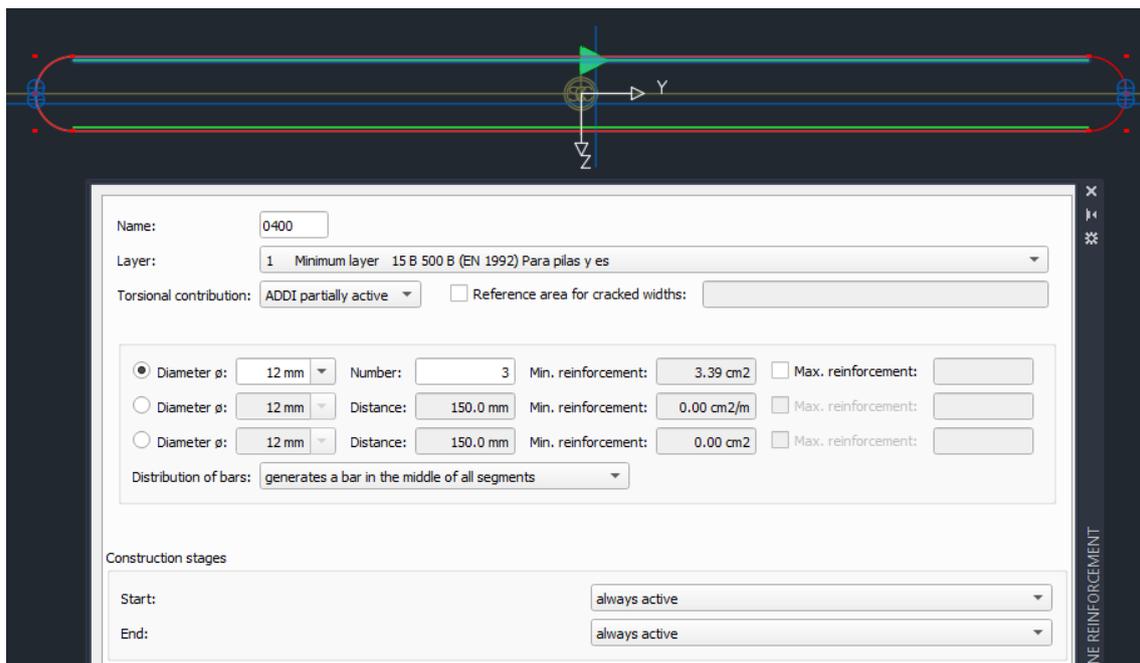


Figura 2A.33. Armado en Pila S1

Para crear las secciones Pila S2 y Estribo, pinchamos en *Cross Sections* con el botón derecho de ratón y vamos a *New Standard Section > Wall Sections*. Completamos la información de las siguientes ventanas:

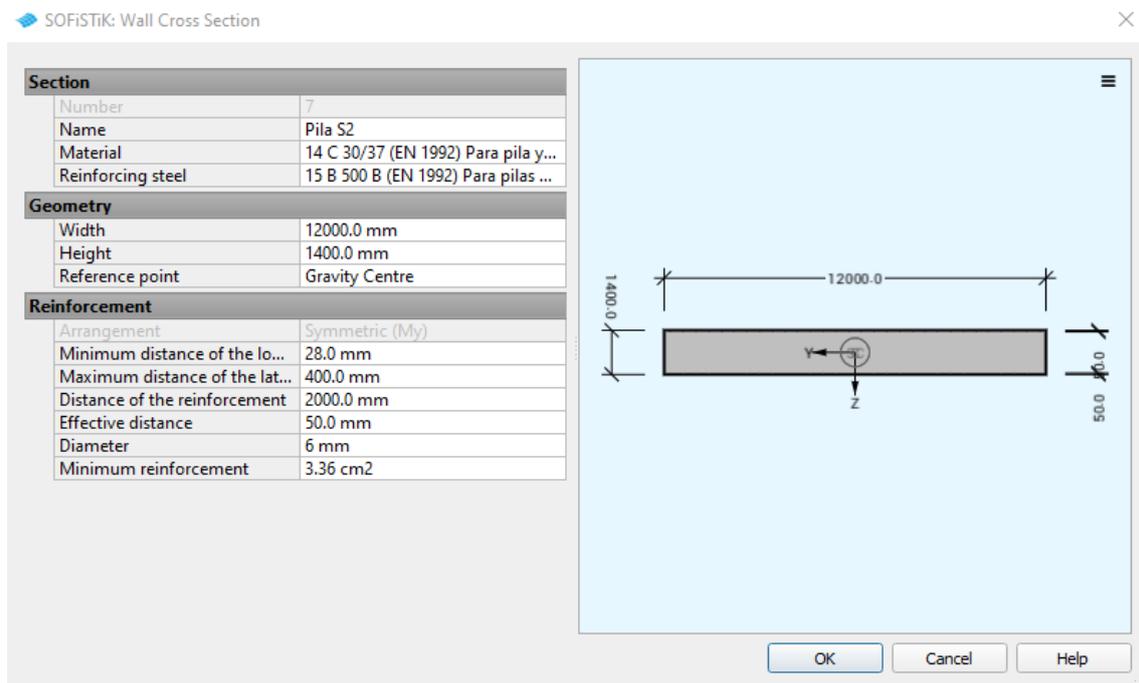


Figura 2A.34. Wall Cross Section (Pila S2)

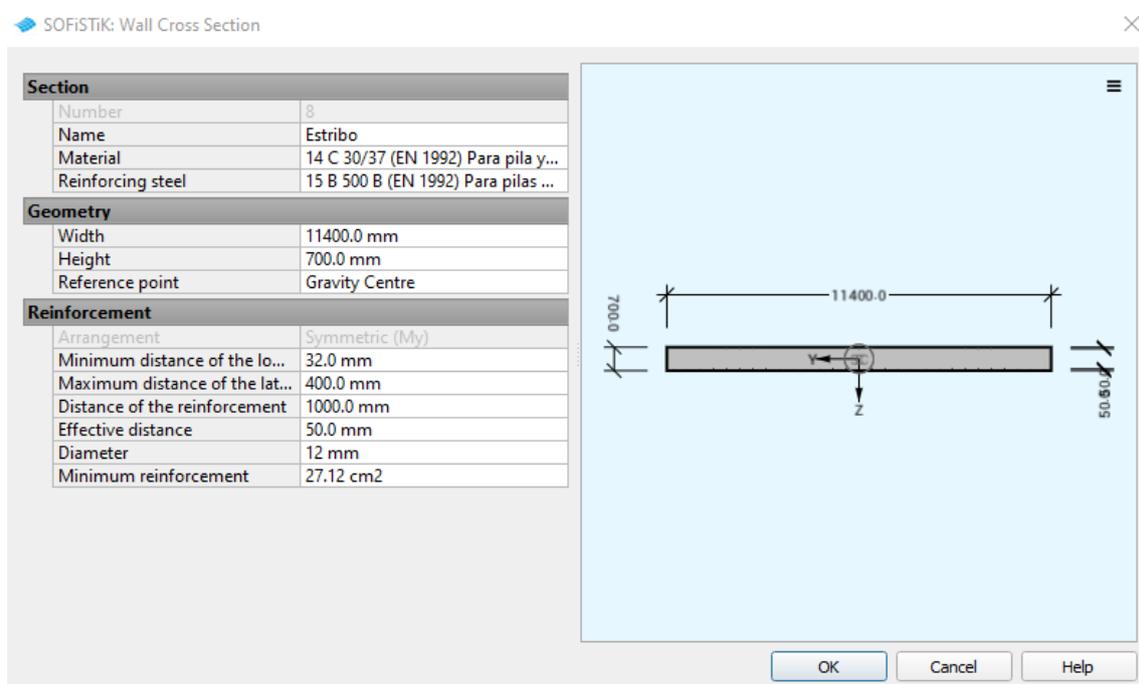


Figura 2A.35. Wall Cross Section (Estribo)

Ejercicio 2B

Eje del puente

B. RESOLUCIÓN

Para la creación de un eje, vamos a *Axes > New axis* y asignamos un nombre, en este caso, escribimos EJE 1.

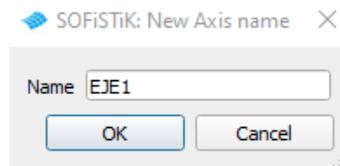


Figura 2B.1. Creación de un eje

Nos aparece el eje en la paleta de SOFIPLUS con los siguientes apartados:

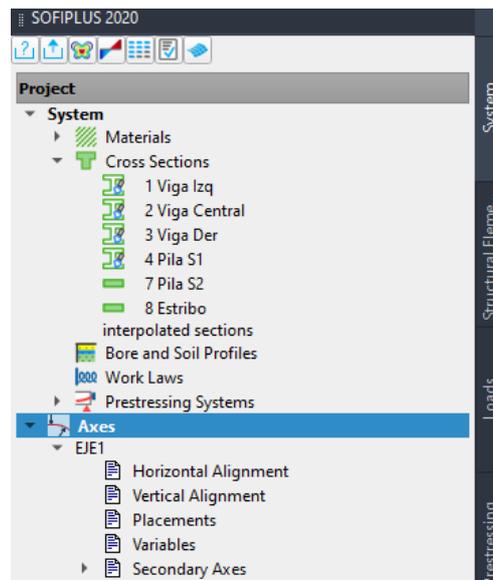


Figura 2B.2. Eje creado en el Navegador de Proyectos

En *Horizontal Alignment*, completamos lo siguiente:

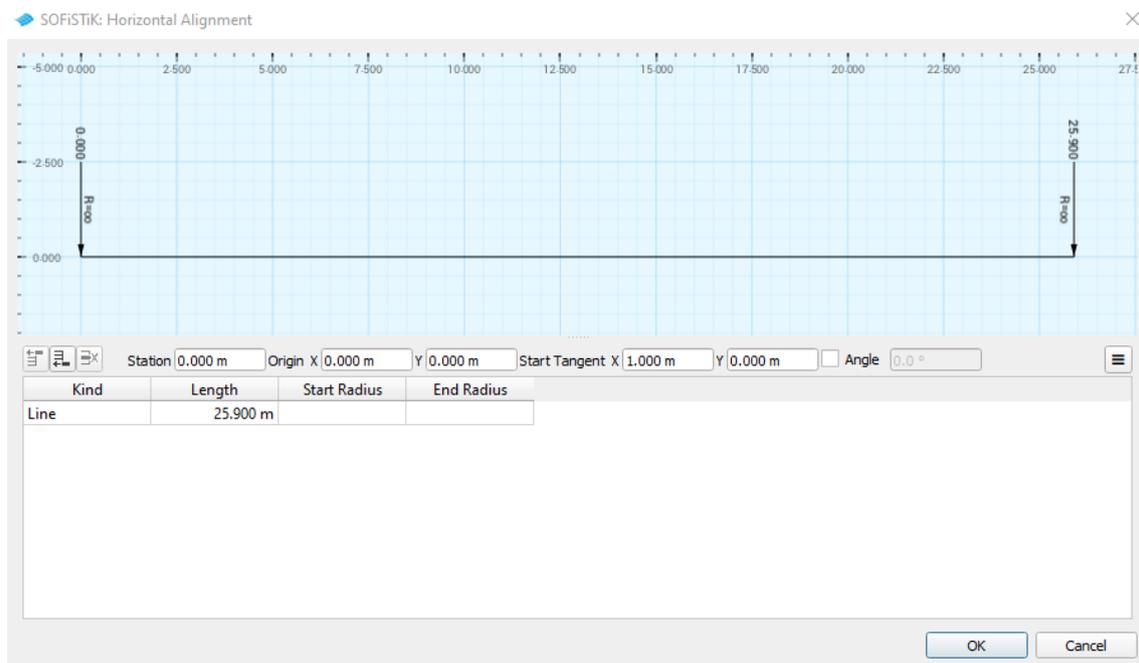


Figura 2B.3. Horizontal Alignment, datos de EJE 1

En *Vertical Alignment*:

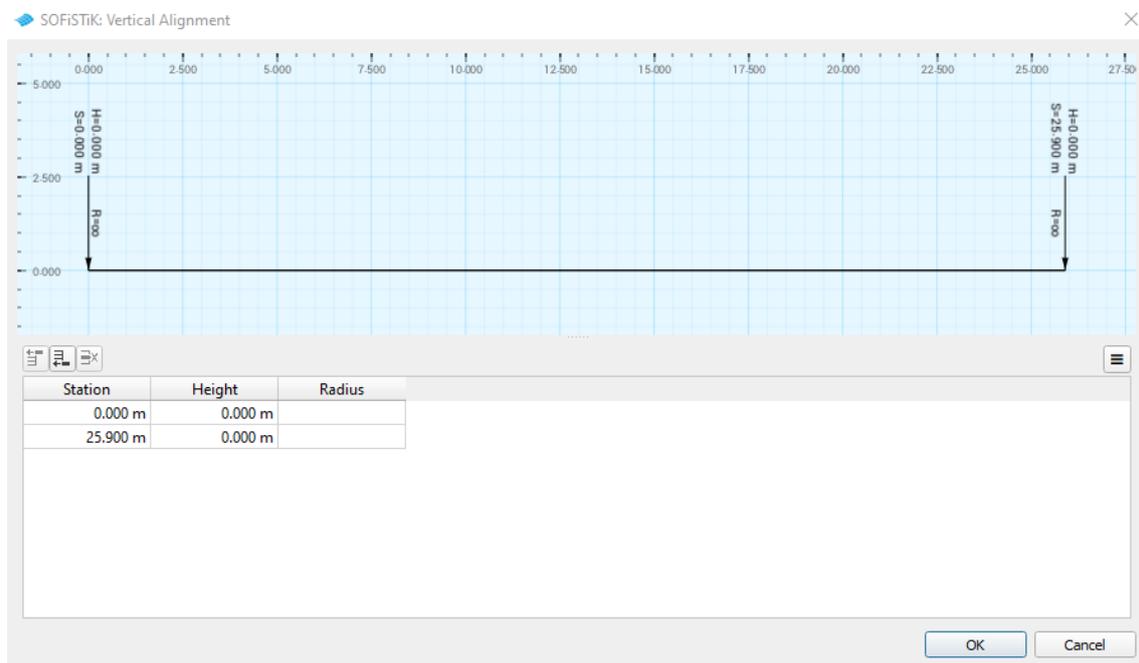


Figura 2B.4. Vertical Alignment, datos de EJE 1

En *Placements*:

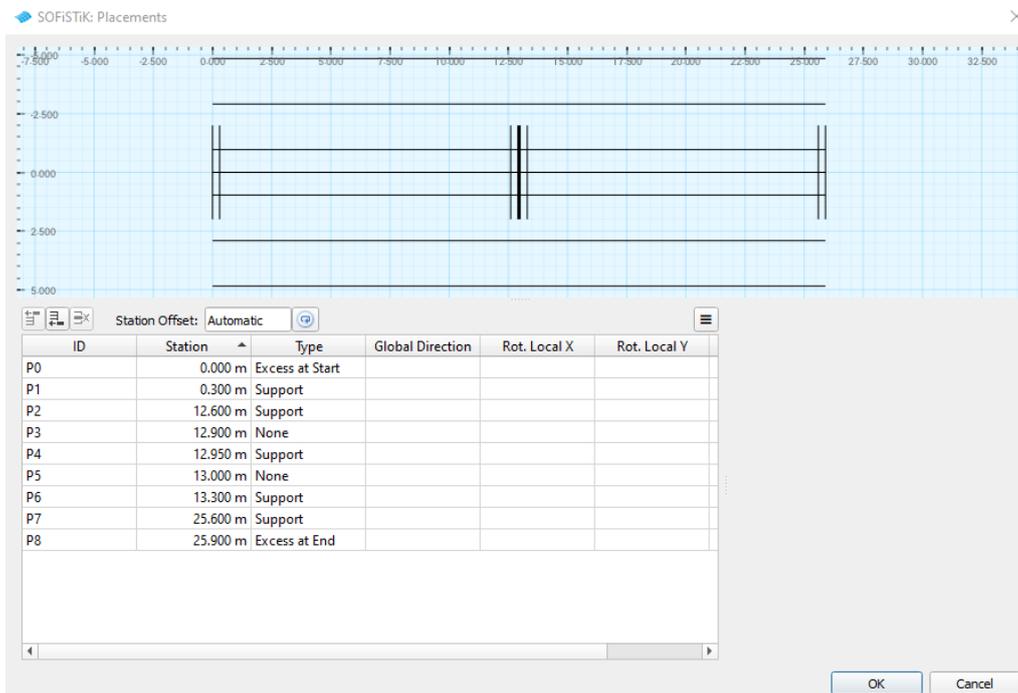


Figura 2B.5. Placements. Datos de EJE 1

En *Secondary Axes*, pinchamos con el botón derecho del ratón y seleccionamos *Create with offset*. De esta manera creamos 6 ejes secundarios y los nombramos con las letras de la A a la F.

Los offset de estos ejes son:

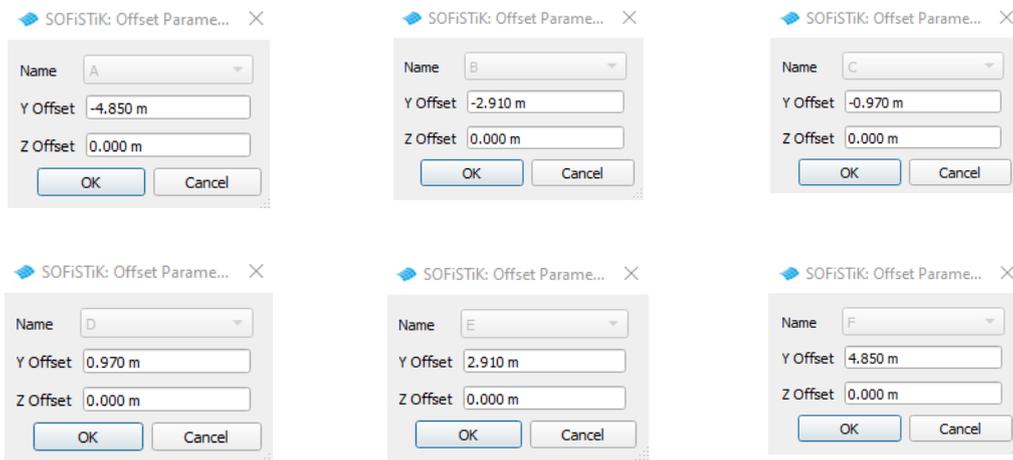


Figura 2B.6. Ejes secundarios con sus respectivos Offsets

Tendremos nuestros ejes definidos. En pantalla veremos:

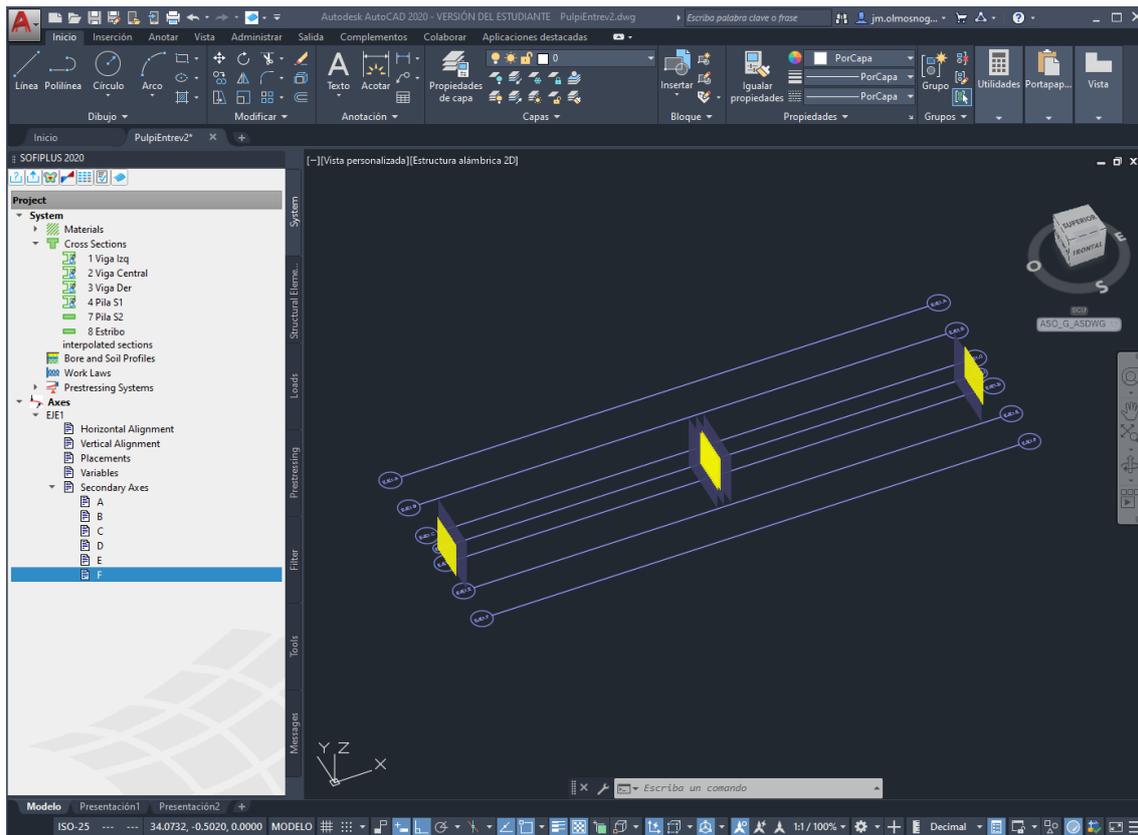


Figura 2B.7. Ejes secundarios definidos

Ejercicio 2C

Elementos estructurales del tablero

C. RESOLUCIÓN

C.1. Structural lines

Antes de nada, vamos a cargar un bloque de AutoCad con unas líneas de referencia que nos ayudarán a introducir los elementos estructurales viga. En Aula Virtual tenéis un dwg que se llama *Ref Structural Line.dwg*. Para cargar este archivo vamos a la pestaña de SOFIPLUS(-X) (AutoCad) Inserción. **Inserción > Bloque > Insertar > Bloques de otros dibujos.**

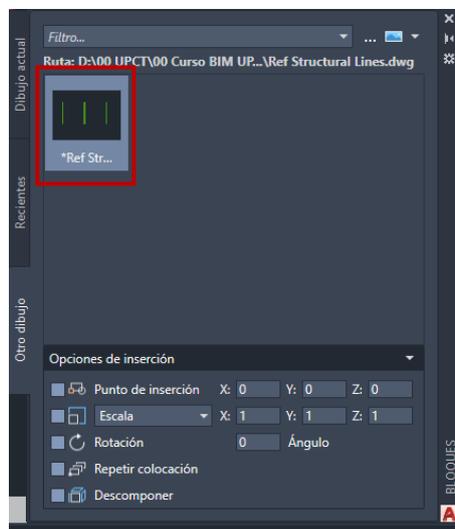


Figura 2C.1. Inserción de bloque

Ponemos las opciones como se indica en la figura anterior y pinchamos en el bloque remarcado. Se insertarán las líneas de referencia en nuestro modelo. Tendremos las líneas verdes en pantalla.

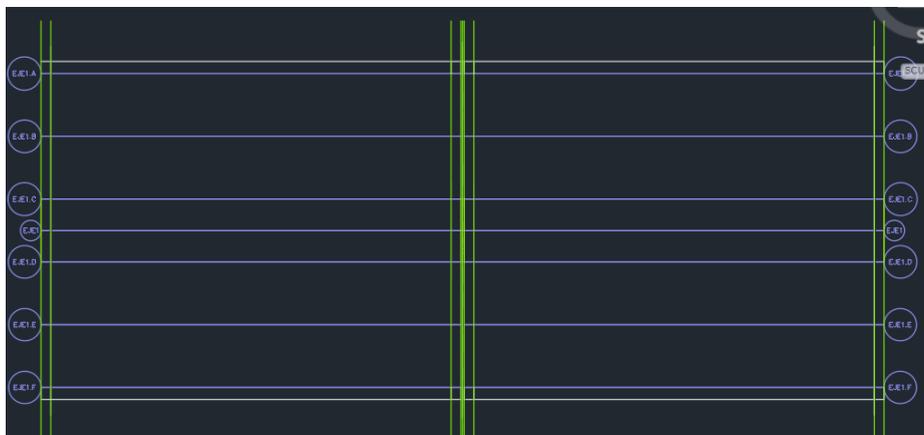


Figura 2C.2. Líneas de referencia en el modelo

A continuación, se crea los elementos estructurales vigas. Vamos a la pestaña de *Structural Elements* de la paleta de SOFIPLUS.

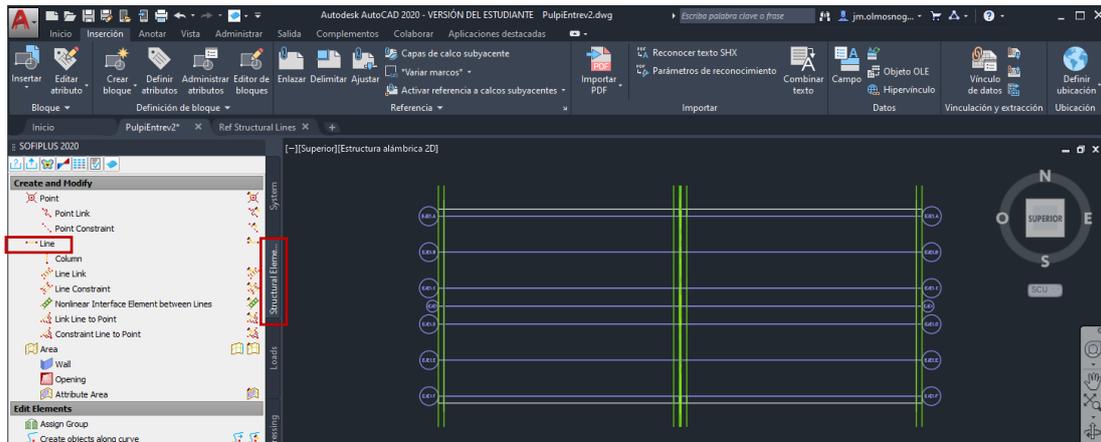


Figura 2C.3. Pestaña *Structural Elements* y comando *Line* resaltados

Doble click en el comando *Line*. Se abre esta ventana:



Figura 2C.4. Ventana *Line* > *General* (Viga Izq)

Para las vigas del tablero vamos a utilizar el Grupo nº 100. En la pestaña *Beam/Cable*:

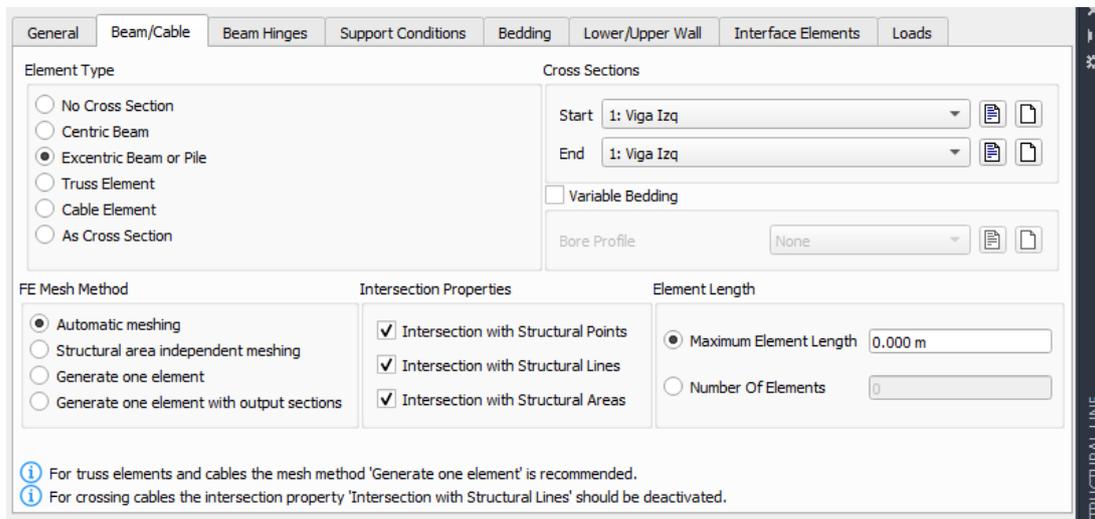


Figura 2C.5. Ventana *Line* > *Beam/Cable* (Viga Izq)

Seleccionamos la *Viga Izq* en *Cross Sections* y, *Excentric Beam or Pile* como *Element Type*. Una vez hecho esto, tenemos que dibujar la viga izquierda del tablero sobre el EJE1.A. Para ello, vamos dibujando las barras por trozos sobre el EJE1.A.

Entre los *Placement* P3 y P5 no dibujamos segmentos de la viga.

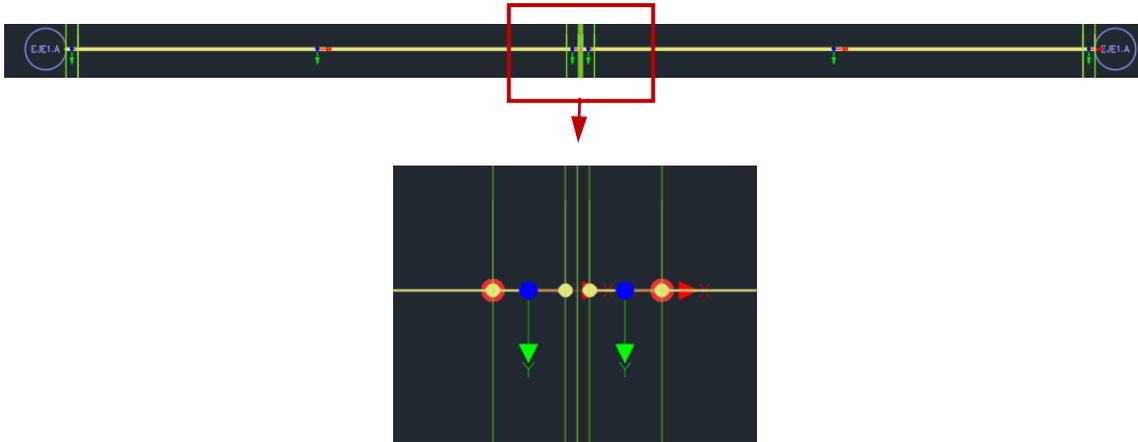


Figura 2C.6. Ampliación entre los Placement P3 y P5

Repitiendo la operación y colocando las secciones *Viga Central* y *Viga Der* donde corresponda, completamos las vigas del tablero.

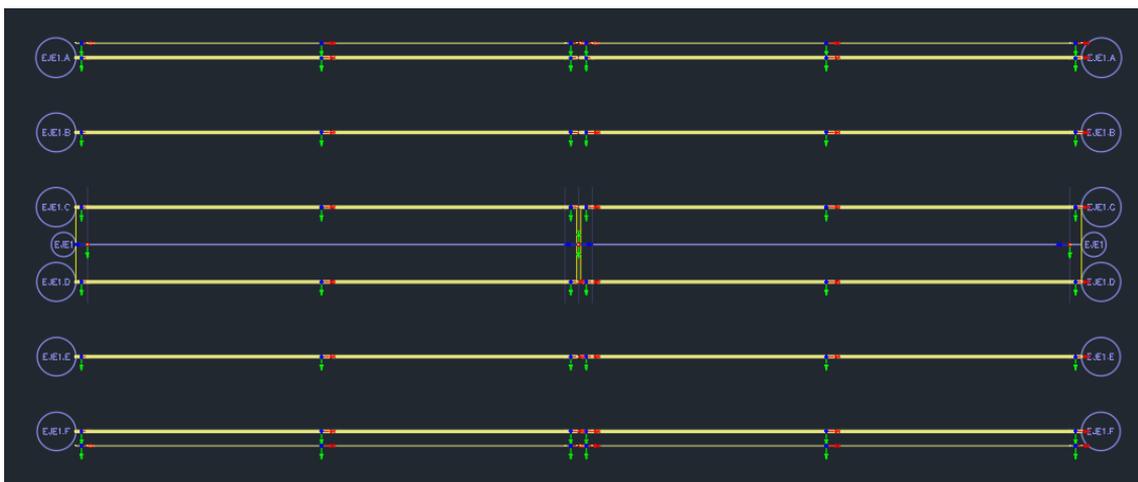


Figura 2C.7. Vigas totales sobre el tablero

Fijaros que, en los bordes del tablero, a una distancia de 37.5 cm de las vigas izquierda y derecha respectivamente, y a cota cero, se han colocado unas vigas no estructurales, que se ven en la figura anterior con menos grosor. Para dibujar estas vigas primero dibujamos líneas en AutoCad que nos sirvan de referencia. Estas líneas, se muestran en la siguiente figura en color blanco.



Figura 2C.8. Líneas de referencia

Para introducir estas vigas no estructurales, doble click en el comando *Line* y:

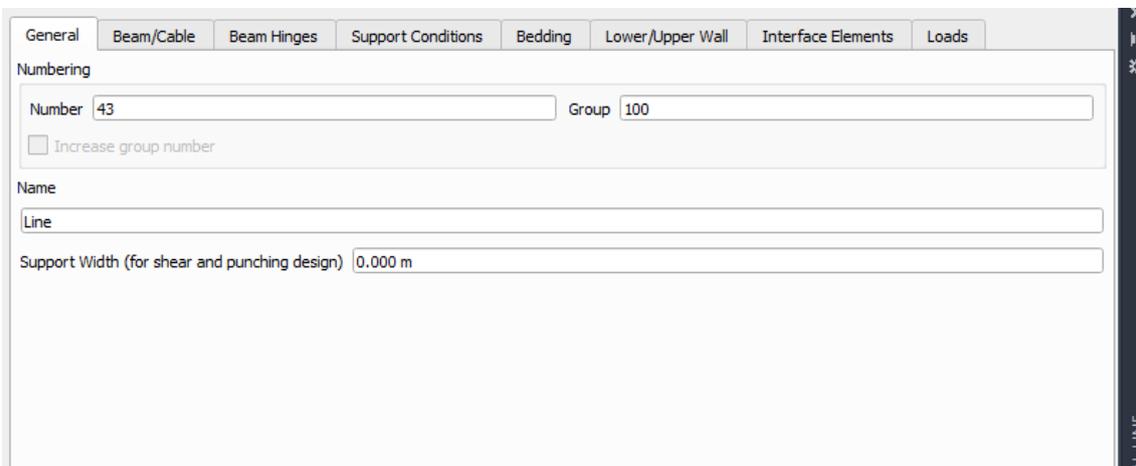


Figura 2C.9. Ventana Line > General (Viga no estructural)

De nuevo grupo 100, y seleccionamos no *Cross Section* en la pestaña de *Beam/Cable*:

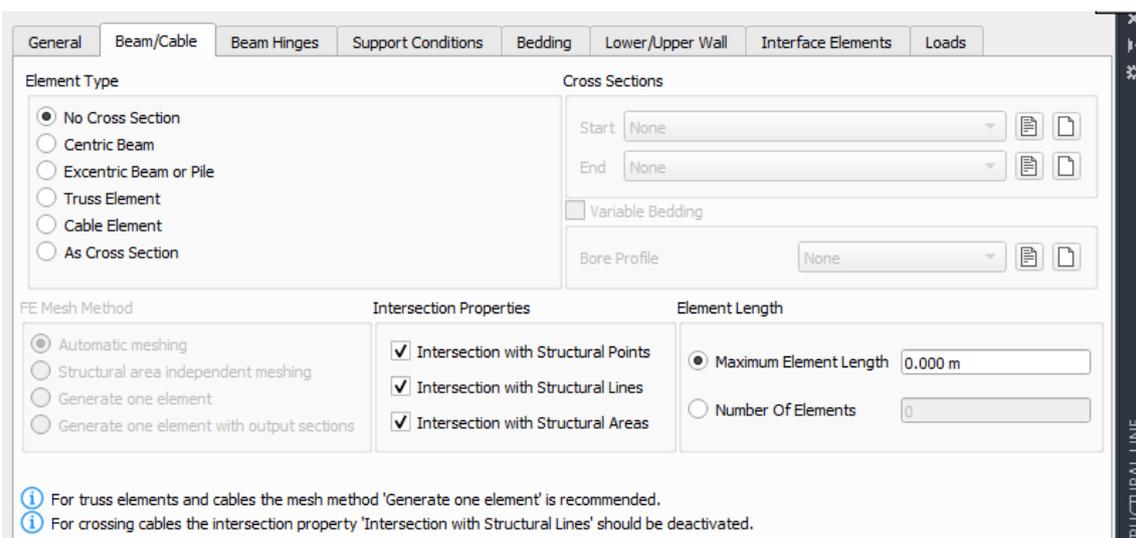


Figura 2C.10. Ventana Line > Beam/Cable (Viga no estructural)

A continuación, introducimos la viga dibujando una línea sobre las líneas blancas de AutoCad. Ídem para la viga no estructural del otro borde del tablero.

C.2. Structural areas

Ahora vamos a introducir la losa superior del tablero mediante dos elementos Área:

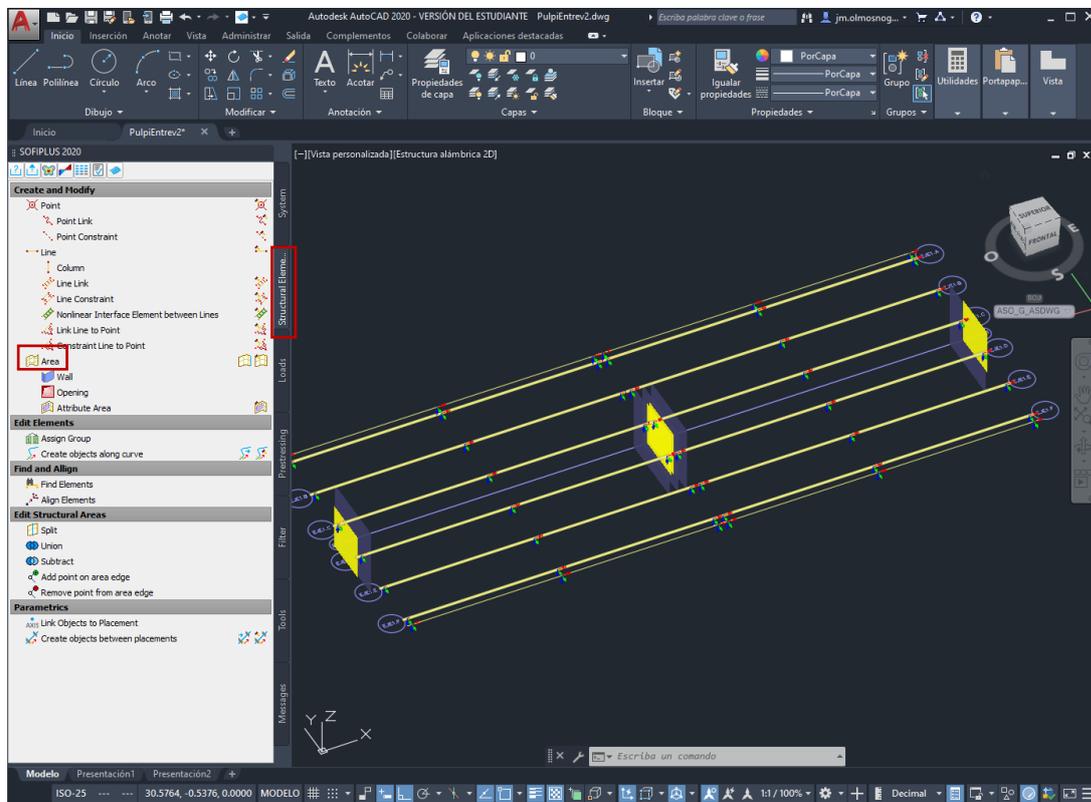


Figura 2C.11. Pestaña Structural Elements y comando Area resaltados

Doble click en el comando Área:

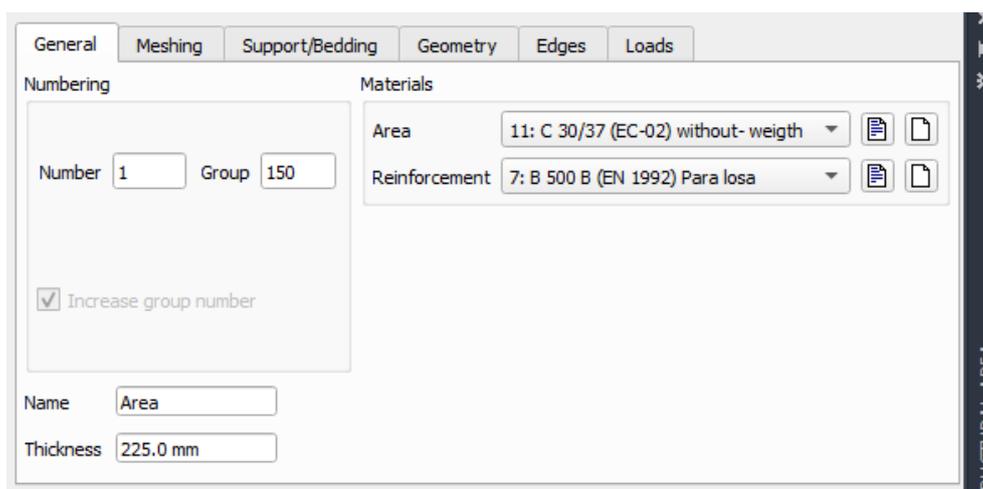


Figura 2C.12. Ventana Area > General (Losa lzq)

En la ventana anterior ponemos el grupo 150 y el material de hormigón, el C30/37, que no tiene peso propio y, el acero de armar para losa.

En la pestaña de *Geometry*, sección *Element Alignment*, elegimos *positive local z*:

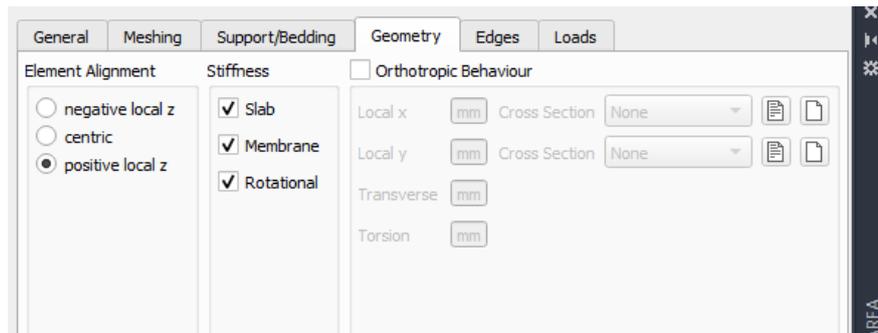


Figura 2C.13. Ventana Area > Geometry (Losa Izq)

A continuación, dibujamos los 4 lados de un rectángulo apoyándonos en los extremos de las vigas no estructurales del borde del tablero. Tenemos que dibujar 2 *Structural Areas*, 1 para cada vano. Para dibujar cada área, trazamos los lados siguiendo el sentido de las agujas del reloj.

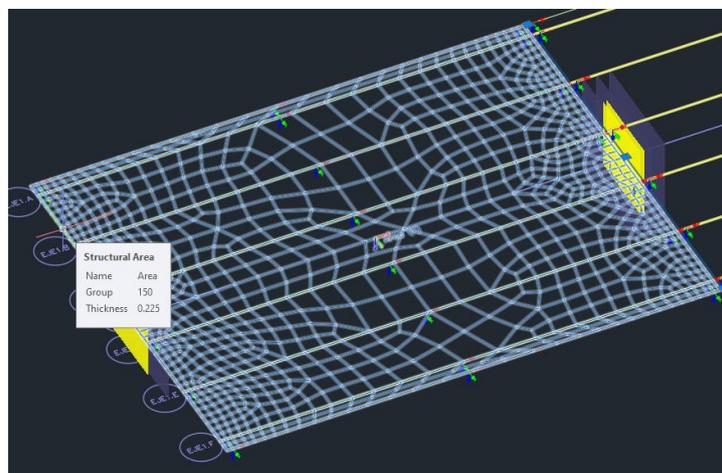


Figura 2C.14. Structural Area: Losa en vano 1

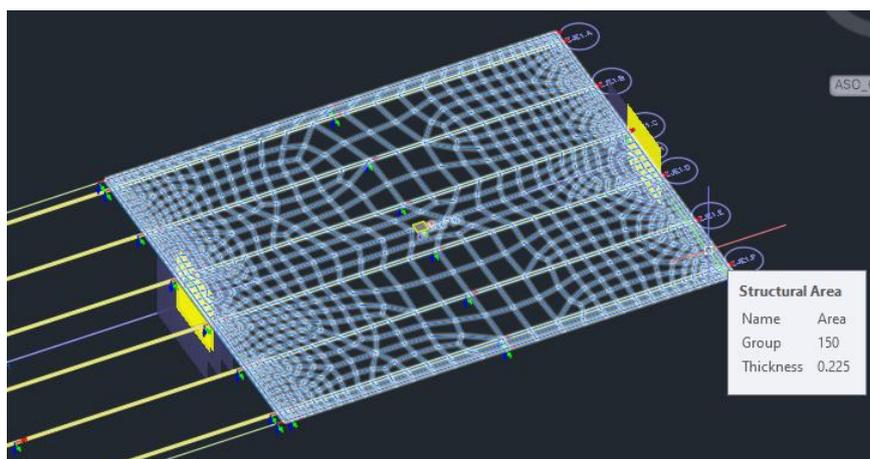


Figura 2C.15. Structural Area: Losa en vano 2

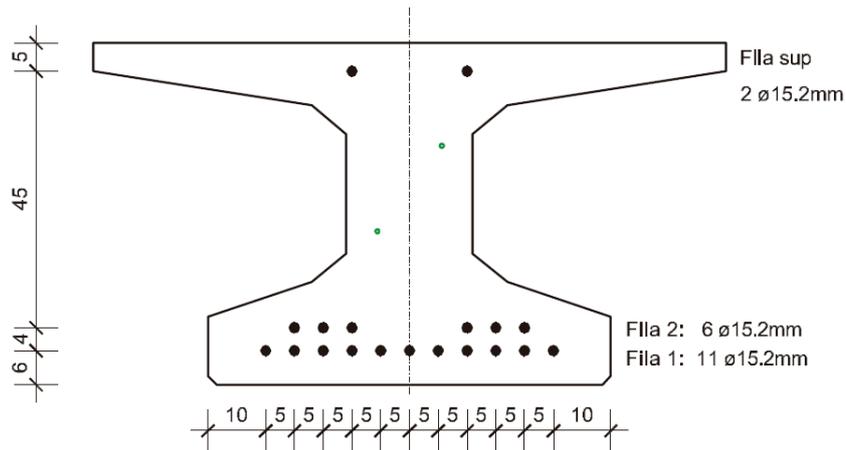
A vosotros todavía no os aparecerá la discretización en E.F de las losas porque todavía no se ha calculado la obra.

Ejercicio 2D

Sistema de pretensado

D. RESOLUCIÓN

D.1. Datos del pretensado (armaduras pretesas):



SECCIÓN A-A ARMADURA ACTIVA

Escala 1:15

Figura 2D.1. Sección de vigas

Tabla 2D.1. Cables envainados por extremos

Uds	Fila	L (cm)
4	2	300
4	1	150

Tabla 2D.2. Cuadro de materiales

HORMIGÓN. Se considera cemento CEM-I en todos los casos.				
MATERIALES	DEFINICION	CONTROL	COEF.	RECUBR.
Viga pretensada	HP-60 / AC / 20 / IIIa+Qb	ESTADISTICO	$\gamma_c = 1.50$	25 mm
Acero paslvo	B-500-SD	$f_y = 500 \text{ MPa}$		$\gamma_s = 1.15$
Acero activo $\phi 15.2 \text{ mm}$ tesado a 190 kN/cable	UNE 36094 Y 1860 S7	$f_y = 1760 \text{ MPa}$ $f_{\text{máx}} = 1860 \text{ MPa}$		$\gamma_p = 1.15$

D.2. Introducción del pretensado en SOFiPLUS

En la pestaña *System* de la paleta de SOFiPLUS, pulsamos con el botón derecho del ratón en *Prestressing System* y seleccionamos *New prestressing system*

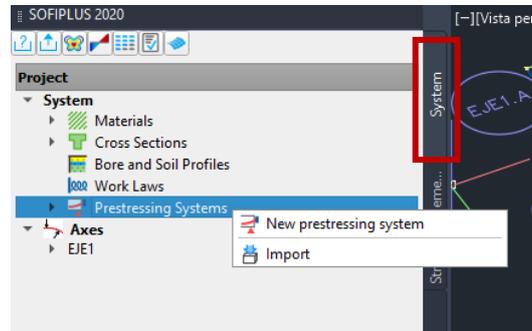


Figura 2D.2. Como ir a introducir pretensado

Entonces, se abre:

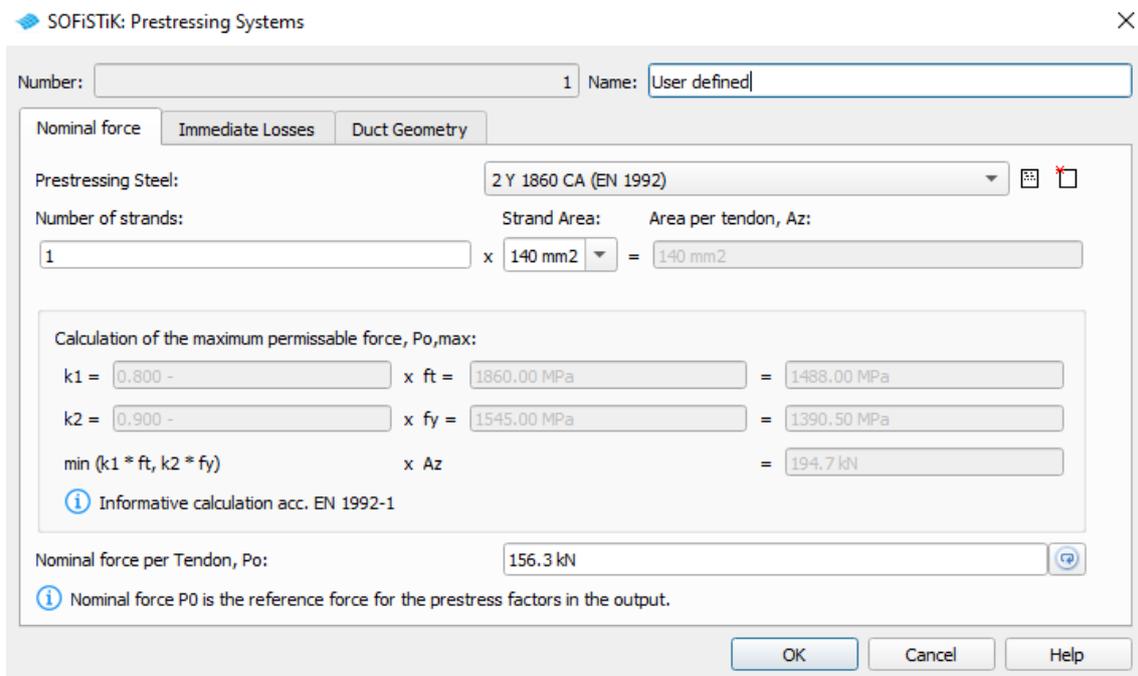


Figura 2D.3. Ventana *Prestressing Systems* > *Nominal force* (EJE1.F)

Completamos la información como se indica en la figura anterior. De los 190 kN por cordón, se ha introducido 156.3 kN tras descontar las pérdidas por penetración de cuñas y las pérdidas iniciales de pretensado por calefacción y relajación de los cables antes de que se produzca la transferencia al cortarlos en la bancada de pretensado.

En la pestaña de *Immediate Losses*:

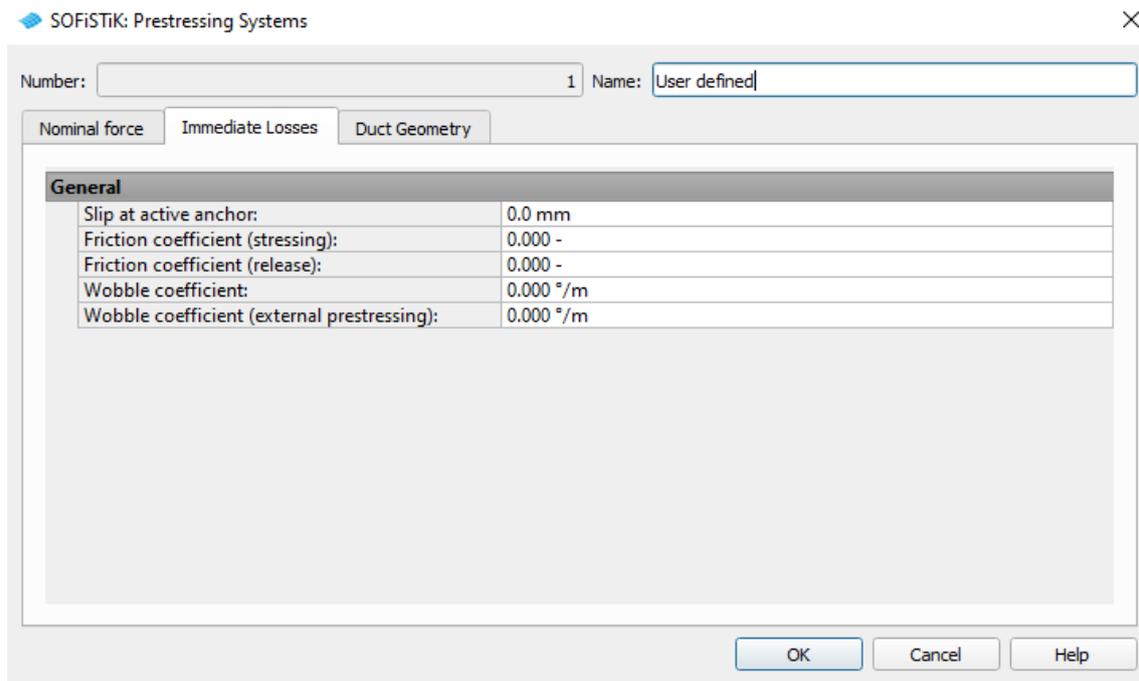


Figura 2D.4. Ventana Prestressing Systems > Immediate Losses (EJE1.F)

Ponemos todo cero porque no se trata de armadura postesa y las pérdidas iniciales ya las hemos descontado en la fuerza de pretensado.

En la pestaña de *Duct geometry*:

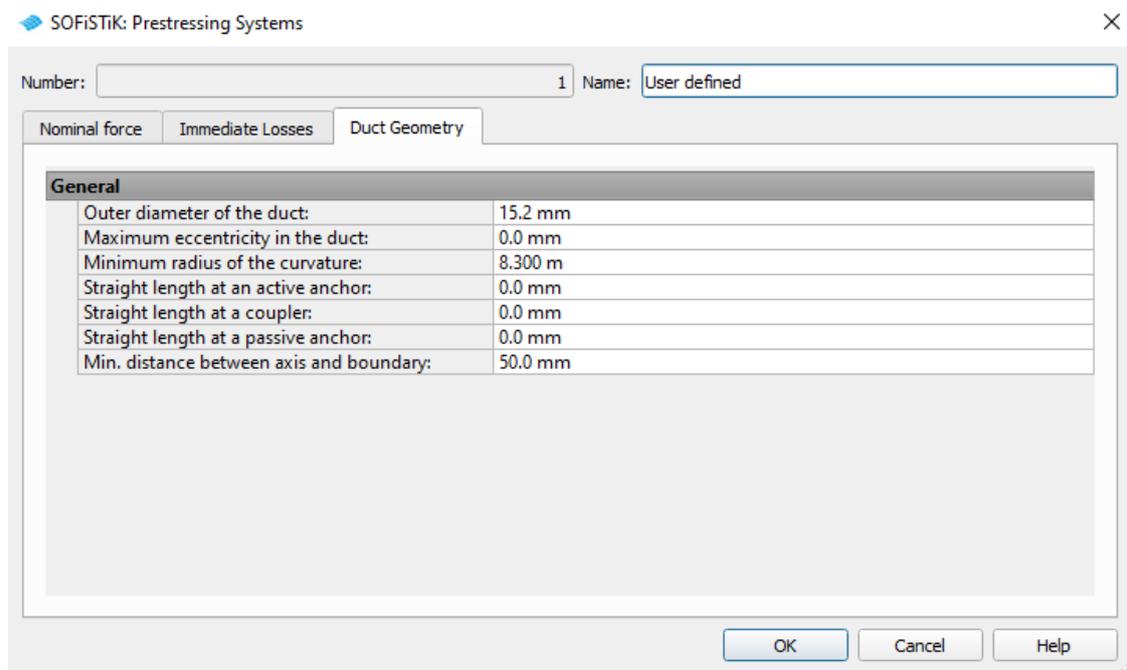


Figura 2D.5. Ventana Prestressing Systems > Duct Geometry (EJE1.F)

Y aceptamos.

Definimos ahora el caso de carga (*LoadCase*) del pretensado. Para ello, en el área de SOFiPLUS nos dirigimos a la pestaña *Loads > LoadCase Manager > LoadCases* y se abre la siguiente ventana:

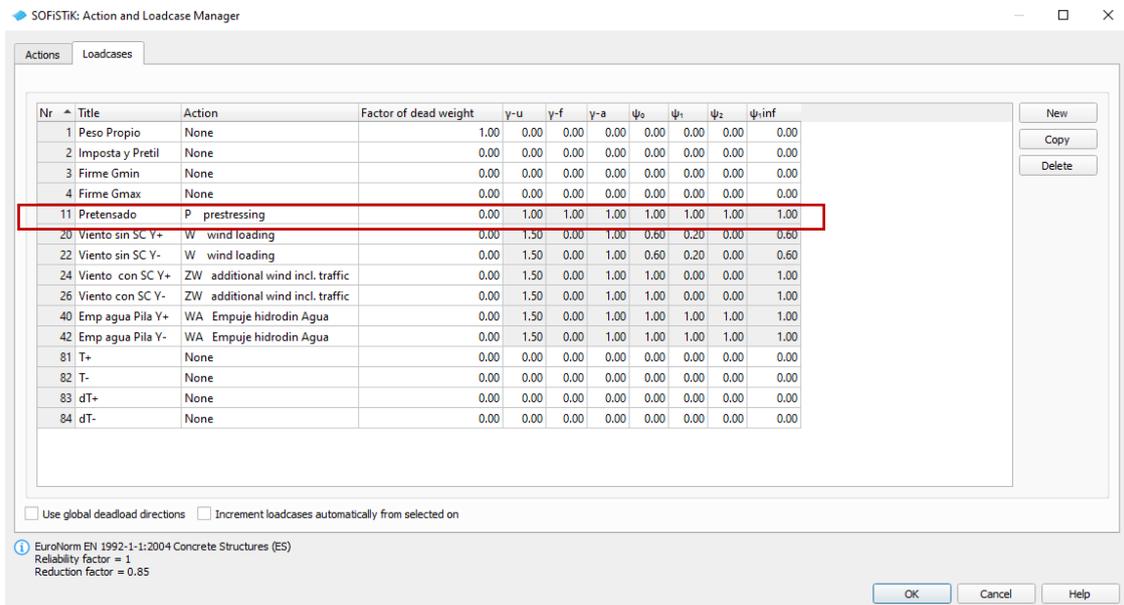


Figura 2D.6. Ventana Action and Loadcase Manager > Loadcases. Carga de pretensado creada

En ella, de momento solo creamos (con *New*) el caso de carga número 11. De título “Pretensado” y tipo de acción *P prestressing*.

Una vez creado el sistema de pretensado y su caso de carga, vamos a trazar los cordones en cada viga. Para ello vamos a la pestaña de *Prestressing* en la paleta de SOFiPLUS.

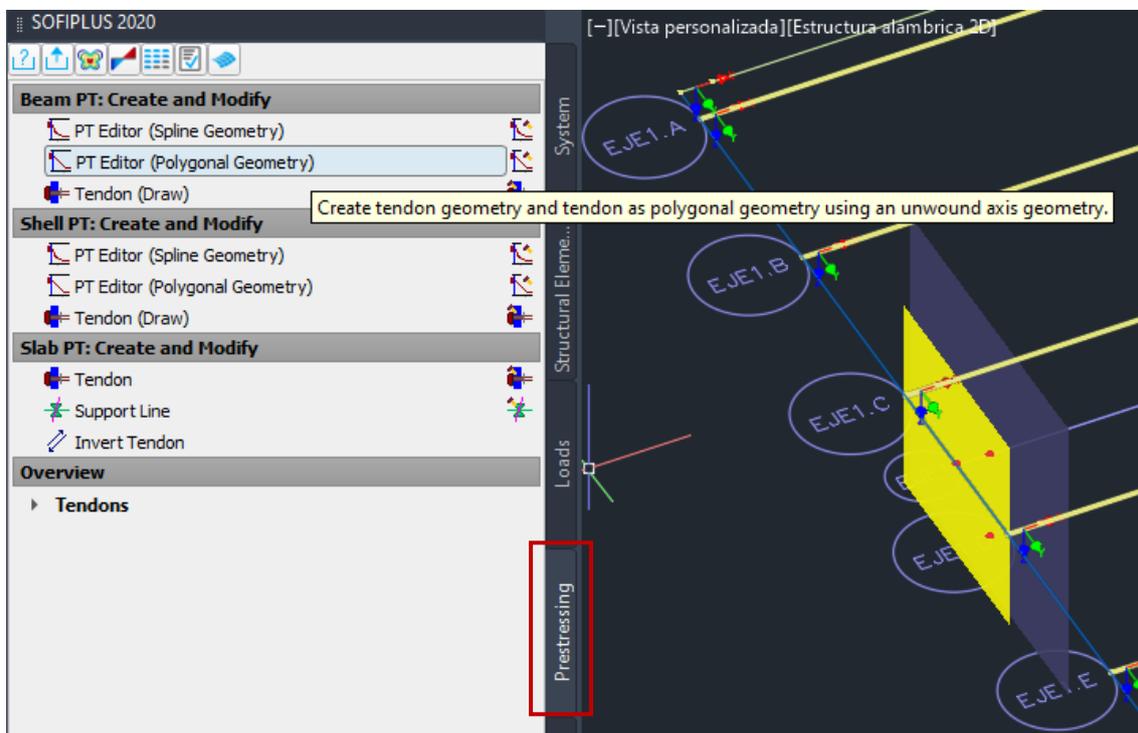


Figura 2D.7. Pestaña Prestressing resaltada

Seleccionamos *PT Editor (Poligonal Geometry)*:

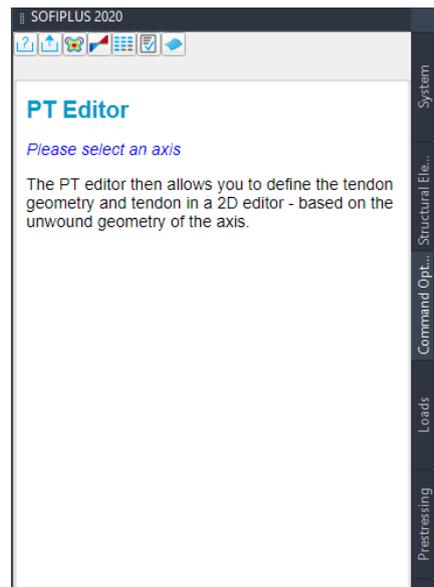


Figura 2D.8. PT Editor

Nos pide que seleccionemos un eje. Elegimos el EJE1.F y se abre la siguiente ventana:

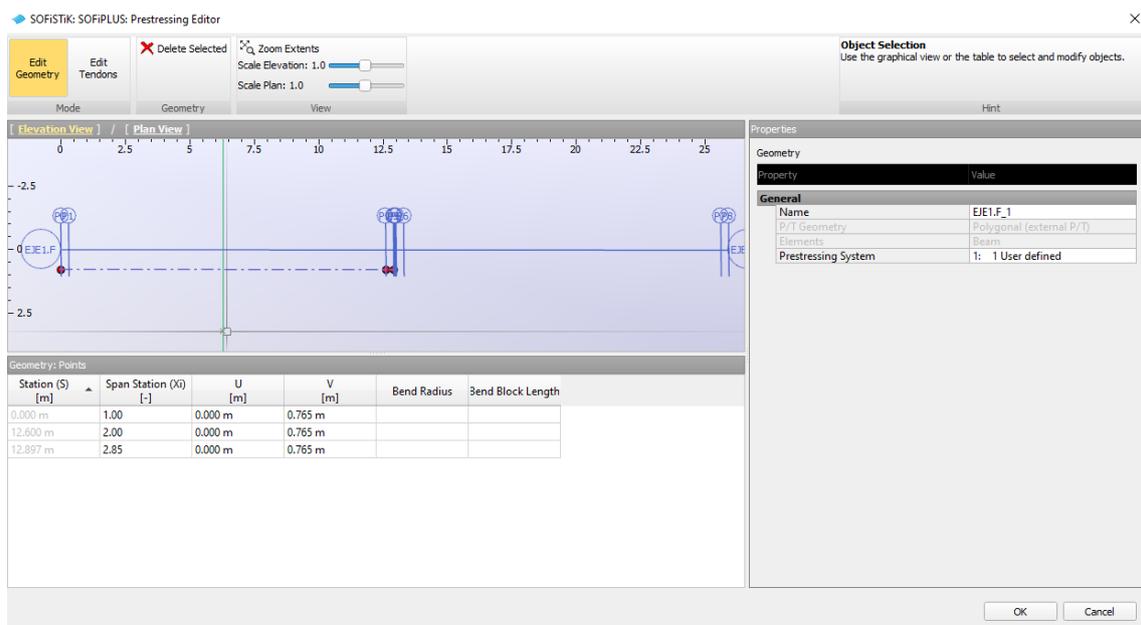


Figura 2D.9. Ventana Prestressing Editor > Edit Geometry (EJE1.F, vano 1)

Introducimos los puntos con (*Span Station (Xi)*). Con esto, definimos puntos respecto a los *Placements* y las coordenadas del cordón en esos puntos (*U, V*). Bueno, en este caso, el cable es recto.

En la pestaña *Edit Tendons*:

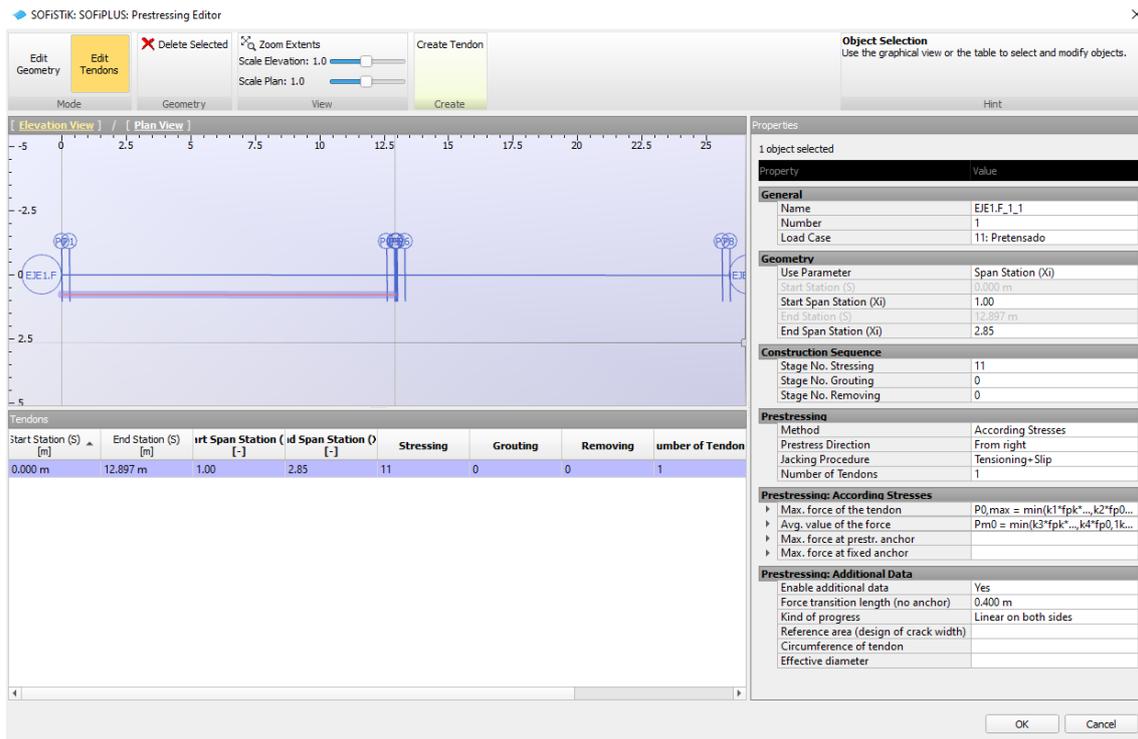


Figura 2D.10. Ventana Prestressing Editor > Edit Tendons (EJE1.F, vano 1)

Aceptamos.

Con los datos introducidos, tenemos colocado el cordón indicado en la Figura 2D.11 en la primera viga (la del vano 1) del EJE1.F.

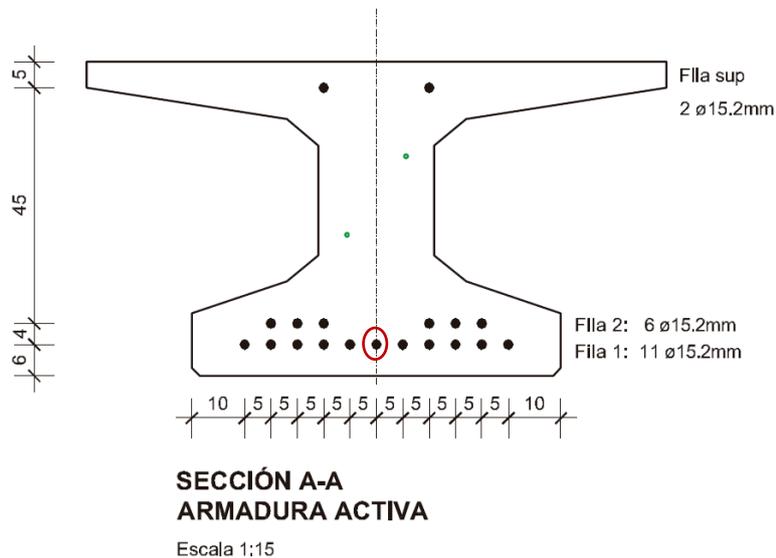


Figura 2D.11. Cordón introducido en viga del EJE1.F, vano 1

Está dibujado en rojo en la siguiente figura:

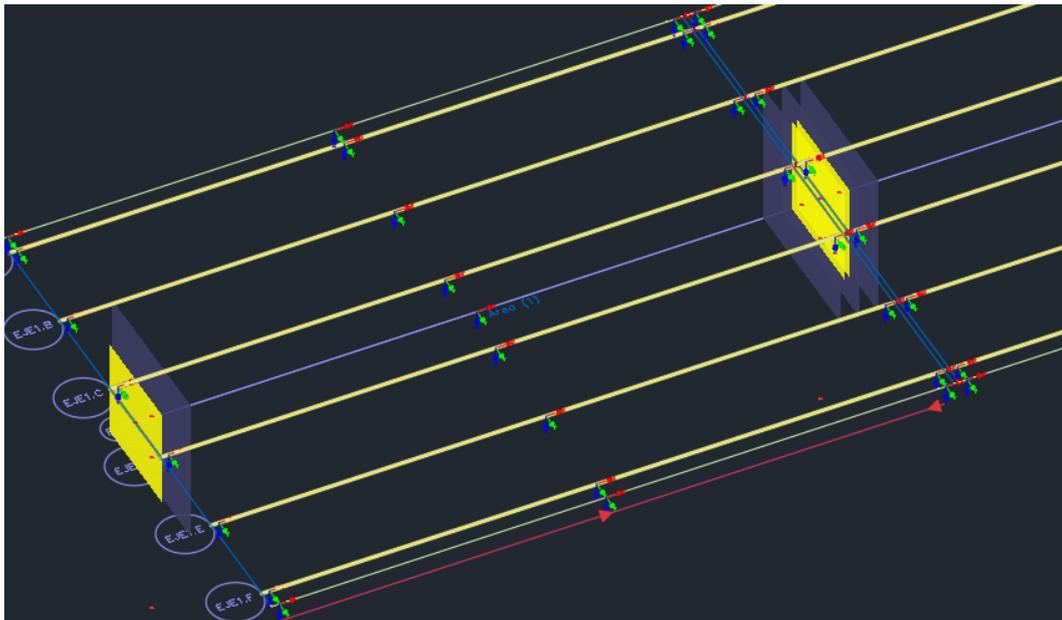


Figura 2D.12. Vista tridimensional del cordón introducido en viga del EJE1.F, vano 1

Para colocar el resto de los cordones de esta viga, botón derecho sobre el tendón creado en la paleta de SOFIPLUS y seleccionamos copiar:

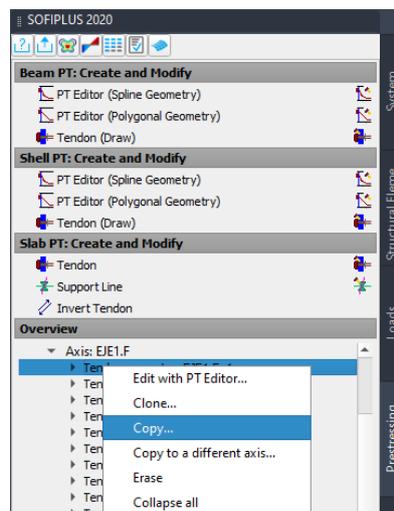


Figura 2D.13. Como copiar los tendones

Le damos un desplazamiento en U (y) y en V (z) respecto a la posición del cordón que estamos copiando.

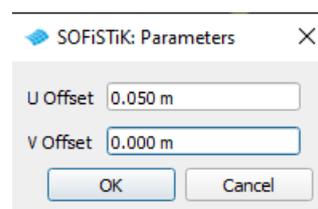


Figura 2D.14. Desplazamiento de los cordones

Aceptamos y ya tenemos dos cordones introducidos en esta viga:

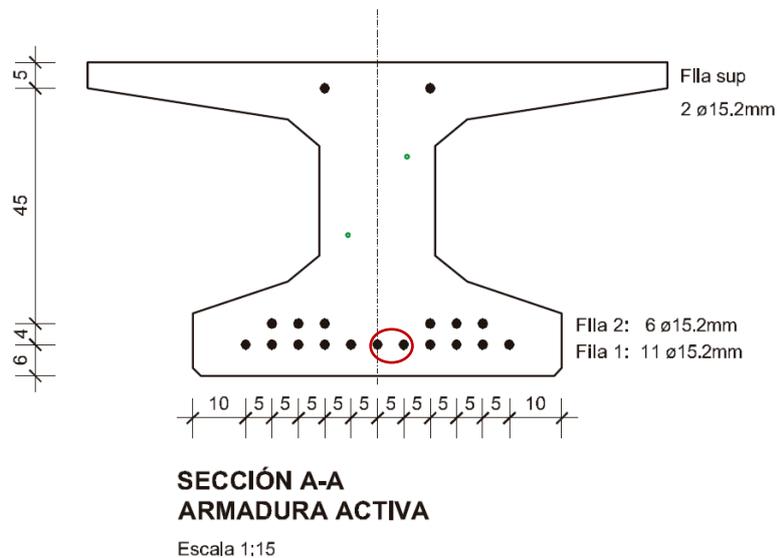


Figura 2D.15. Cordones (dos) introducidos en viga del EJE1.F, vano 1

Para el resto, repetimos copiar el primer cordón creado e introducimos los desplazamientos adecuados.

Una vez tengamos todos los cordones de esta primera viga introducidos, vamos a modificar algunos para acortar su longitud. Ya que algunos van enfundados para que no transmitan la fuerza de pretensado desde los extremos de las vigas sino desde puntos más interiores.

Las longitudes a acortar en 4 cordones de la fila 1 y en otros 4 cordones de la fila 2 están indicados en la Tabla 2D.3 como longitud envainada por los extremos.

Tabla 2D.3. Cables envainados por extremo

Uds	Fila	L (cm)
4	2	300
4	1	150

Hacemos doble click en un cordón extremo de la fila 1 y nos aparece la siguiente ventana, en la que tenemos que editar los datos hasta dejarlos como se muestra en la Figura 2D.16: **(sólo se modificará para dejarlo igual a como se muestra en las figuras, lo que se indica enmarcado en rojo).**

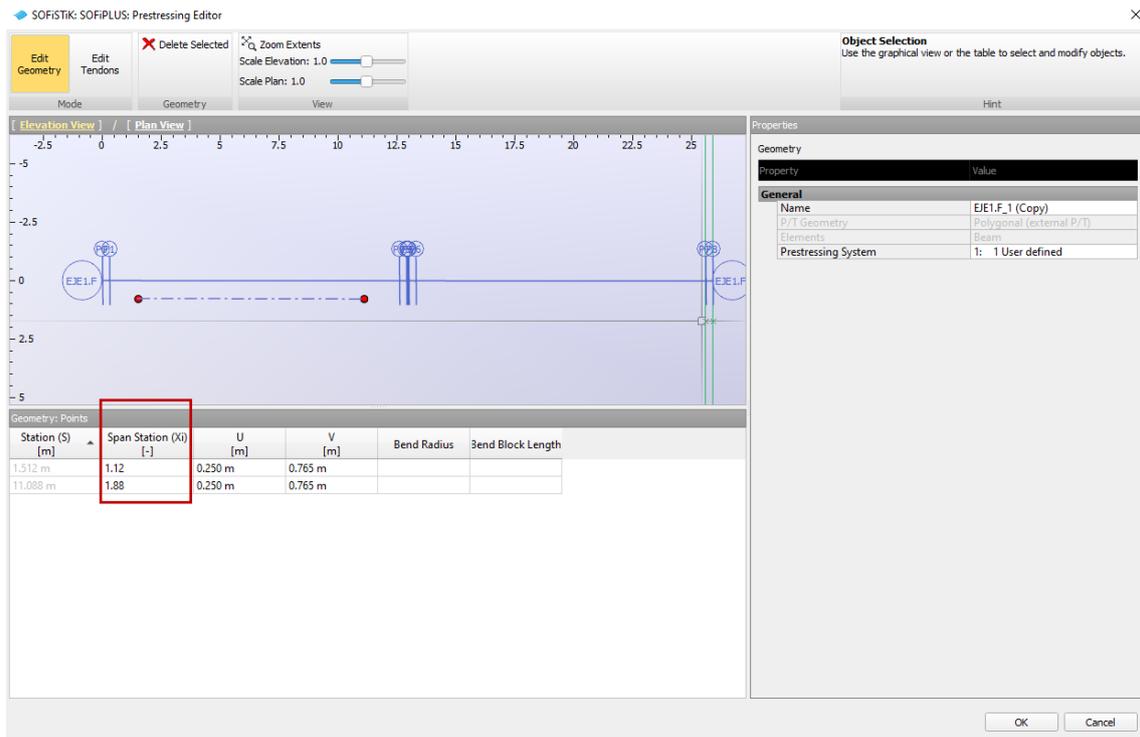


Figura 2D.16. Ventana Prestressing Editor > Edit Geometry (EJE1.F, vano 1). Cordones acortados en fila 1

Pasamos a la pestaña de *Edit Tendons* y la dejamos con los siguientes datos (sólo se modificará para dejarlo igual que se muestra en las figuras, lo que se indica enmarcado en rojo).

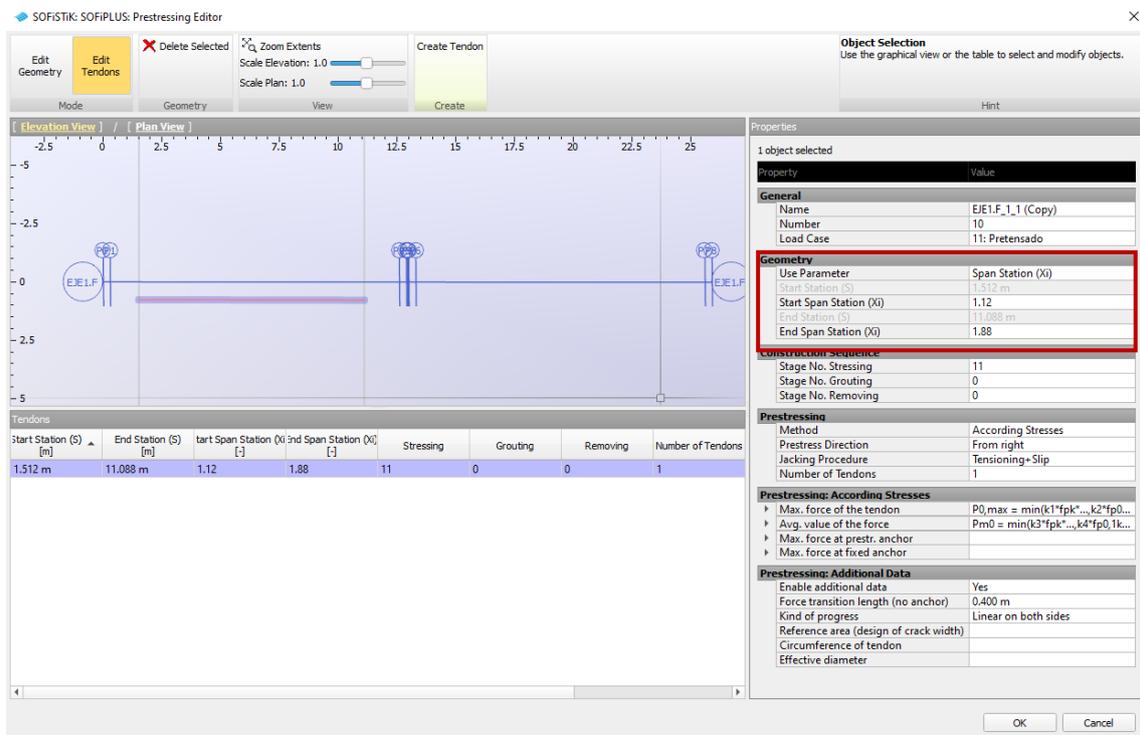


Figura 2D.17. Ventana Prestressing Editor > Edit Tendons (EJE1.F, vano 1). Cordones acortados en fila 1

Aceptamos.

Tememos que hacer lo mismo (editar la información de los cordones) con 3 cordones más de la primera fila (los de más a los bordes de la fila).

En la fila 2 también tenemos que acortar 4 cordones 3m en cada extremo. Para ello seleccionamos un cordón haciendo doble click sobre su dibujo y modificamos sus datos para dejarlos como se indica en las dos siguientes figuras: (sólo se modificará para dejarlo igual que se muestra en las figuras, lo que se indica enmarcado en rojo).

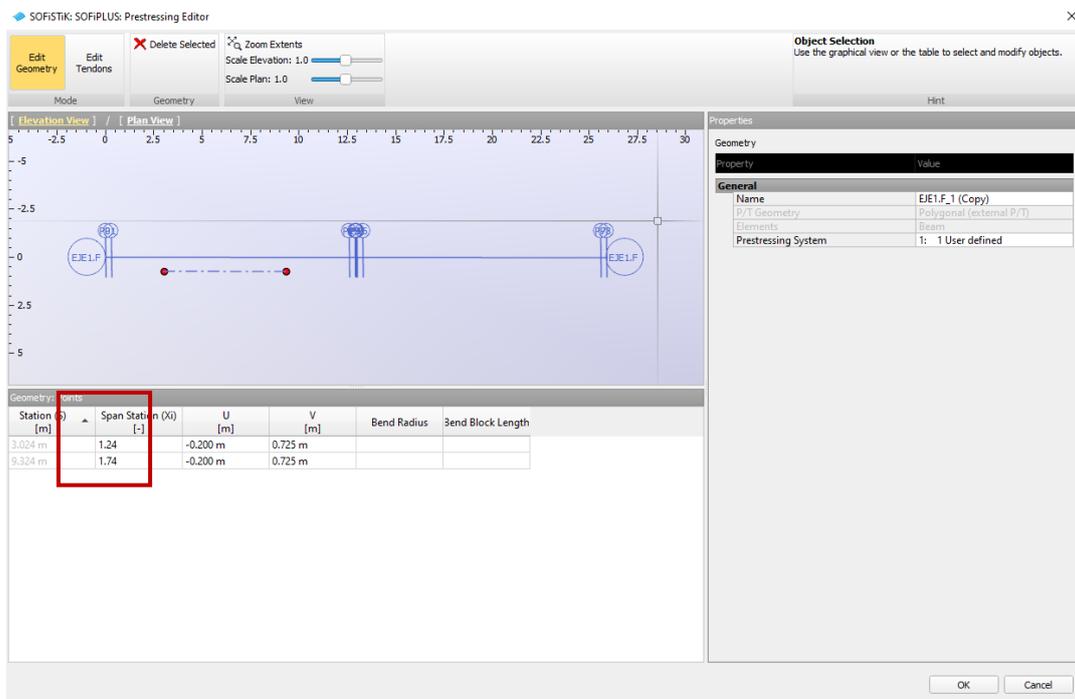


Figura 2D.18. Ventana Prestressing Editor > Edit Geometry (EJE1.F, vano 1). Cordones acortados en fila 2

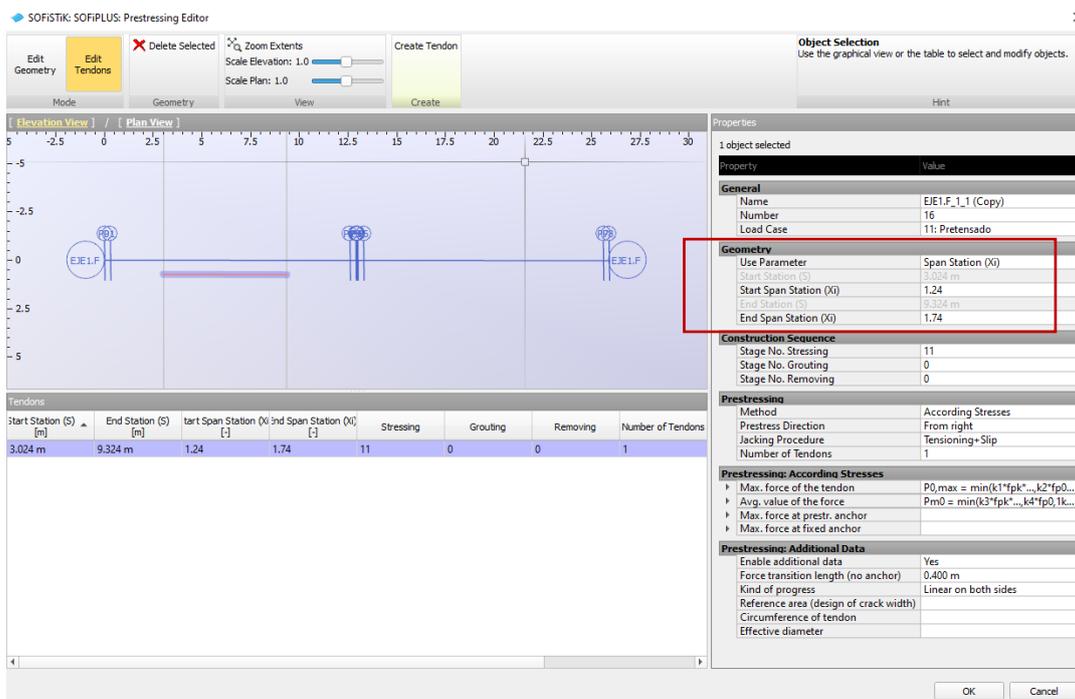


Figura 2D.19. Ventana Prestressing Editor > Edit Tendons (EJE1.F, vano1). Cordones acortados en fila 2

A continuación, creamos un nuevo cordón para la viga del vano 2 del mismo eje EJE1.F.

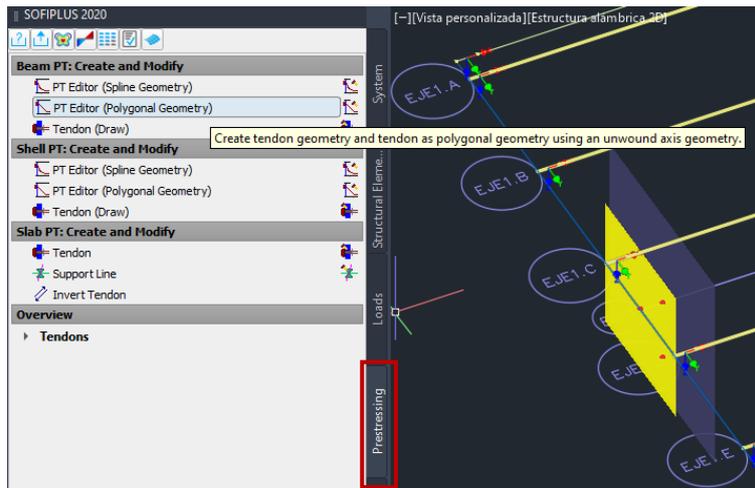


Figura 2D.20. Pestaña Prestressing resaltada, misma Figura 2D.7

Seleccionamos *PT Editor (Poligonal Geometry)* (Figura 2D.8). Nos pide que seleccionemos un eje. Seleccionamos de nuevo el *EJE1.F* e introducimos los siguientes datos de las dos figuras siguientes para este nuevo cordón:

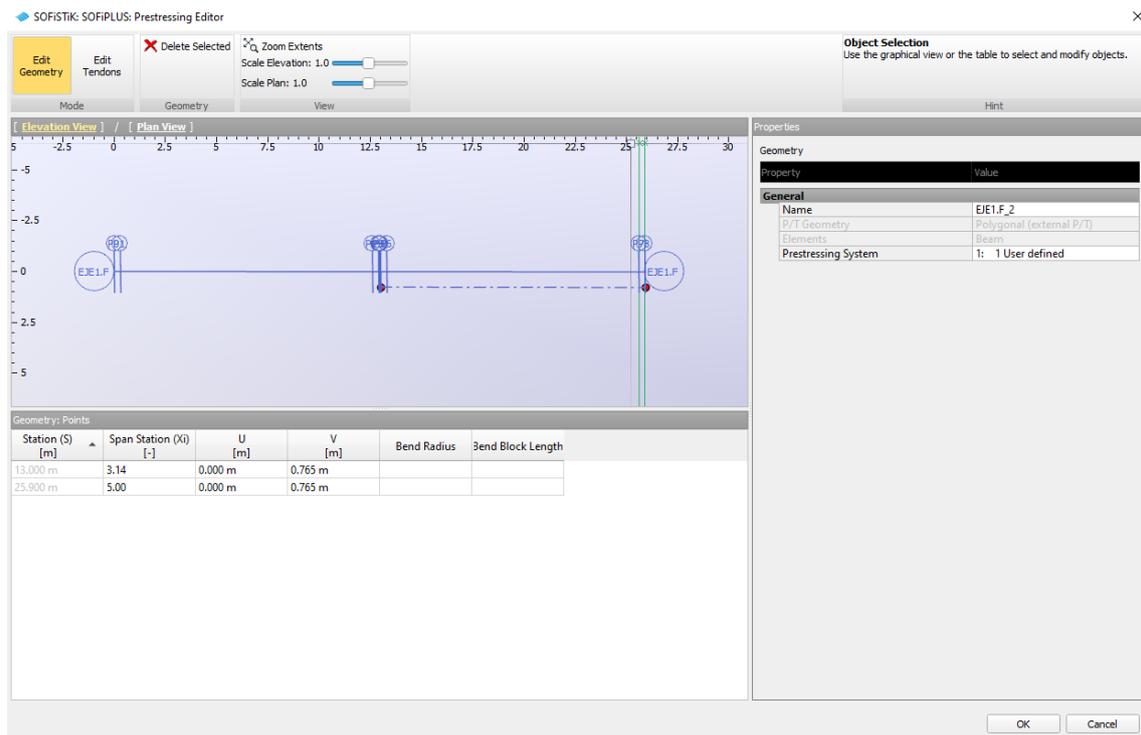


Figura 2D.21. Ventana Prestressing Editor > Edit Geometry (EJE1.F, vano 2)

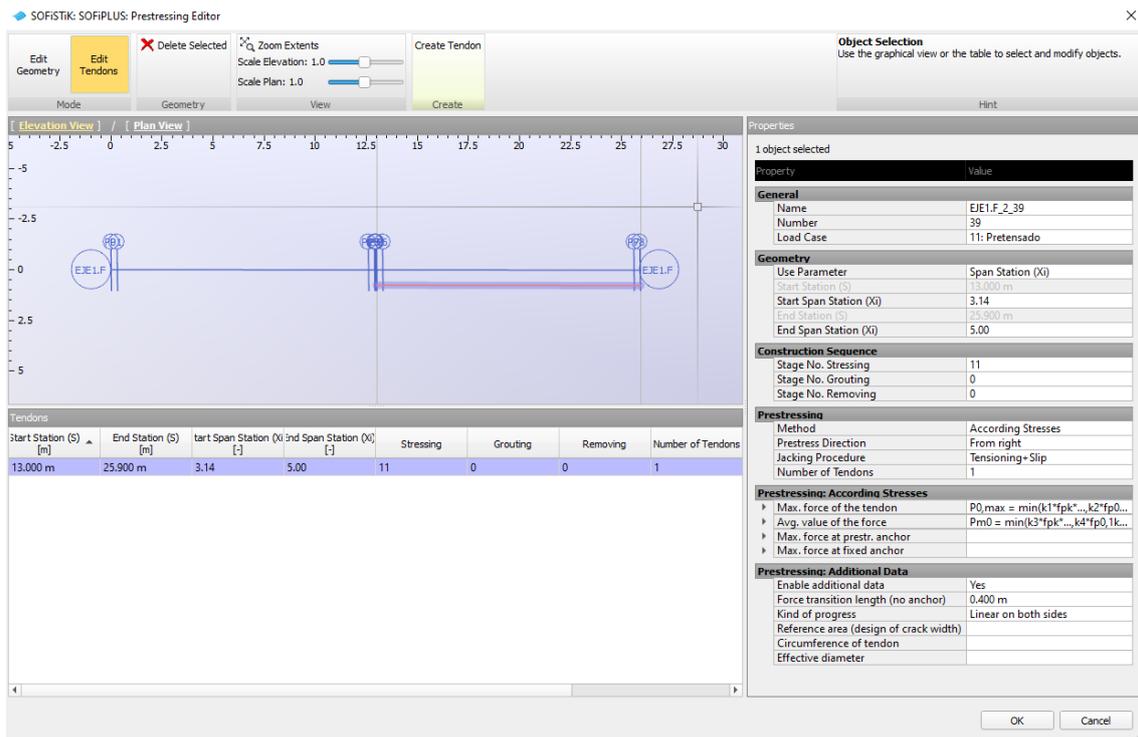


Figura 2D.22. Ventana Prestressing Editor > Edit Tendons (EJE1.F, vano 2)

Igual que hemos hecho para la viga 1 del eje F, hacemos con este cordón de la viga 2 del eje F. Lo seleccionamos en la pestaña *Prestressing* de la paleta de SOFiPLUS y lo copiamos tantas veces como sea necesario, con sus offset correspondientes para completar todos los cordones de la viga.

Modificamos la longitud de 4 de la primera fila y de 4 de la segunda fila, tal y como hemos hecho para los cordones de la viga 1 del eje F.

Para acortar los 4 cordones de la fila 1 de la viga del vano 2 de este eje F, utilizamos los parámetros de las dos siguientes figuras:

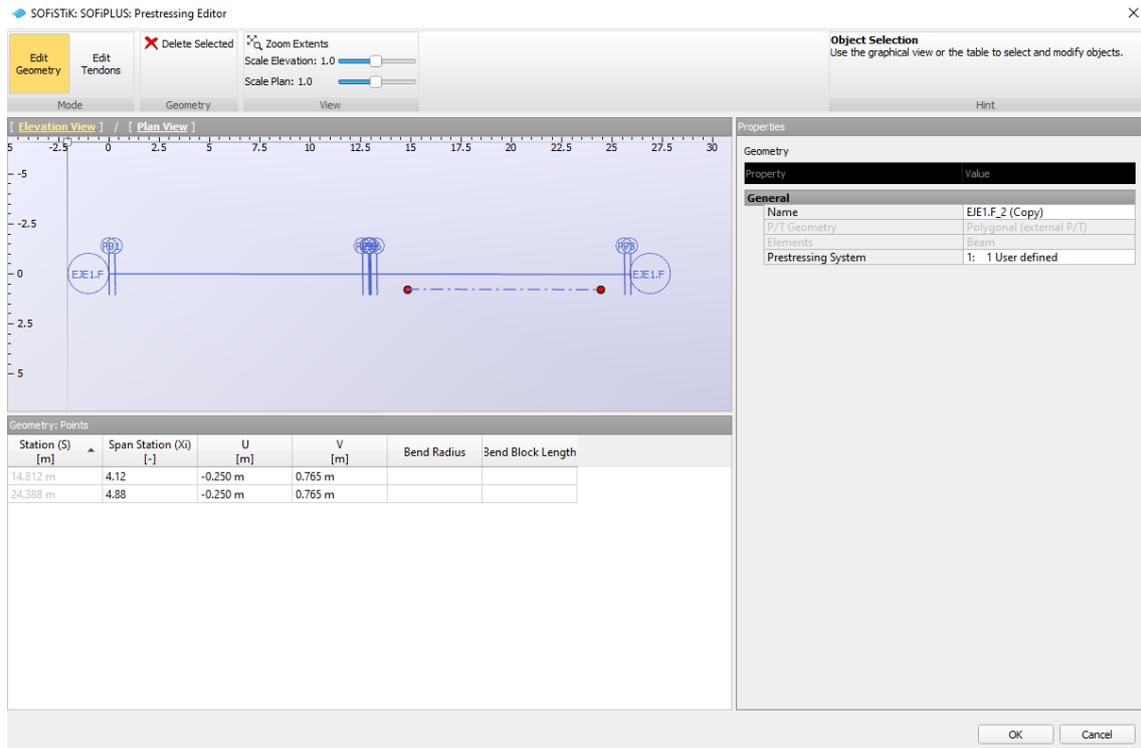


Figura 2D.23. Ventana Prestressing Editor > Edit Geometry (EJE1.F, vano 2). Cordones acortados en fila 1

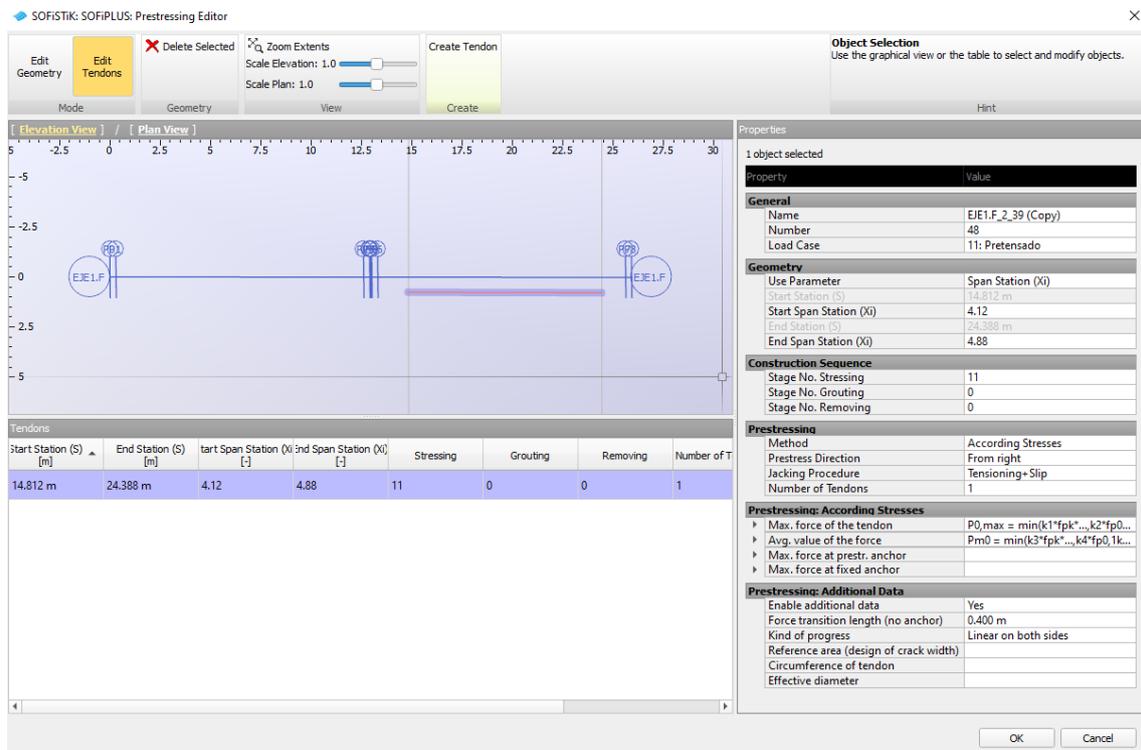


Figura 2D.24. Ventana Prestressing Editor > Edit Tendons (EJE1.F, vano 2). Cordones acortados en fila 1

Para acortar los 4 cordones de la fila 2 de la viga del vano 2 de este eje F utilizamos los parámetros de las dos siguientes figuras:

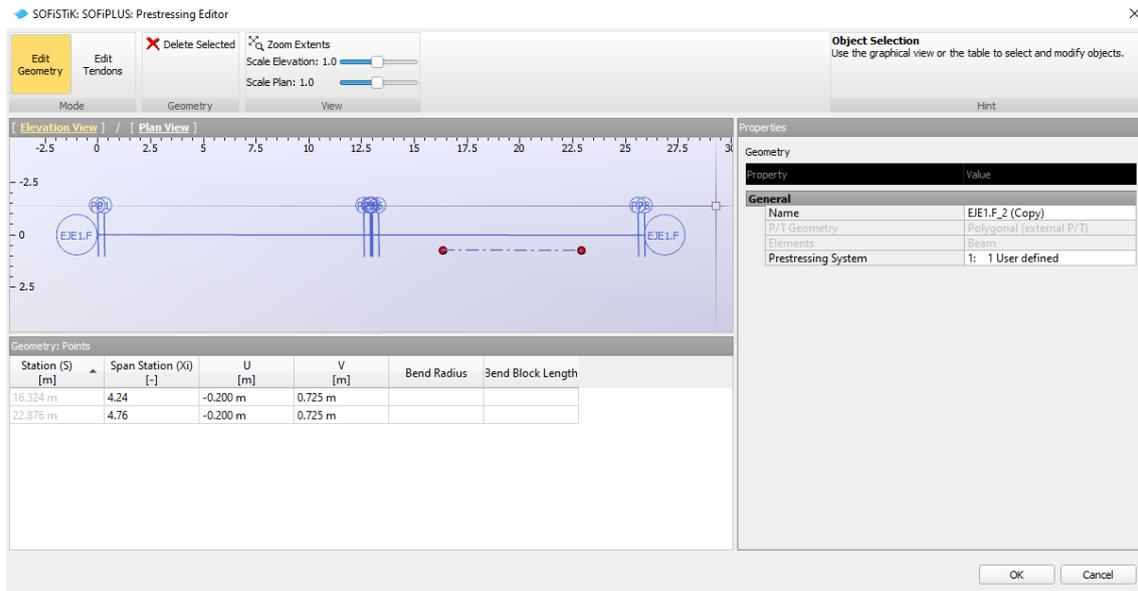


Figura 2D.25. Ventana Prestressing Editor > Edit Geometry (EJE1.F, vano 2). Cordones acortados en fila 2

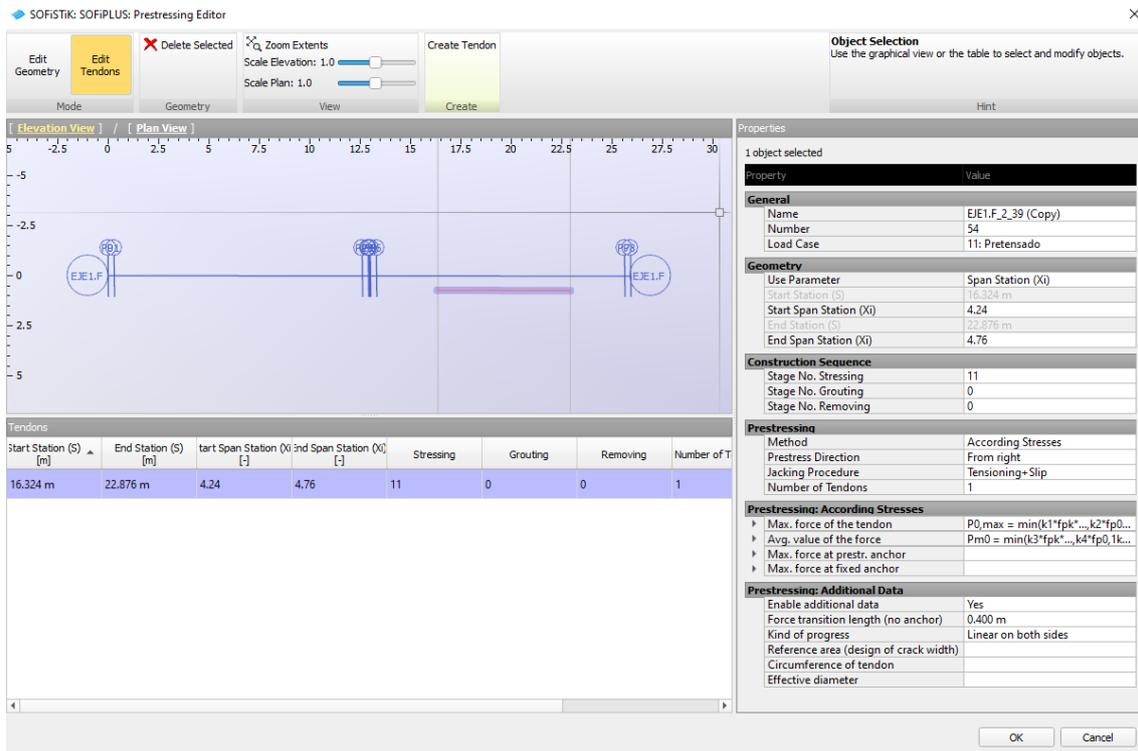


Figura 2D.26. Ventana Prestressing Editor > Edit Tendons (EJE1.F, vano2). Cordones acortados en fila 2

En pantalla tendríamos que tener los siguiente, donde se aprecia los cordones de pretensado de las vigas 1 y 2 del eje F.

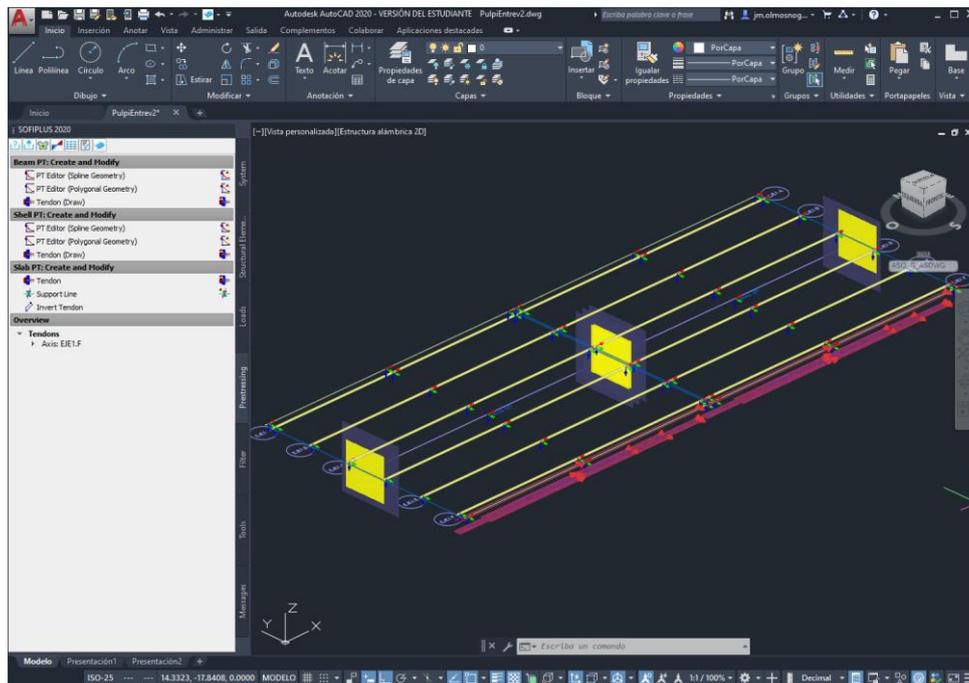


Figura 2D.27. Vista tridimensional de los cordones introducidos en viga del EJE1.F

Ahora solo tenemos que seleccionar todos los cordones en la paleta de SOFIPLUS (pestaña *Prestressing*), pulsar con el botón derecho del ratón sobre la selección y darle a copiar a otro eje:

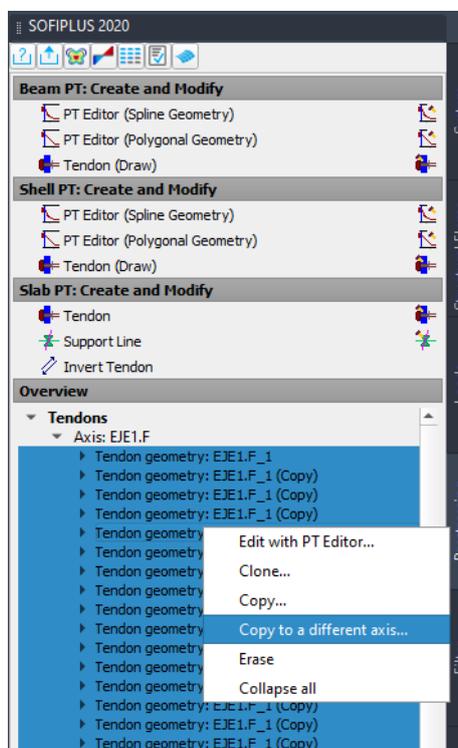


Figura 2D.28. Como copiar todos los tendones

Y seleccionamos el EJE1.E pinchando en él con el ratón.

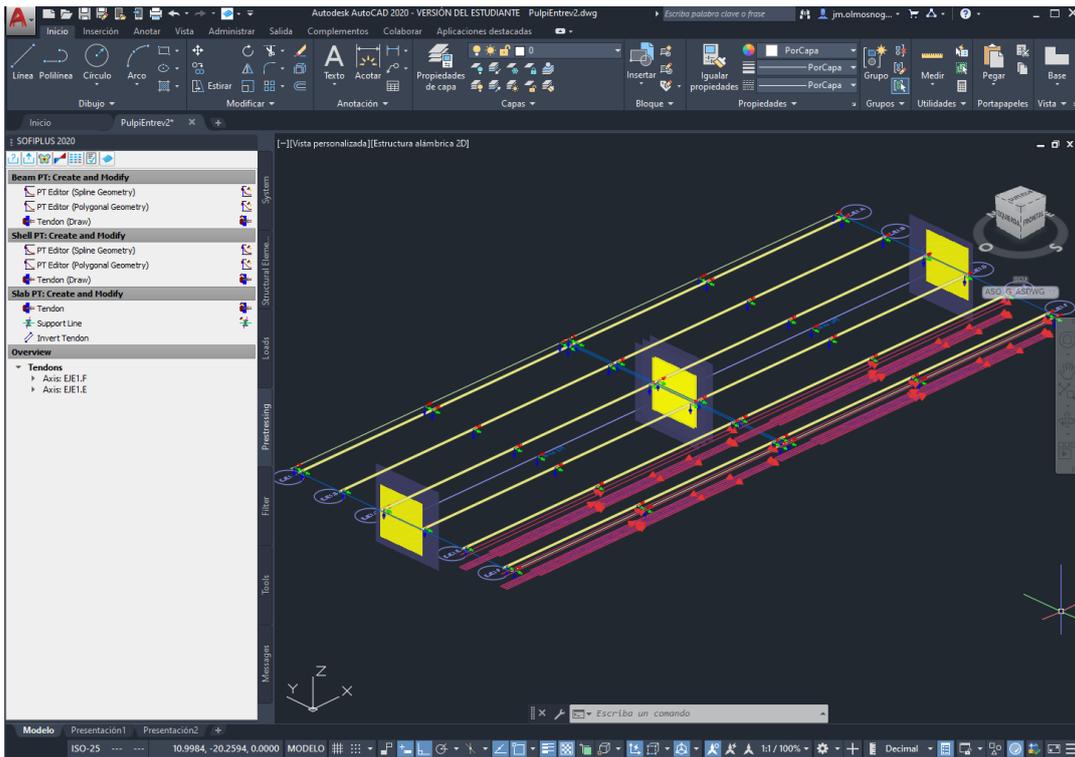


Figura 2D.29. Vista tridimensional de los cordones copiados en viga del EJE1.E

Ya tenemos las vigas de dos ejes pretensadas. Repetimos la operación de copiar todos los cordones de un eje a otro eje hasta pretensar todos los ejes.

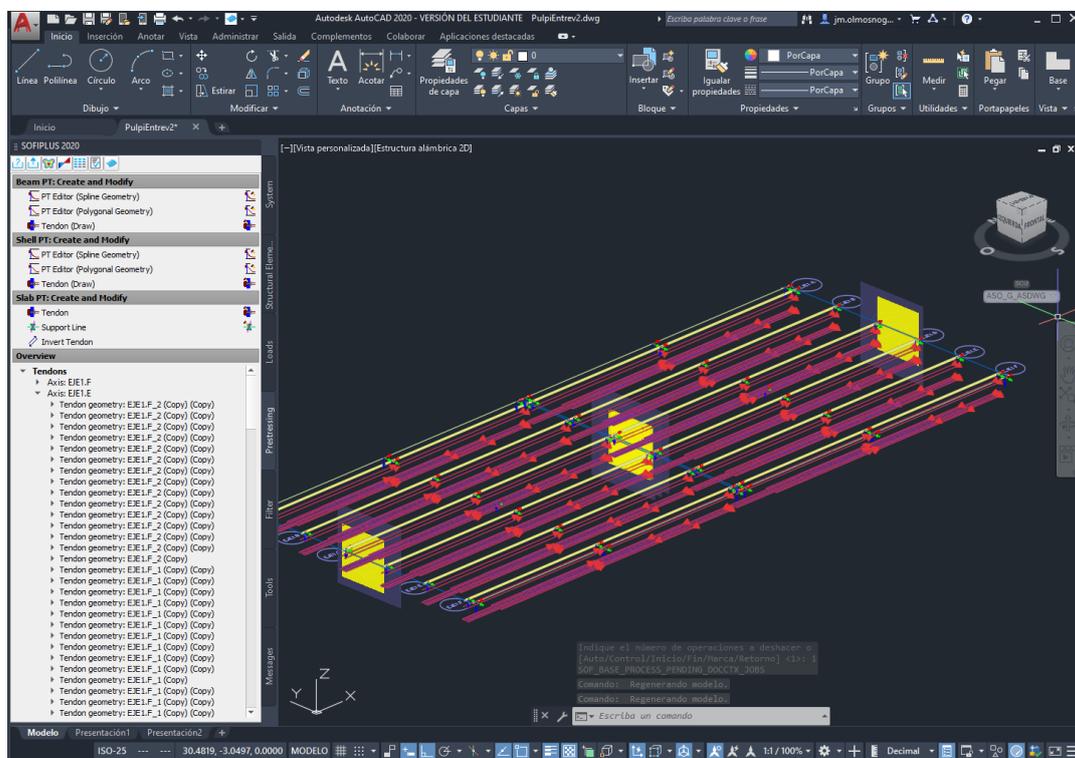


Figura 2D.30. Vista tridimensional de los cordones copiados en todas las vigas

Ejercicio 2E

Apoyos: pila y estribos

E. RESOLUCIÓN

Lo primero que vamos a hacer es modelar la pila del puente. Para ello, doble click en el *Placement P4* sobre el dibujo.

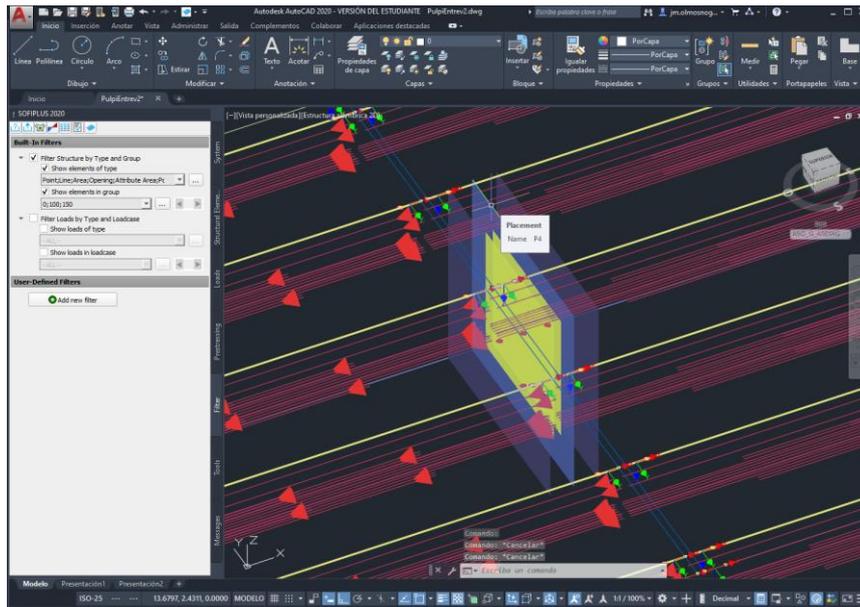


Figura 2E.1. Placement P4

Y se abre esta ventana:

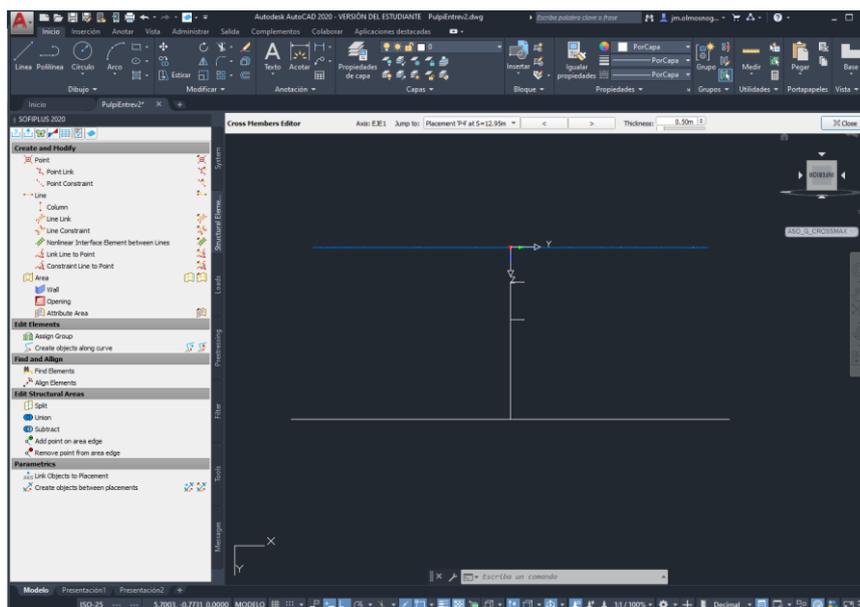


Figura 2E.2. Cross Members Editor para editar el Placement P4

En esta pantalla (Figura 2E.2) dibujamos con la orden línea de AutoCad la línea vertical y la horizontal que nos van a servir de referencia. La línea vertical comienza a 0.925 m por debajo del eje del puente. En la figura anterior, el eje del puente está situado en el punto de intersección de los ejes cartesianos Z e Y.

La longitud de la línea vertical es de 3.66 m. La línea horizontal está formada por dos mitades de 5.8 m cada una. Hacemos una marca a un metro desde el extremo superior de la línea vertical también como referencia.

Una vez dibujadas estas líneas de referencia, introducimos el pilar como *Structural Line*. Doble click en line en el panel de SOFiPLUS.

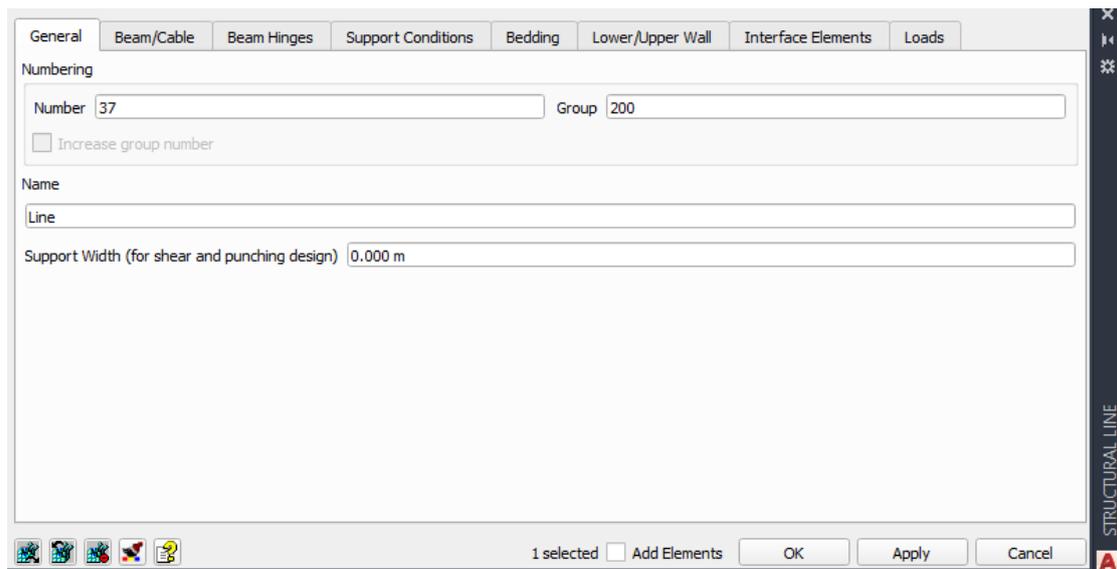


Figura 2E.3. Ventana Line > General (Pilar)

Introducimos el grupo 200.

En la pestaña de Beam/Cable:

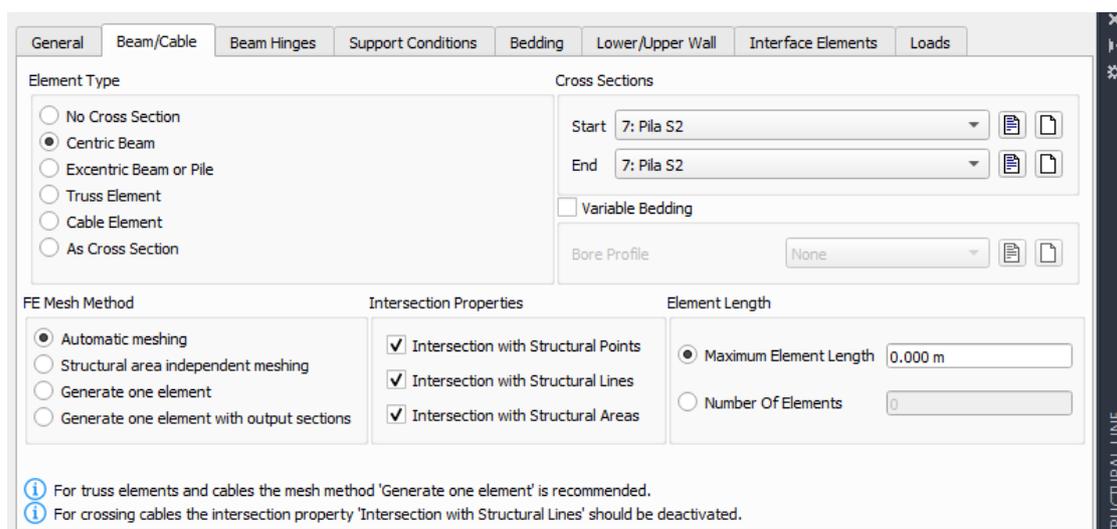


Figura 2E.4. Ventana Line > Beam/Cable (Pilar)

Y ahora dibujamos el tramo superior de la pila:

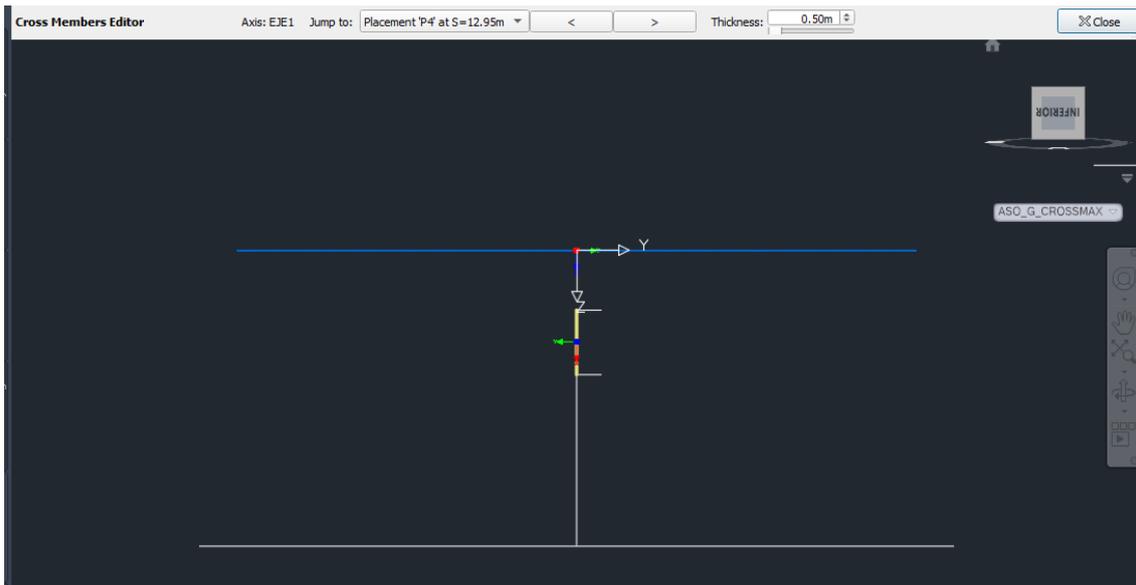


Figura 2E.5. Cross Members Editor para el tramo superior de la pila

Repetimos la acción para introducir el segundo tramo de la pila.

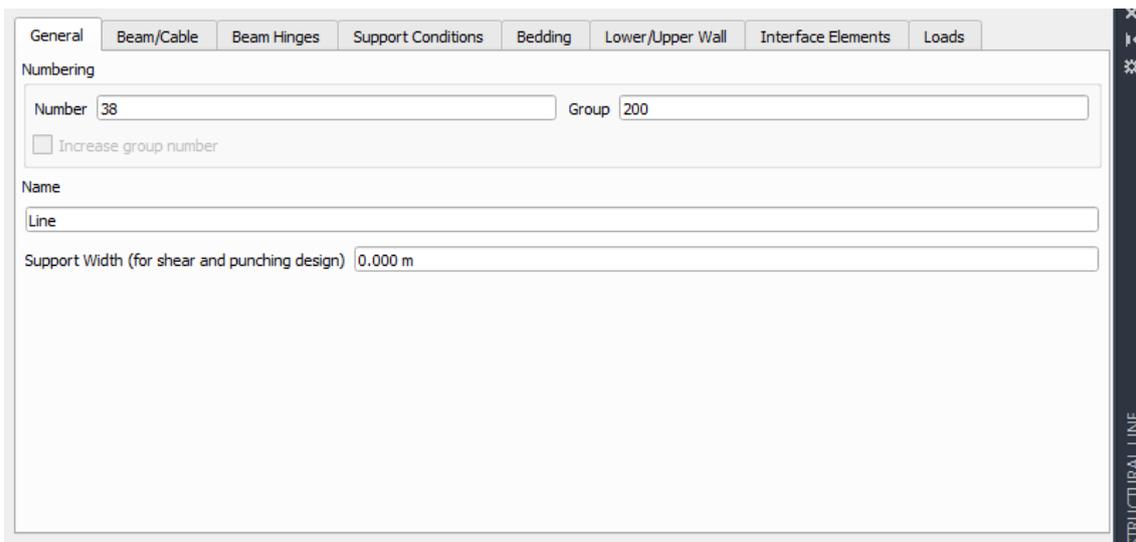


Figura 2E.6. Ventana Line > General (Pilar, segundo tramo)

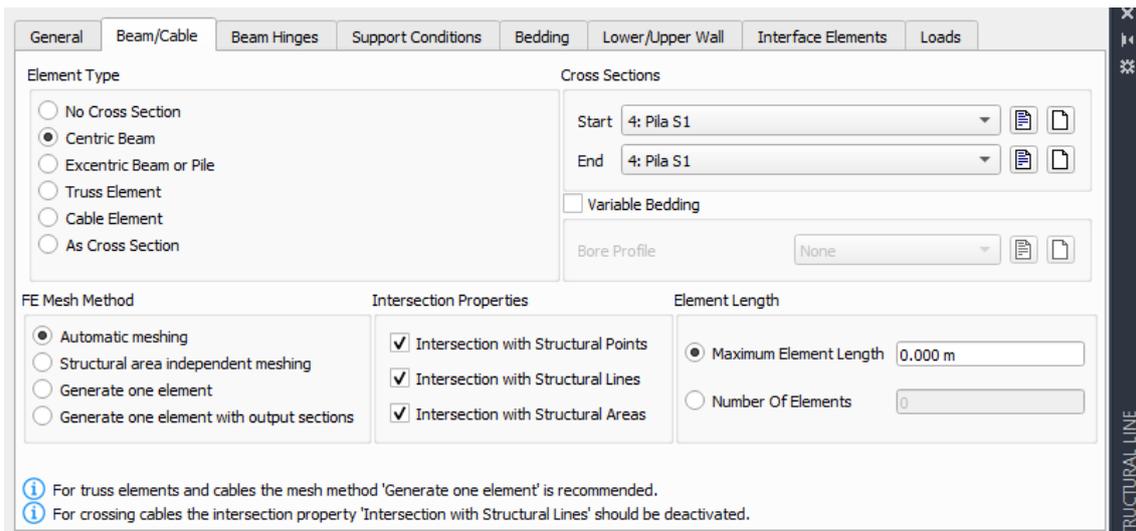


Figura 2E.7. Ventana Line > Beam/Cable (Pilar, segundo tramo)

Y dibujamos el tramo inferior de la pila

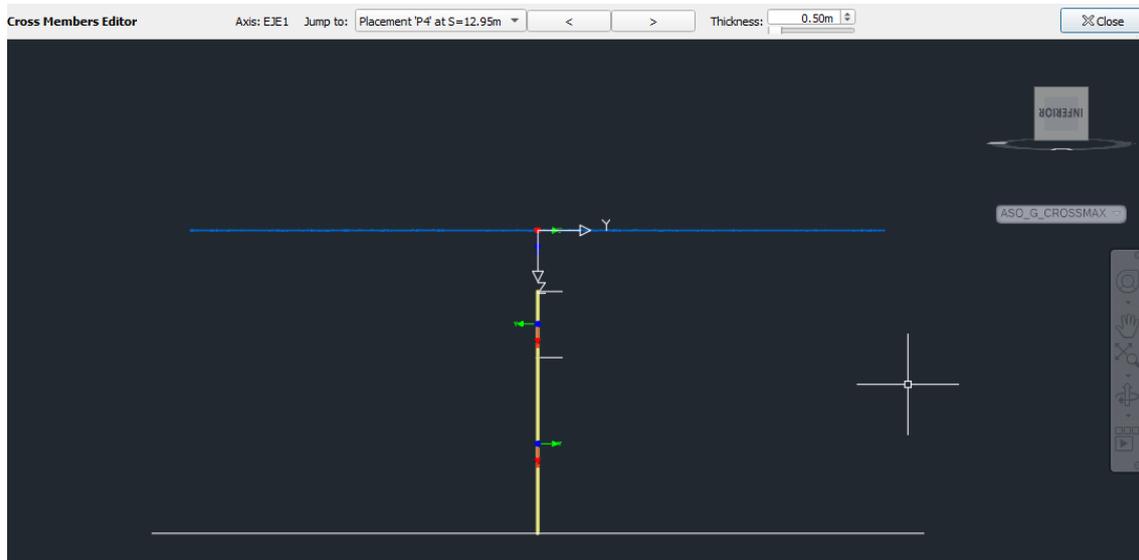


Figura 2E.8. Cross Members Editor para el tramo inferior de la pila

Cerramos el editor Cross Members Editor.

Podemos, a través de la pestaña *Filter*, dejar de ver los cordones de pretensado para poder trabajar mejor.

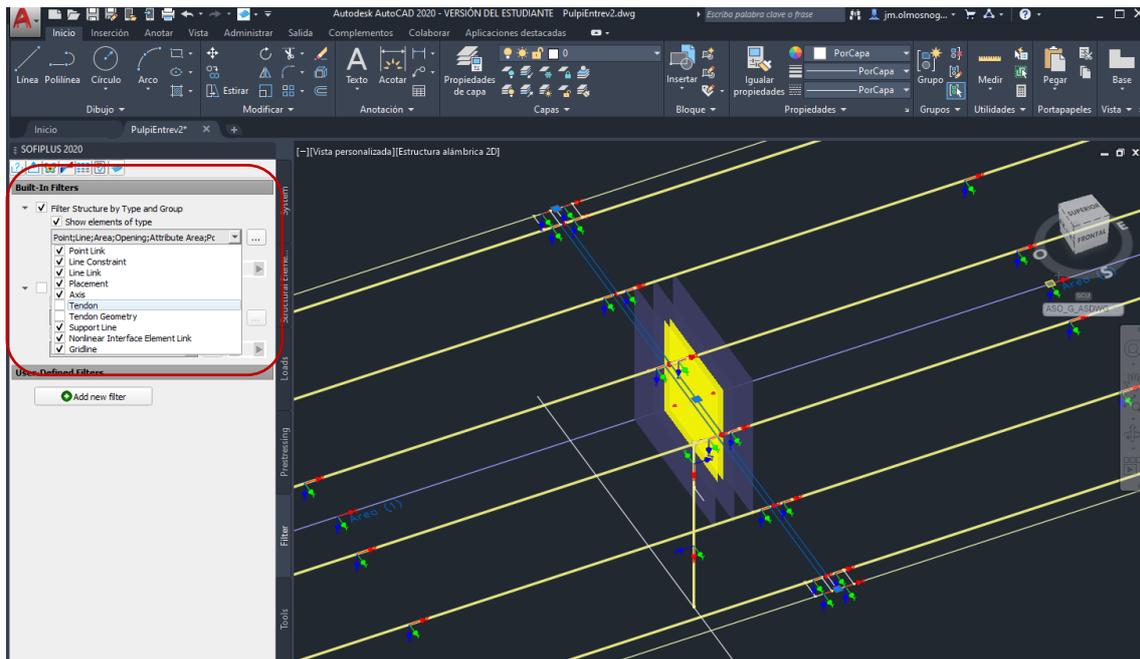


Figura 2E.9. Pestaña filtros. Tendones ocultos

Ahora vamos a meter la zapata de la pila. Para ello dibujamos con las órdenes de AutoCAD un rectángulo de 13 x 4 m² centrado en la pila. Este rectángulo está situado en la cota -4.585 m (cota de la cara superior de la zapata en el modelo).

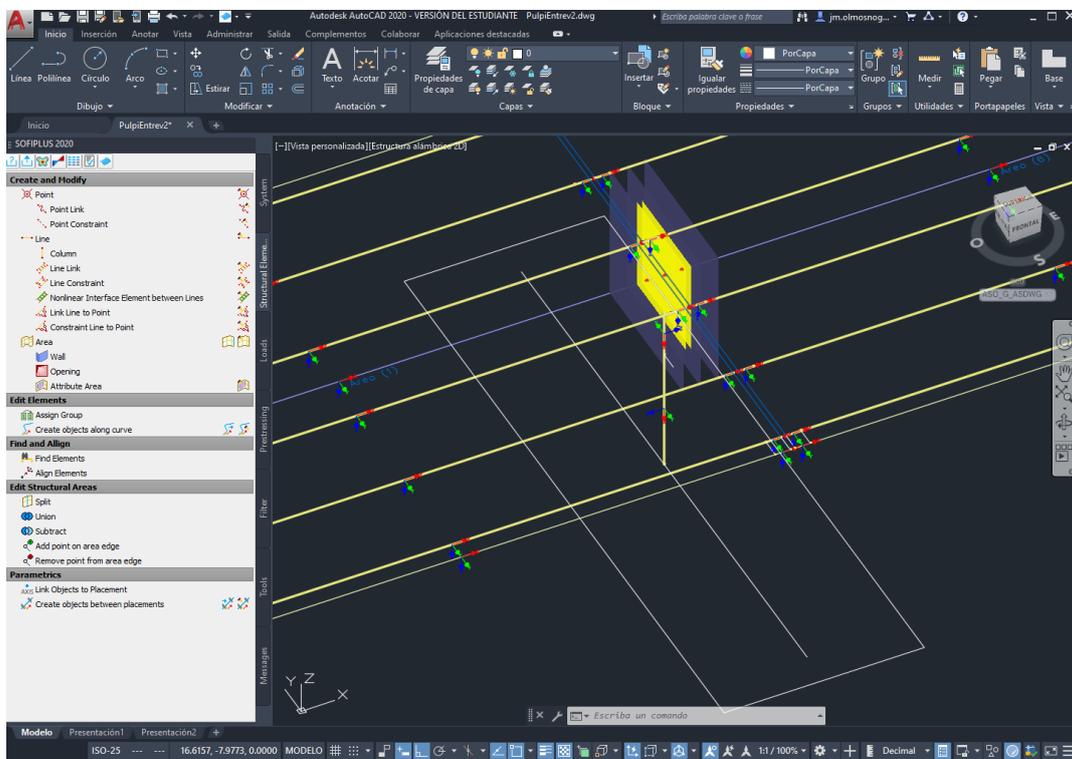


Figura 2E.10. Rectángulo 13 m x 4 m centrado en pila

A continuación, doble click en *Area* (en la paleta de SOFiPLUS, pestaña *Structural Elements*):

Grupo 300 y materiales. El número da igual. El espesor 1200 mm.

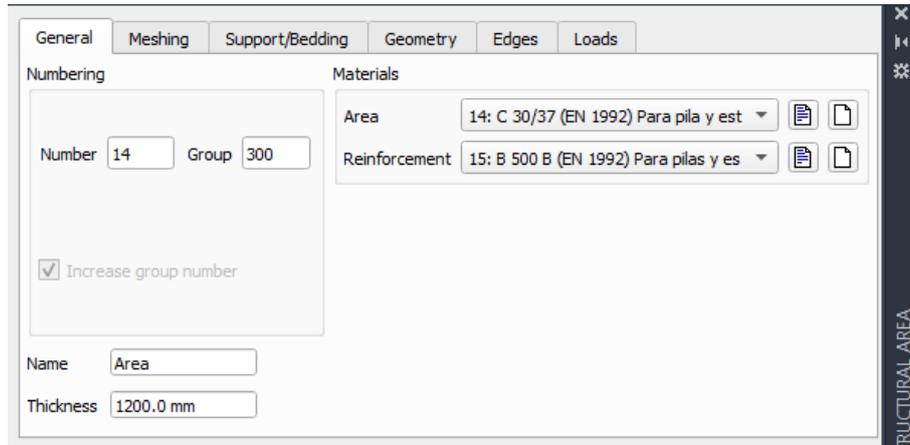


Figura 2E.11. Ventana Area > General (Zapata)

Atentos al coeficiente de balasto introducido. Normal Bedding: 33098.96 kN/m³. Para el Transversal Bedding: 1e10 kN/m³.

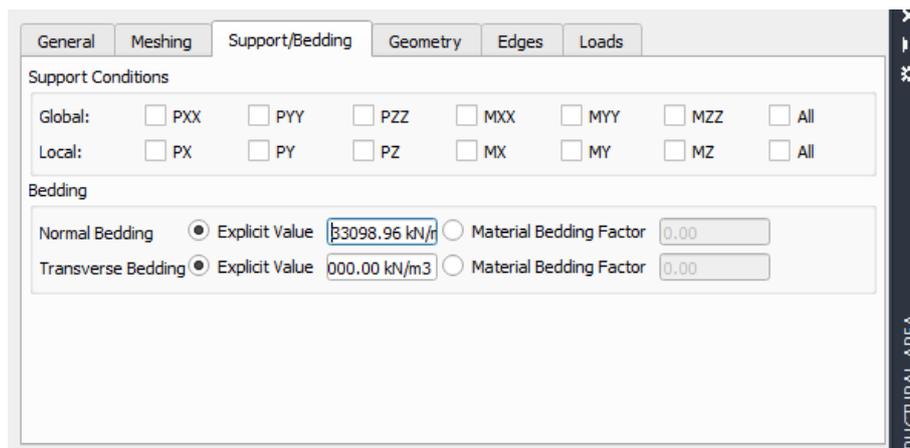


Figura 2E.12. Ventana Area > Support/Bedding (Zapata)

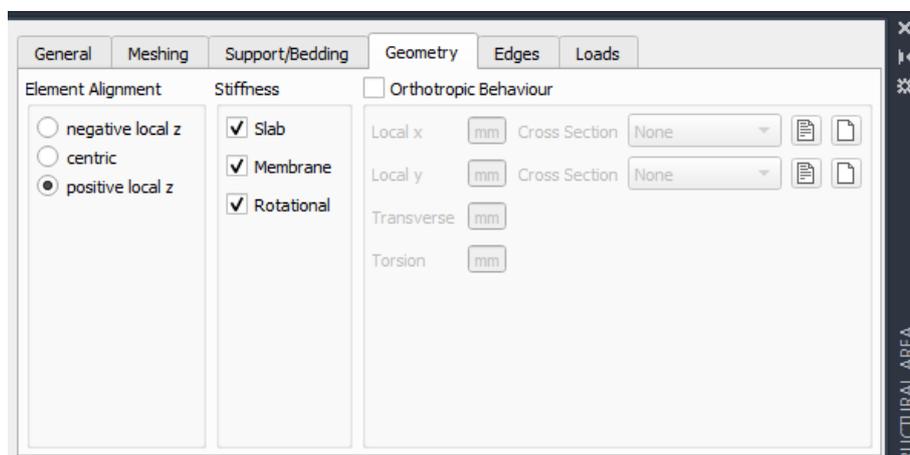


Figura 2E.13. Ventana Area > Geometry (Zapata)

Y ahora dibujamos el elemento área apoyándonos en el rectángulo dibujado en AutoCad

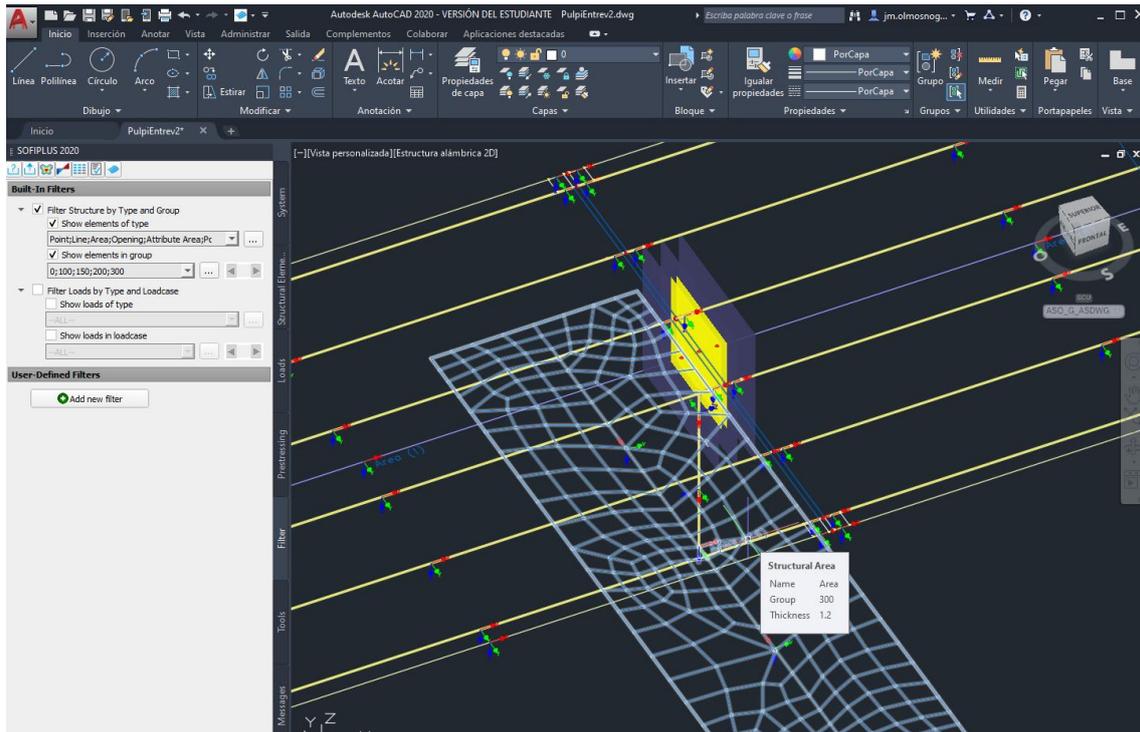


Figura 2E.14. Structural Area: Zapata en pila

A vosotros no os saldrá la discretización en Elementos Finitos todavía.

Ahora vamos a colocar un elemento barra no estructural sobre la zapata. Este elemento nos ayudará a reproducir mejor el empotramiento de la pila en la zapata.

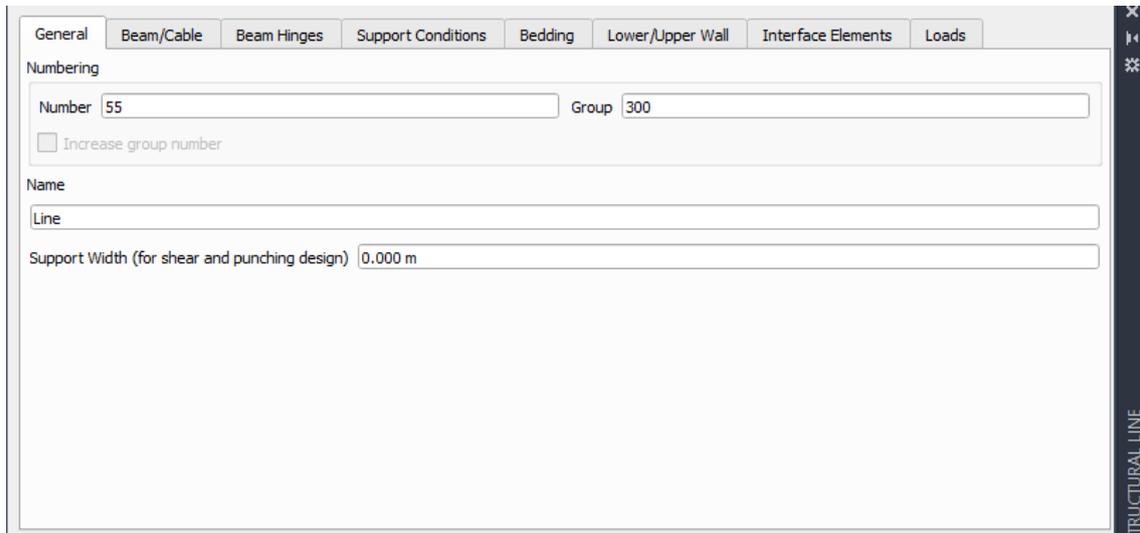


Figura 2E.15. Ventana Line > General (Elemento no estructural)

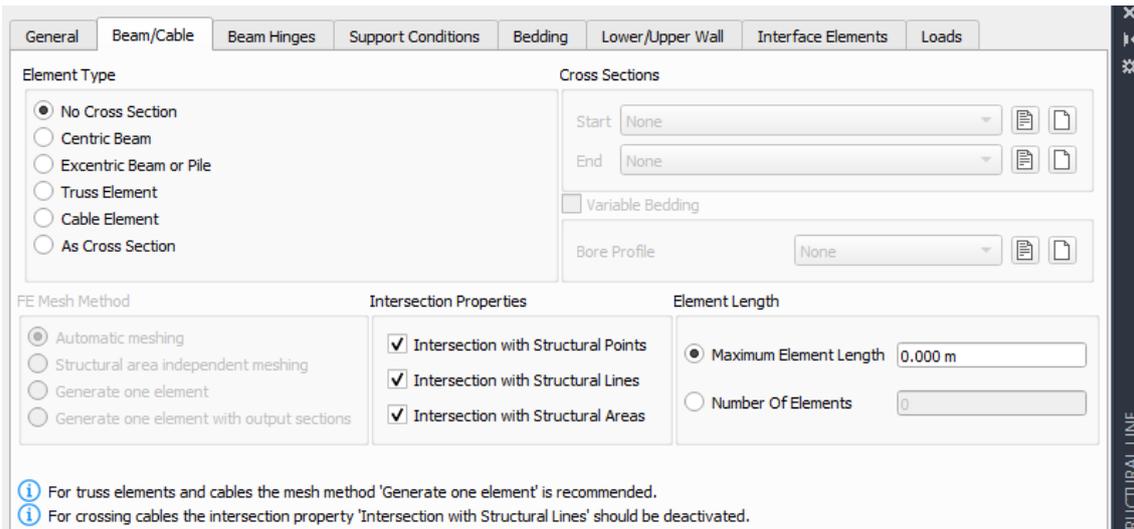


Figura 2E.16. Ventana Line > Beam/Cable (Elemento no estructural)

Y dibujamos dos líneas en la línea horizontal blanca que habíamos dibujado en AutoCad centrada en la pila:

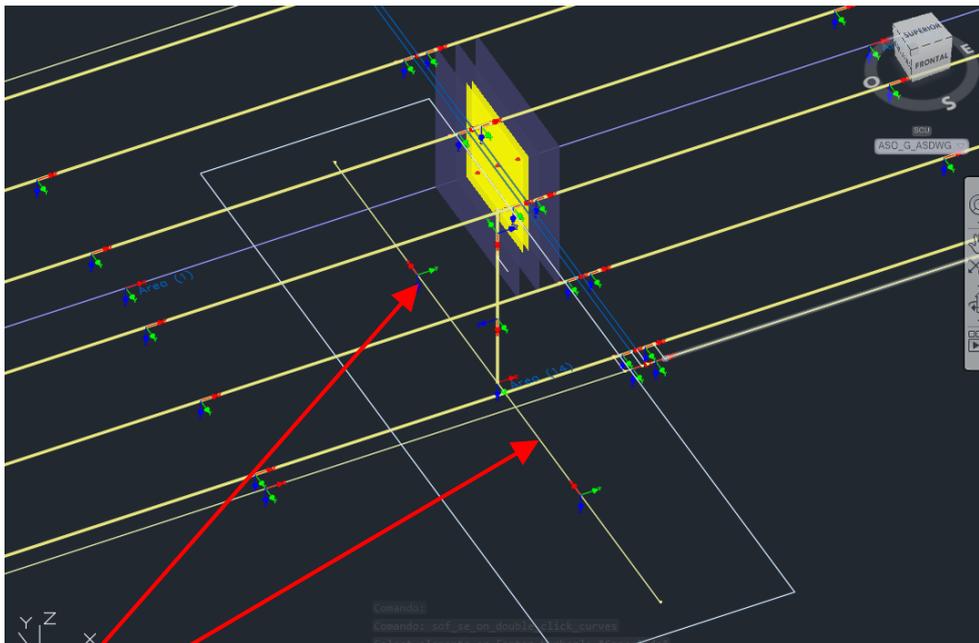


Figura 2E.17. Líneas horizontales de referencia en zapata

Para introducir los elementos fuste, zapata y línea no estructural de los estribos seguimos el mismo procedimiento de la pila.

Entramos en el Placement 7. Dibujamos una línea vertical de 3.762 m de longitud comenzando a cota -0.925 m. Dibujamos dos líneas horizontales a cota -4.687 m. desde la base de la línea vertical y con longitudes de 5.70 m.

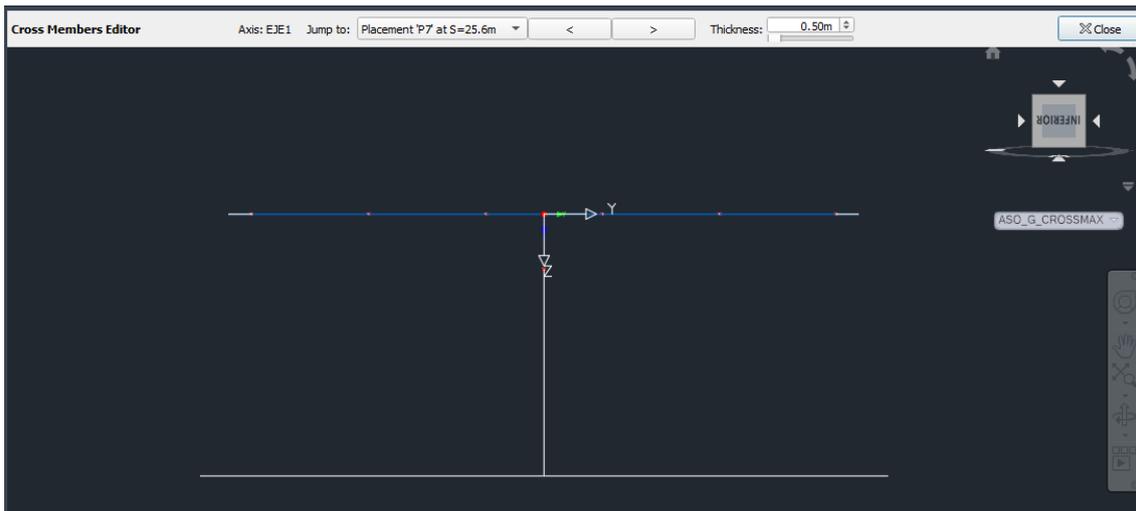


Figura 2E.18. Cross Members Editor. Introducción de barras en Placement 7

Introducimos la barra vertical con la sección de estribo y el hormigón de pilas y estribos. Salimos de este editor.

Dibujamos un rectángulo a cota -4.687 de dimensiones $4.7 \times 12.6 \text{ m}^2$ descentrado en el estribo. El vuelo corto desde el eje del estribo es de 1.5 m.

Introducimos la zapata y la línea no estructural. La zapata tiene un canto de 1 m y el mismo coeficiente de balasto que la zapata de la pila. El grupo del fuste del estribo es 200 y el de la zapata y el de la línea no estructural 300. Tenemos:

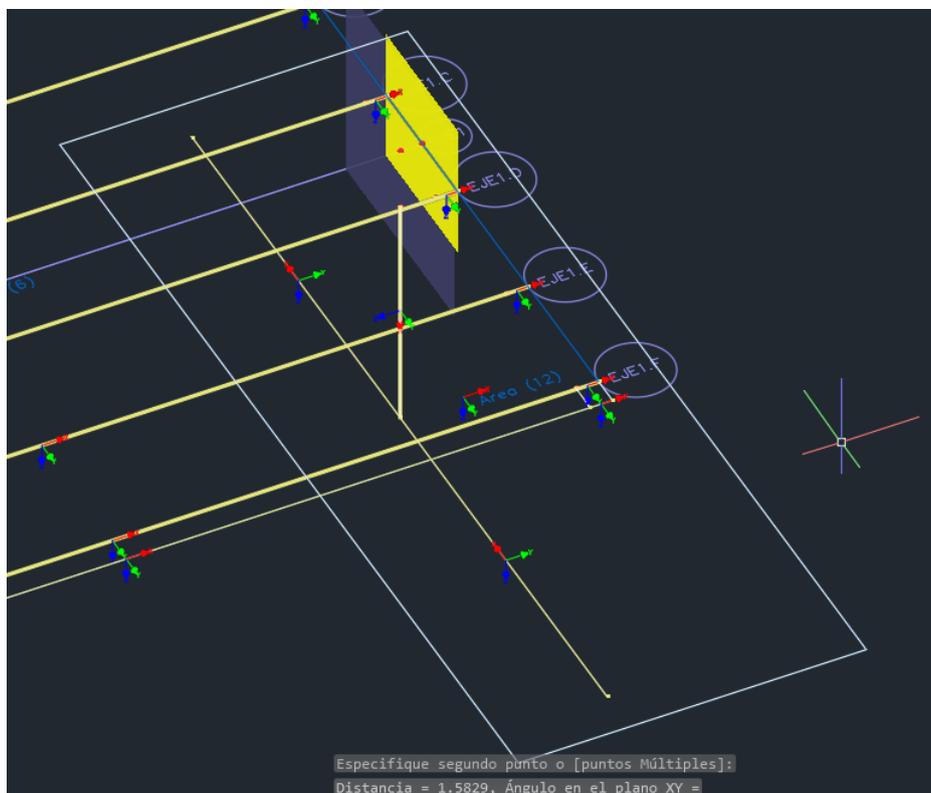


Figura 2E.19. Barras y líneas de referencia en zapata del placement 7

Ídem para el otro estribo y su zapata.

Ahora vamos a establecer las vinculaciones tablero soportes. Comenzamos por la pila. Entramos en el Placement P6.

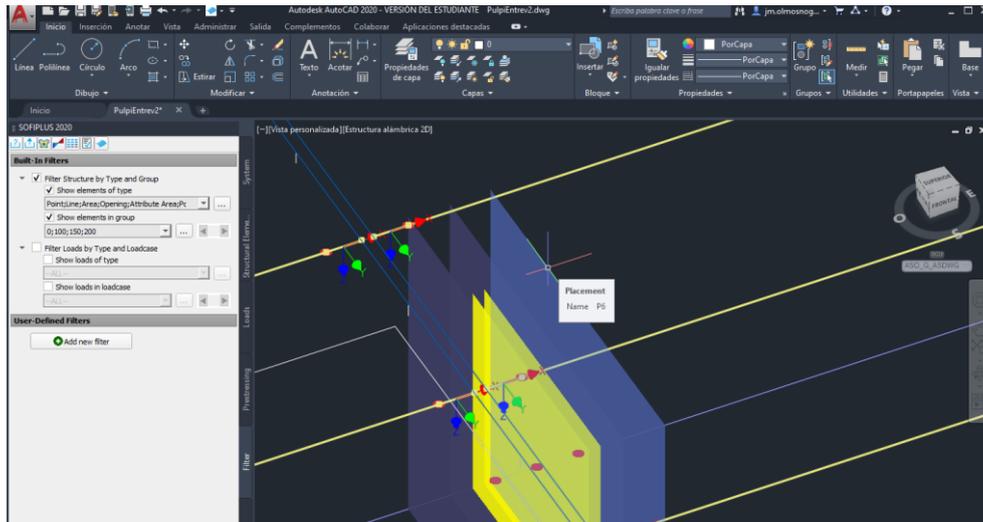


Figura 2E.20. Placement P6

Dibujamos las líneas verticales que se indican en la figura siguiente. Estas líneas están situadas bajo cada viga longitudinal del tablero. Tiene una longitud de 0.10 m y van desde la cota -0.925 hasta la cota -1.025.

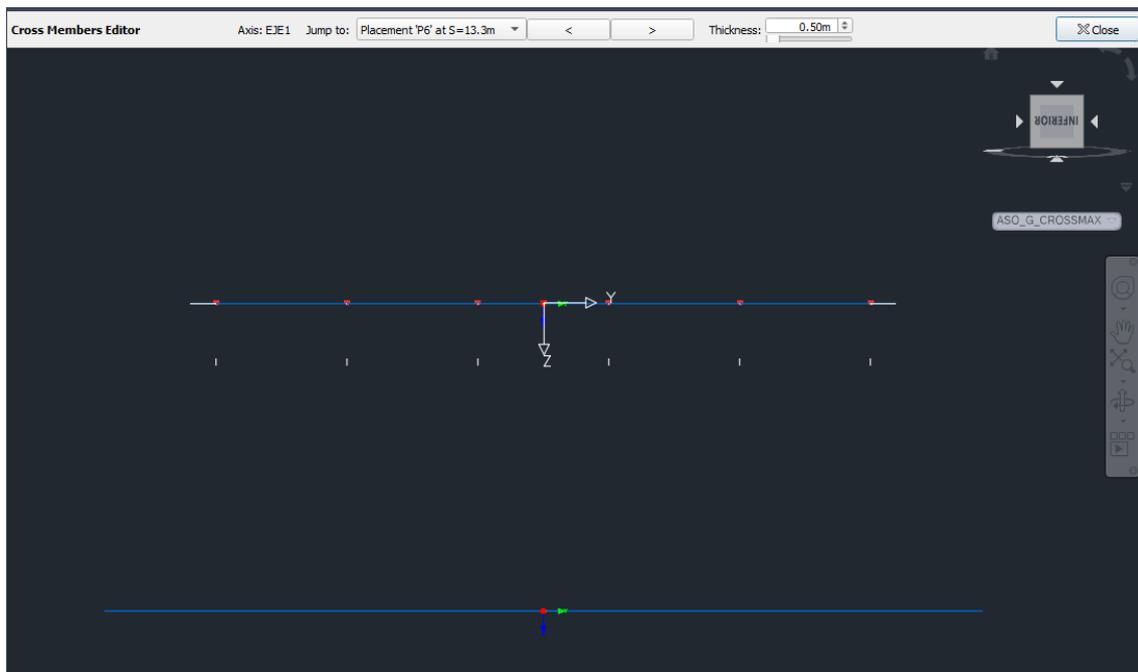


Figura 2E.21. Cross Members Editor. Líneas guías para soportes

A continuación, sin salir de aquí (el editor de elementos transversales del puente) introducimos *constraints* (relaciones cinemáticas de sólido rígido entre los grados de libertad de dos nudos del modelo). Para ello pulsamos en *Point Constraint* en la pestaña de *Structural Elements*.

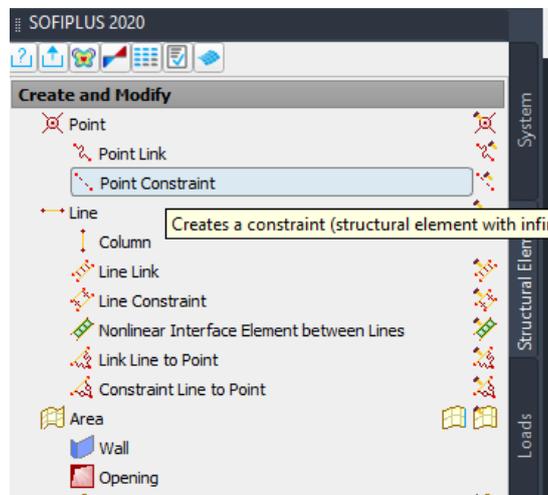


Figura 2E.22. Como ir a Point Constraint

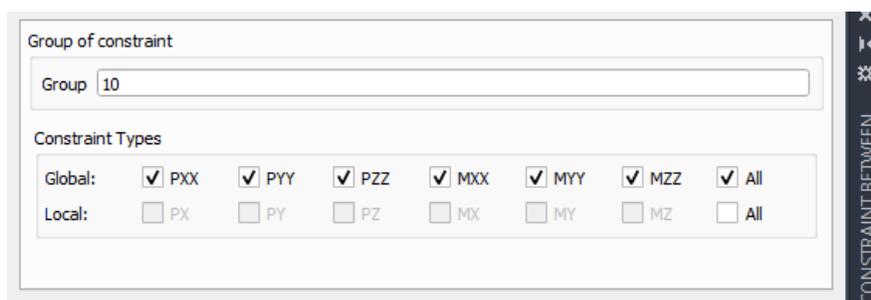


Figura 2E.23. Restricciones en grupo 10

Ponemos el grupo 10 y seleccionamos todas las vinculaciones como muestra la figura anterior. A continuación, dibujamos los *constraints* para que tengamos:

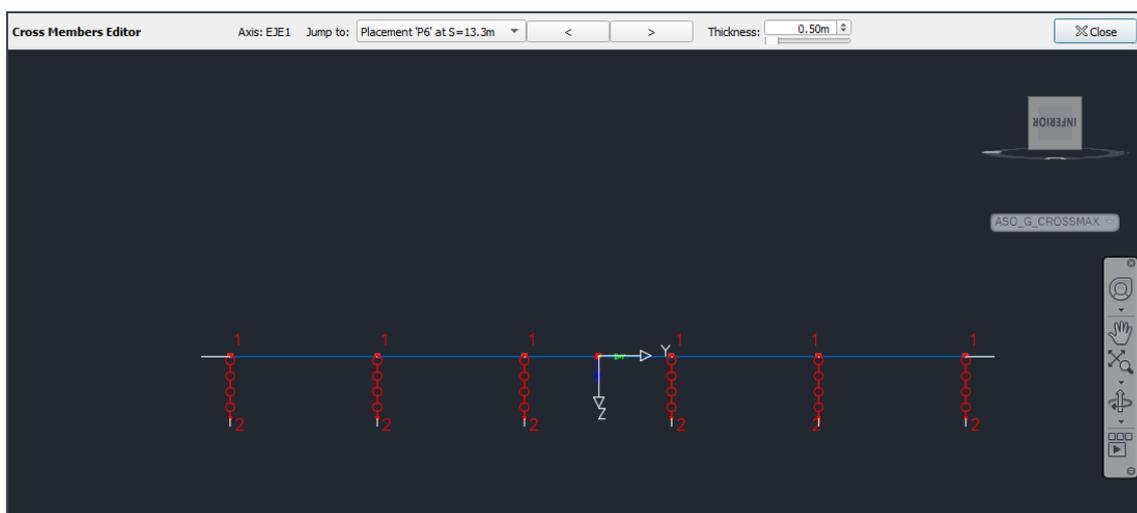


Figura 2E.24. Cross Members Editor. Restricciones en el grupo 10

Ahora, sin salir de aquí (el editor de elementos transversales del puente) introducimos los apoyos de neopreno zunchado (elastoméricos) entre vigas y cabeza de pila. Para ello, vamos a *Point Link* en la pestaña de *Structural Elements*.

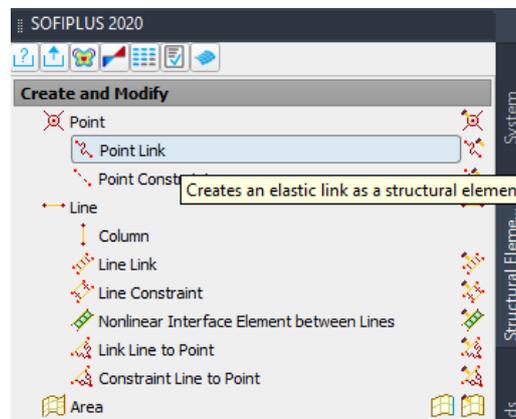


Figura 2E.25. Como ir a crear los apoyos elastoméricos

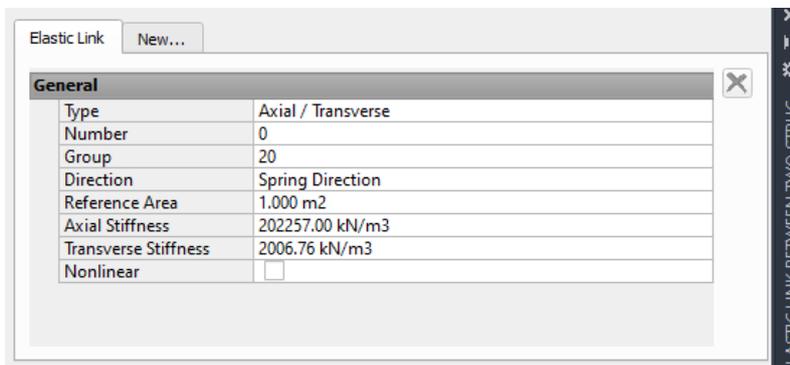


Figura 2E.26. Ventana Elastic Link, grupo 20

Introducimos el Grupo 20 y las características de rigidez indicadas en la figura anterior. Ahora dibujamos los muelles a lo largo de las líneas blancas que hicimos con AutoCad. Nos queda:

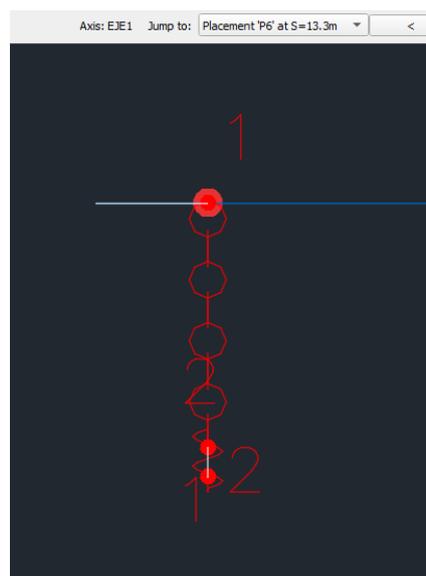


Figura 2E.27. Cross Members Editor. Muelles del grupo 20 en viga EJE.A, Placement 7



Figura 2E.28. Cross Members Editor. Muelles del grupo 20 en todas las vigas en Placement 7

Ya podemos salir del editor de elementos transversales del puente.

A continuación, repetimos lo que hemos hecho en el Placement P6 para introducir constraints y muelles en los Placements P1, P2 y P7. O también, podemos copiar y pegar estos elementos desde AutoCad en la vista 3D desde P6 hasta P1,P2 y P7, lo que resulta mucho más rápido. Entonces, tenemos:

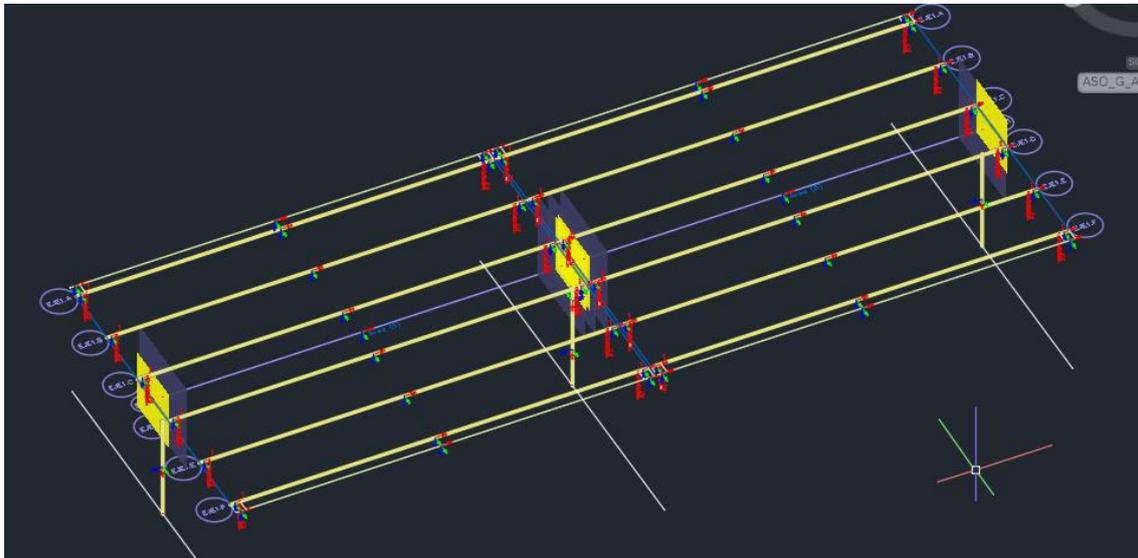


Figura 2E.29. Vista tridimensional de los muelles y restricciones en todas las vigas (Grupo 10 y 20)

Ahora tenemos que vincular el punto bajo de cada muelle introducido con el extremo superior de las barras estructurales que modelan pila o fuste de estribos. Para ello vamos a *Constraint* e introducimos grupo.

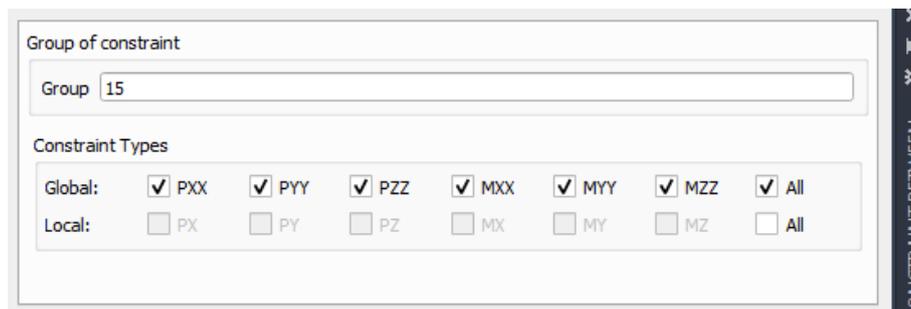


Figura 2E.30. Restricciones en grupo 15

Y dibujamos los constraints entre cada punto bajo de muelle de un apoyo y el punto superior de pila o fuste.

Cuando lo hagamos hecho todo, tendremos:

En la pila:

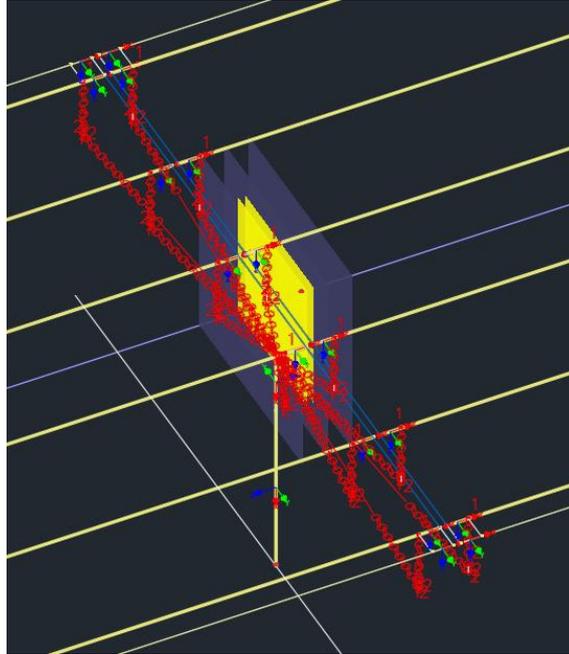


Figura 2E.31. Restricciones (constraints) y muelles en pila

En estribos:

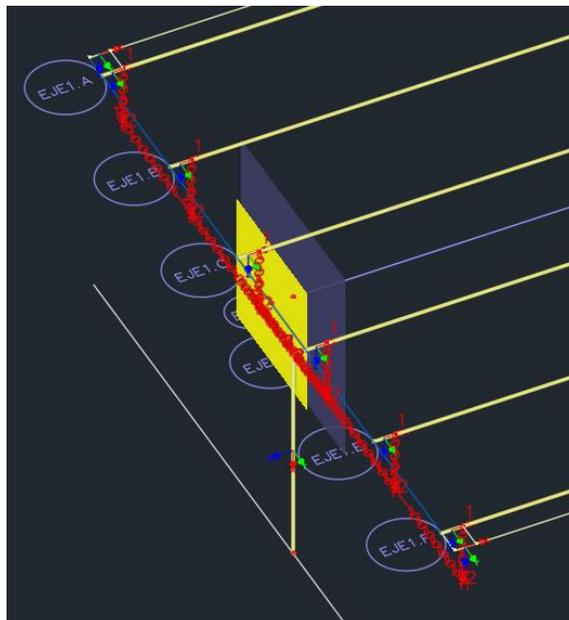


Figura 2E.32. Restricciones (constraints) y muelles en estribo 1

Para liarnos menos, podemos ocultar grupos con la pestaña *Filter* para dejar de ver cosas que nos molesten a la hora de meter estos constraints.

Nos quedan introducir dos tipos más de constraints. Los primeros son *constraint line to point*. Antes de introducir los *constraint line to point*, tenemos que introducir el *structural point*. Para ello, pulsamos en *Point* (en la pestaña de Structural Elements de SOFIPLUS).

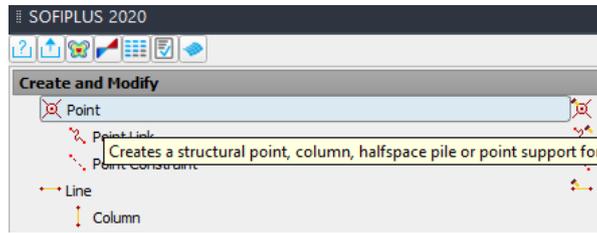


Figura 2E.33. Pasos para crear un Structural Point

Se abrirá el siguiente cuadro de dialogo:

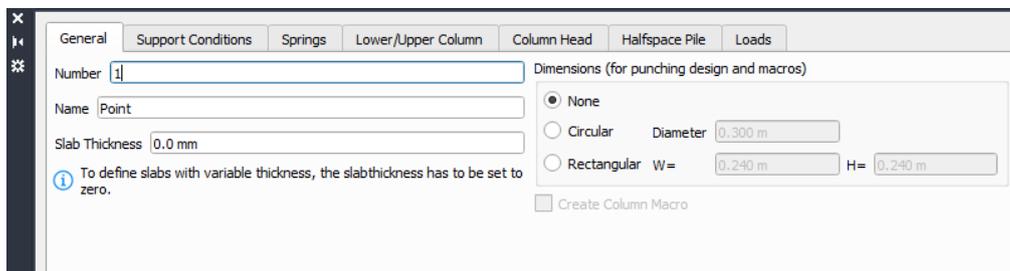


Figura 2E.34. Parámetros para el Structural Point

Y pinchamos ahora en la base del elemento estructural estribo para introducir el punto. Una vez hecho esto, aparecerá un punto rojo como en se ve en la figura siguiente:

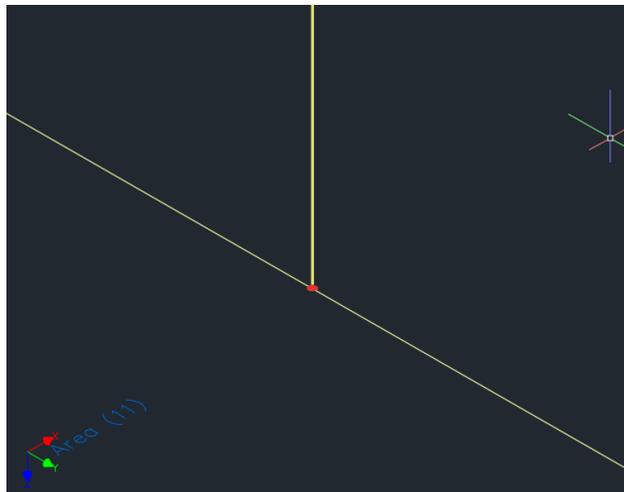


Figura 2E.35. Vista tridimensional del structural point en la base del estribo

Procedemos ahora a introducir el *constraint to point*:

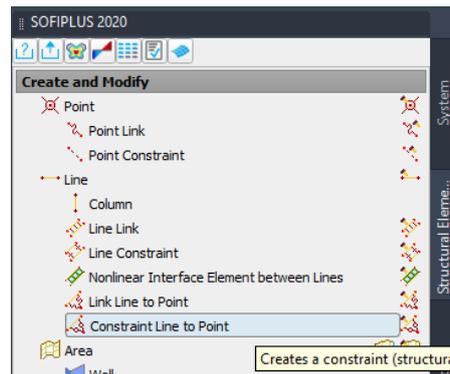


Figura 2E.36. Pasos para crear Constraint Line to Point

Estas vinculaciones las introducimos entre las líneas no estructurales que hemos dibujado en las zapatas y el punto base del fuste de estribo o de pila que acabamos de introducir. Para ello, una vez pulsamos en *Constraint Line to Point*, ponemos grupo 300:

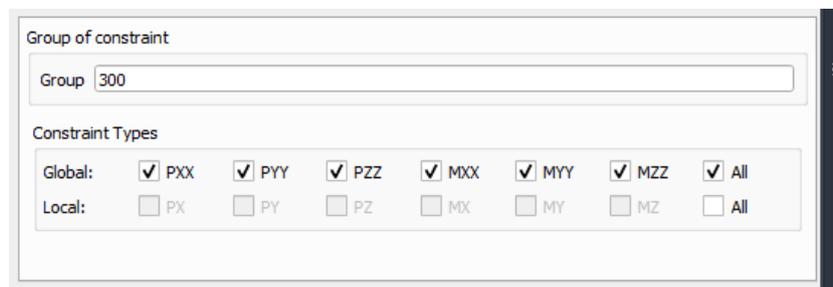


Figura 2E.37. Restricciones en grupo 300

Y seleccionamos la línea no estructural de una zapata (clicando en ella) y pulsamos el botón derecho del ratón y después seleccionamos el punto de base de fuste (click en él).

Repetimos la operación para todas las líneas no estructurales de la zapata y tendríamos lo siguiente:

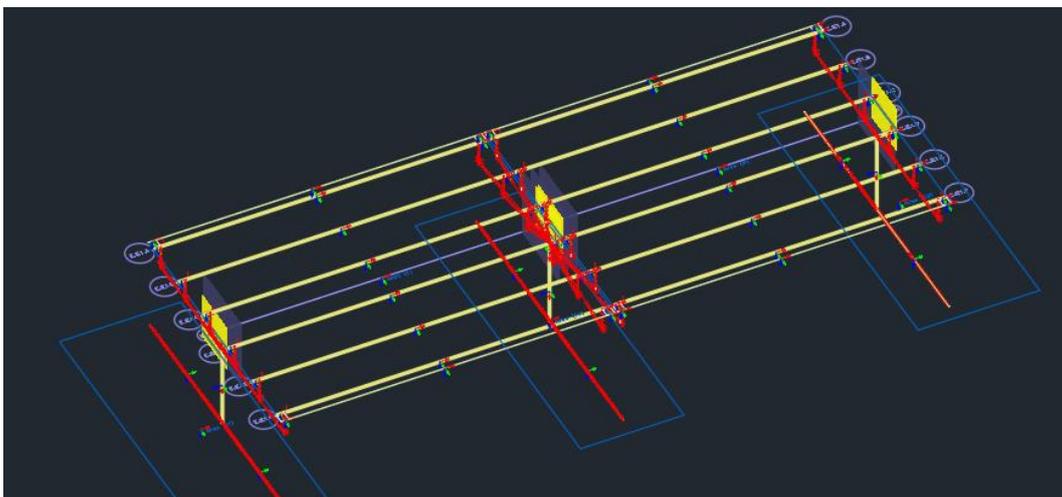


Figura 2E.38. Vista tridimensional de las restricciones (constraint) en la pila, estribos y zapatas

Las otras constraints que nos quedan van a vincular los dos vanos de tablero para simular la continuidad en la losa superior. Para ello, vamos a Point Constraint (Figura 2E.22).

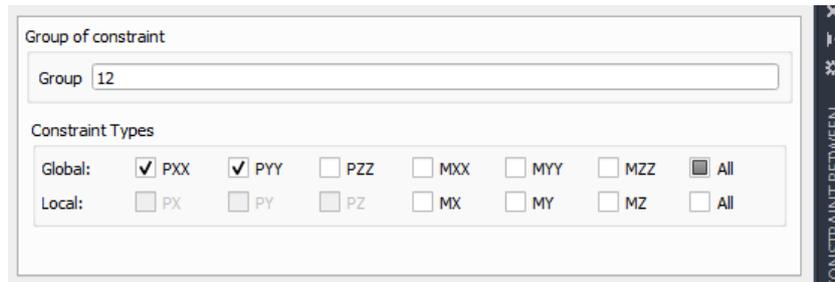


Figura 2E.39. Restricciones en grupo 300

Ponemos grupo 12 y solo vinculación de desplazamientos en dirección X y en dirección Y. Ahora dibujamos.

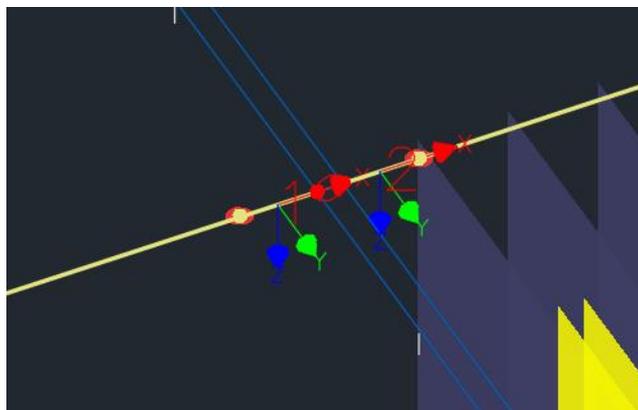


Figura 2E.40. Restricción (constraint) en un eje entre losas

Tendremos:

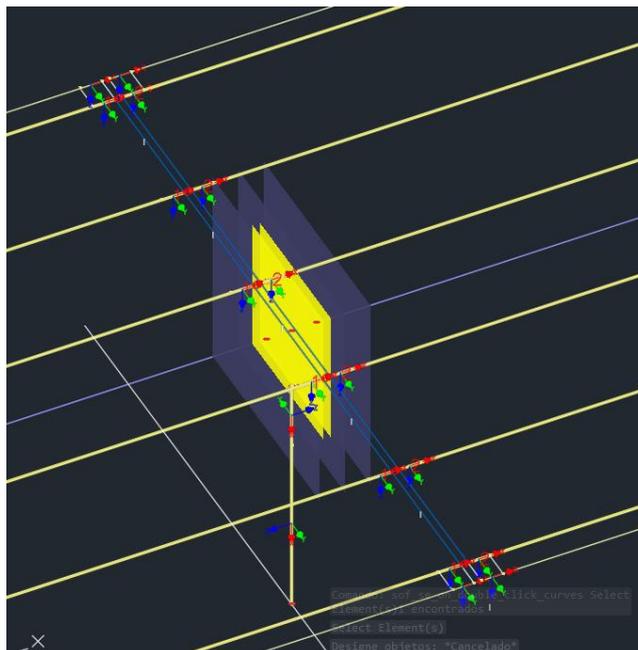


Figura 2E.41. Restricciones (constraints) entre losas en todos los ejes

Para introducir estos constraints es recomendable ocultar los grupos 300, 10, 15 y 20 desde la pestaña *Filter*.

Todavía queda introducir los apoyos provisionales de las vigas durante su tesado en fabrica, y otros también provisionales para evitar que vuelquen estas vigas mientras no está construida la losa superior.

Los apoyos provisionales de las vigas para su tesado se colocan en los siguientes puntos:

En la pila:

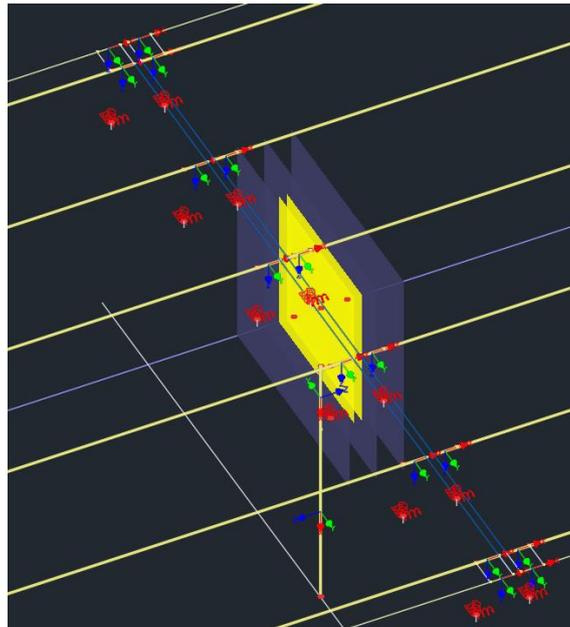


Figura 2E.42. Apoyos provisionales de vigas en la pila

En los estribos:

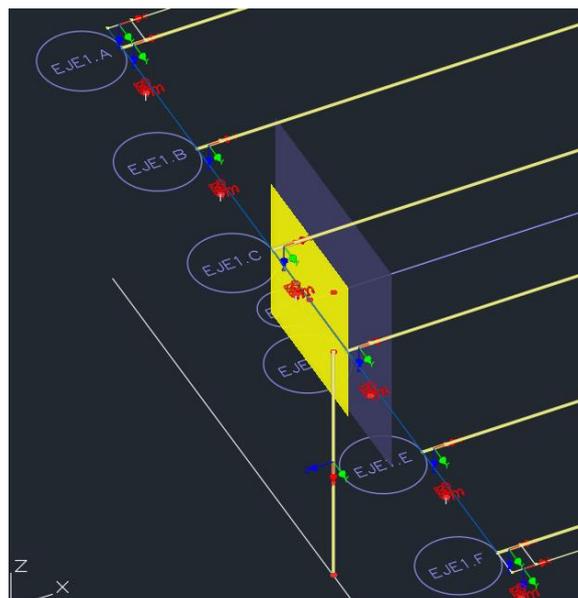


Figura 2E.43. Apoyos provisionales de vigas en estribos

Consisten en *Structural Points* con muelles.

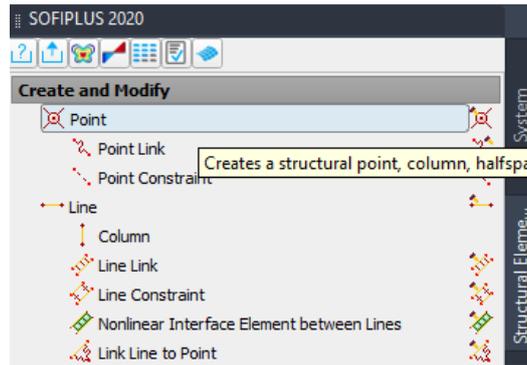


Figura 2E.44. Como ir a crear Structural Point

Sus características son las siguientes (Importante el número de grupo 18):

- Para la primera línea de apoyos de cada vano:

Type	Number	Group	Direction	Reference Area	Axial Stiffness	Transverse Stiffness	Torsional Stiffness	Nonlinear
Axial / Transverse	1	18	Global Z	1.000 m2	100000.00 kN/m3	0.00 kN/m3		<input type="checkbox"/>
Axial / Transverse	2	18	Global X	1.000 m2	100000.00 kN/m3	0.00 kN/m3		<input type="checkbox"/>
Axial / Transverse	3	18	Global Y	1.000 m2	100000.00 kN/m3	0.00 kN/m3		<input type="checkbox"/>
Torsional	4	18	Global X				100000000.00 ...	<input type="checkbox"/>

Figura 2E.45. Ventana Structural Point > Springs (Grupo 18), primera línea de vano

- Para la segunda línea de apoyos de cada vano:

Type	Number	Group	Direction	Reference Area	Axial Stiffness	Transverse Stiffness	Torsional Stiffness	Nonlinear
Axial / Transverse	65	18	Global Z	1.000 m2	100000.00 kN/m3	0.00 kN/m3		<input type="checkbox"/>
Axial / Transverse	66	18	Global X	1.000 m2	1.00 kN/m3	0.00 kN/m3		<input type="checkbox"/>
Axial / Transverse	67	18	Global Y	1.000 m2	100000.00 kN/m3	0.00 kN/m3		<input type="checkbox"/>
Torsional	68	18	Global X				100000000.00 ...	<input type="checkbox"/>

Figura 2E.46. Ventana Structural Point > Springs (Grupo 18), segunda línea de vano

El número de muelle da un poco igual.

Ejercicio 2F

Acciones y creación del MEF

F. RESOLUCIÓN

F.1. Casos de carga

En este ejercicio vamos a introducir en el modelo las siguientes acciones:

- Peso propio
- Cargas muertas
- Temperatura
- Viento
- Sobrecarga de agua en pilas

En *SOFIPLUS*: pestaña *Loads* de la paleta *SOFIPLUS* y entramos en el *Loadcase Manager*. Entonces, se abre la ventana de la Figura 2F.2.

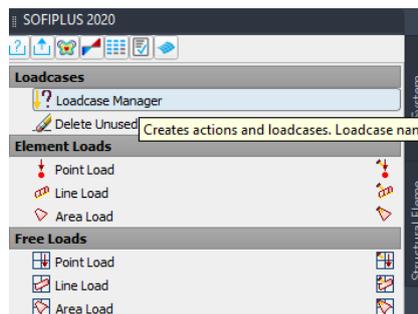


Figura 2F.1. Como ir a Loadcase Manager

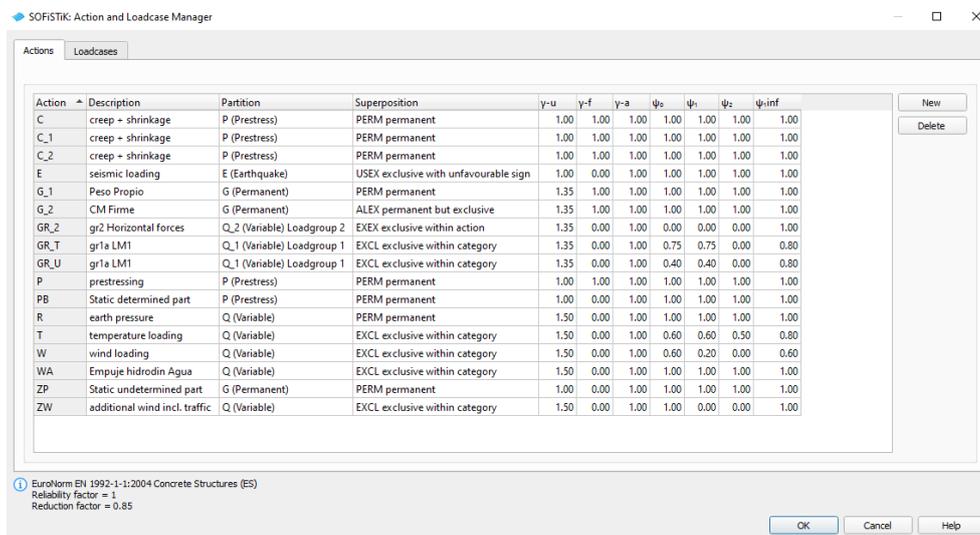


Figura 2F.2. Ventana Action and Loadcase Manager > Action

Comprobamos que nos aparecen todas las acciones de la figura anterior, excepto las que no son necesarias que incorporará SOFiSTiK más adelante. Las acciones no necesarias por ahora son: C, C_1, C_2, E, PB y ZP.

A continuación, vamos a la pestaña *Loadcases* e introducimos todos los casos de carga siguientes: **Es importante, para resolver este ejercicio, que asignemos los mismos números de casos de carga que los que se muestran en la figura siguiente. Cuando creamos un nuevo caso de carga podemos ponerle el número que queramos. Le ponemos los números de la Figura 2F.1.**

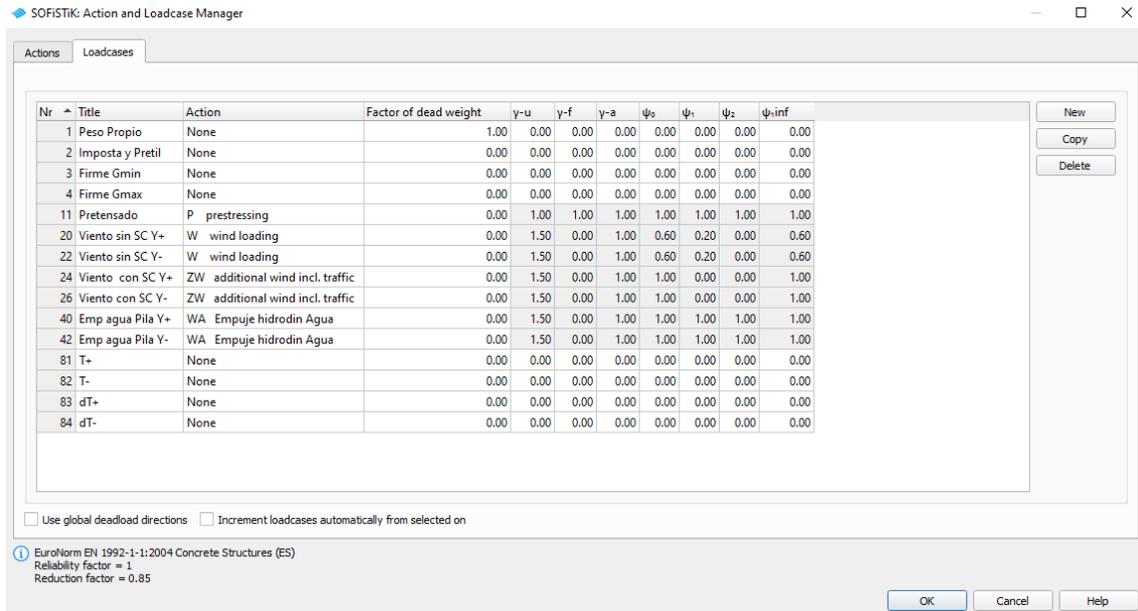


Figura 2F.3. Ventana Action and Loadcase Manager > Loadcases

Una vez creados los casos de carga comenzamos a introducir **las cargas muertas**. Para ello, utilizaremos *Line Load* del grupo *Free Loads* de la pestaña *Loads* de SOFIPLUS.

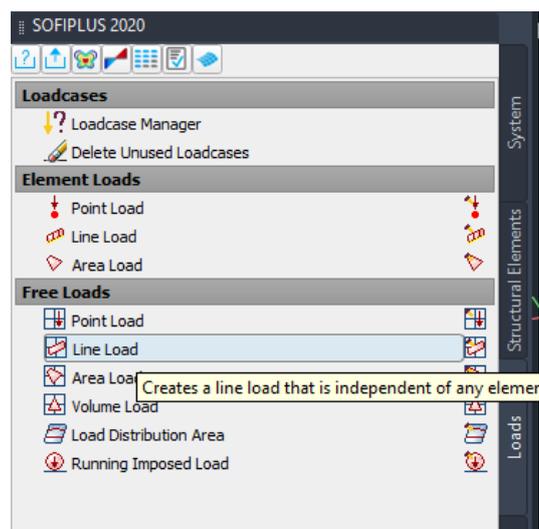


Figura 2F.4. Como ir a Line Load, para entrar cargas lineales

Entonces se abre el siguiente dialogo:

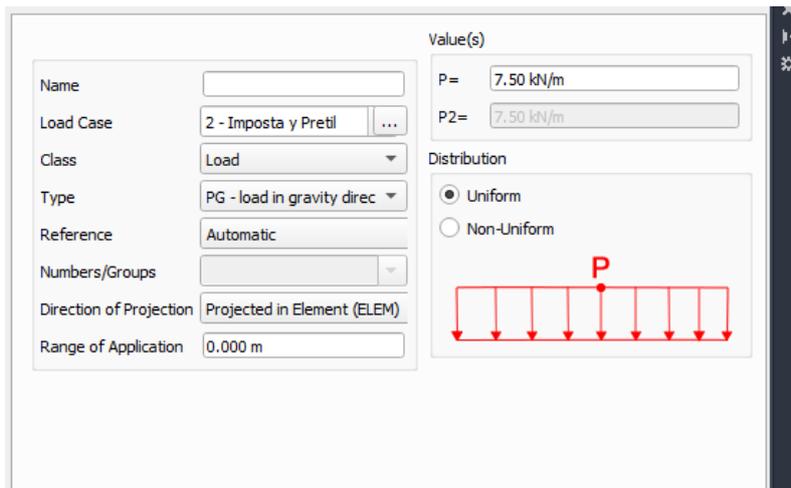


Figura 2F.5. Ventana Line Load. Carga de imposta y pretel

La carga del pretel es una carga uniforme lineal de 7.5 kN/m y en el caso de carga 2, que sigue la dirección de la gravedad. Una vez rellenado este formulario dibujamos la carga sobre los bordes del tablero. Fijaros que hay 4 líneas de carga en la siguiente figura, dos por cada vano:

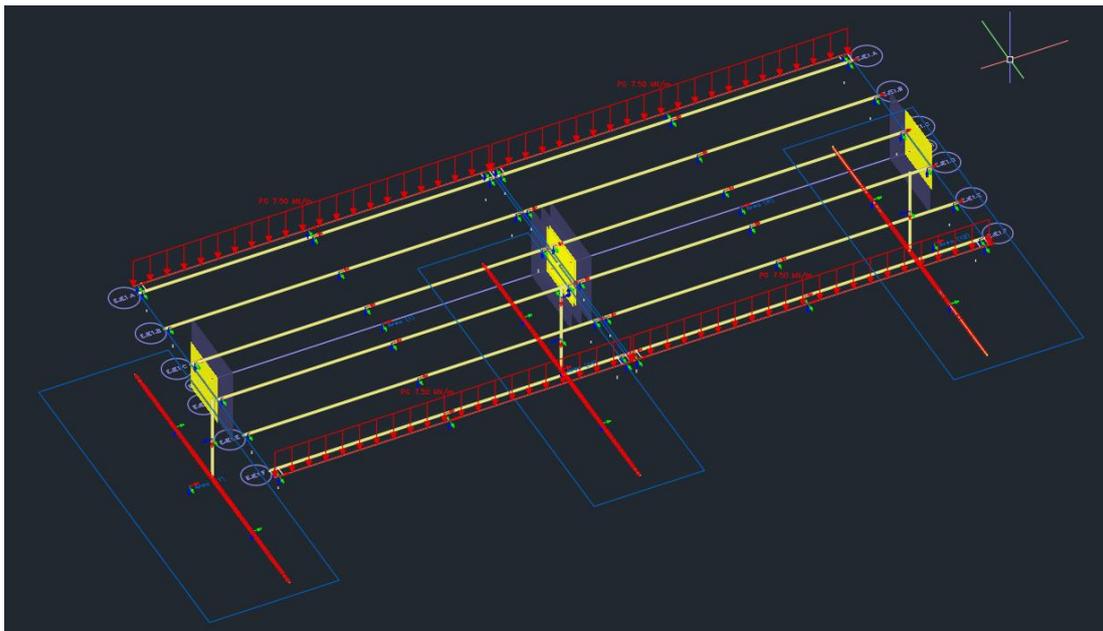


Figura 2F.6. Carga lineal de imposta y pretel sobre la losa

La otra parte de las cargas muertas es el peso de la mezcla bituminosa. Para introducirla en el modelo seleccionamos un elemento área, doble click en el nombre *Area*:

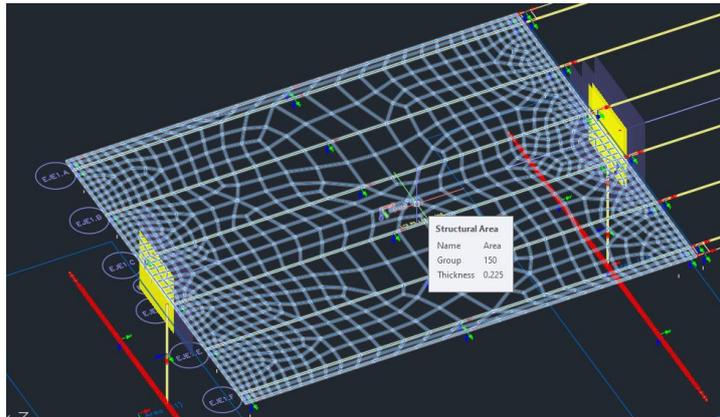


Figura 2F.7. Losa 1 seleccionada

Y se abre la siguiente ventana:

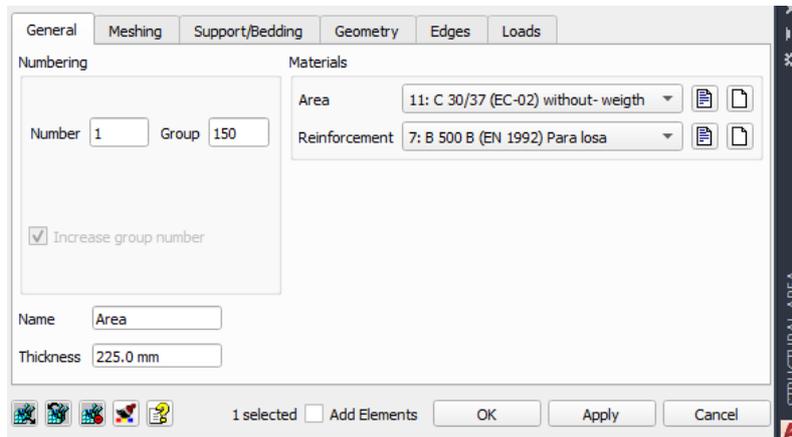


Figura 2F.8. Ventana Structural Area > General. Carga de mezcla bituminosa

En ella, vamos a la pestaña *Loads* y creamos las siguientes cargas con el icono +. Introducimos estos datos:

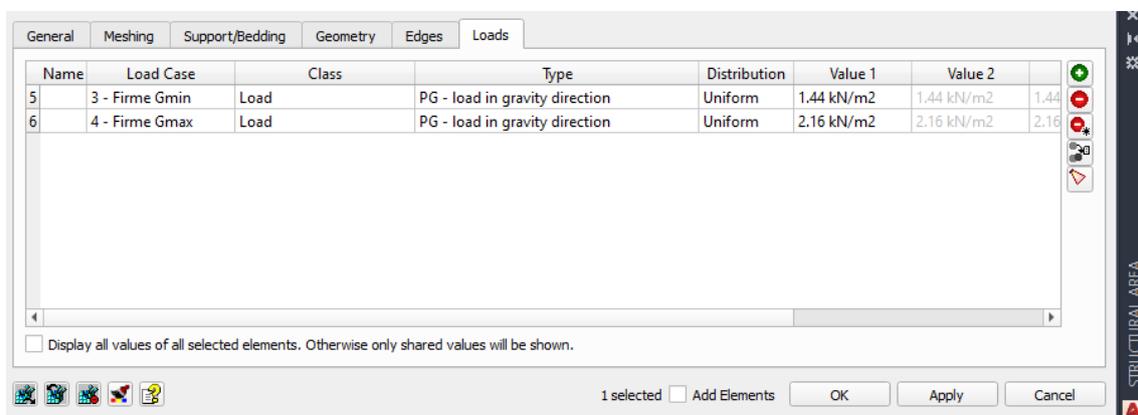


Figura 2F.9. Ventana Structural Area > Loads. Carga de mezcla bituminosa

Repetimos el proceso para la losa del vano 2.

Temperatura:

Para introducir la temperatura, comenzamos por la hipótesis de LC 81: T+.

Vamos a *Loads > Free Loads > Line Load* (Figura 2F.4). Se abre el siguiente dialogo:

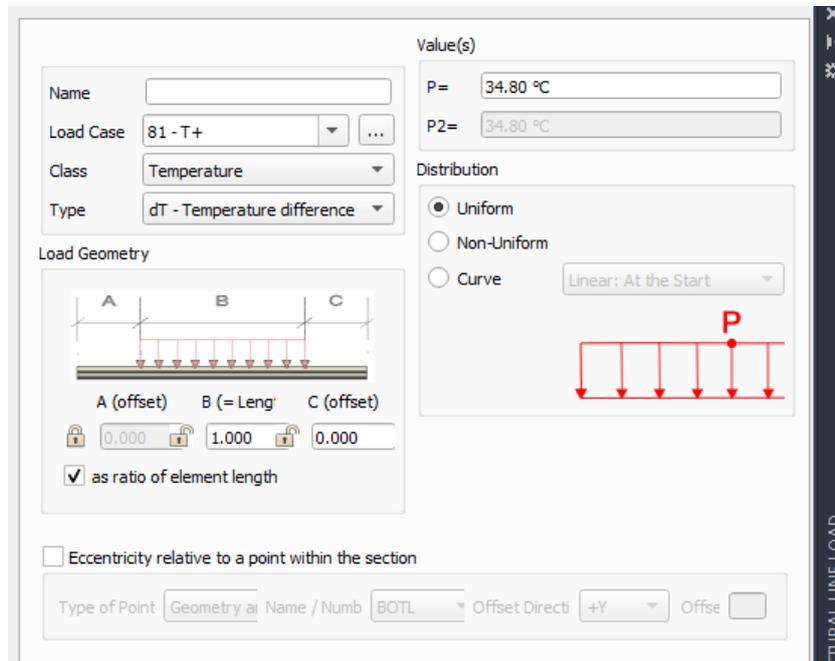


Figura 2F.10. Ventana Line Load. Temperatura, LC 81: T+

Una vez que tenemos puesto $P = 34.80 \text{ }^{\circ}\text{C}$ y relleno lo demás, dibujamos esa carga lineal en todas las vigas del tablero en el modelo.



Figura 2F.11. Carga lineal térmica LC 81: T+

Esta carga térmica de la hipótesis LC 81: T+, la vamos a introducir en el tablero. Para ello, volvemos a seleccionar la losa de un vano y nos aparece el dialogo siguiente:

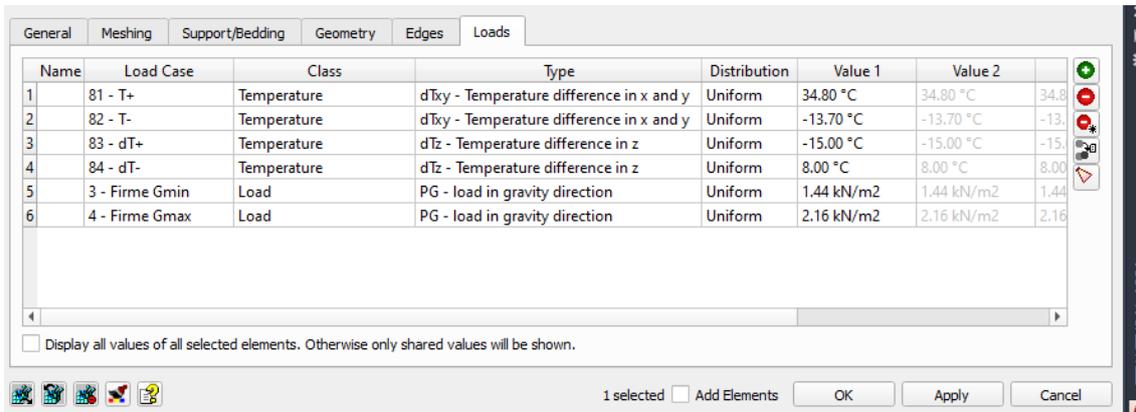


Figura 2F.12. Ventana Structural Area > Loads. Carga térmica

Lo completamos añadiendo *Load Cases* con el ícono del signo + hasta introducir todos los datos como viene en la figura anterior. También para los *Load Cases* 82, 83 y 84.

Hacemos lo mismo para la losa superior del tablero en el vano 2.

Para introducir el resto de cargas de temperatura en todas las vigas del tablero hacemos lo mismo que para el caso de carga 81+.

Para el caso de carga 82: Pestaña *Loads* > *Free Loads* > *Line Load* (Figura 2F.4).

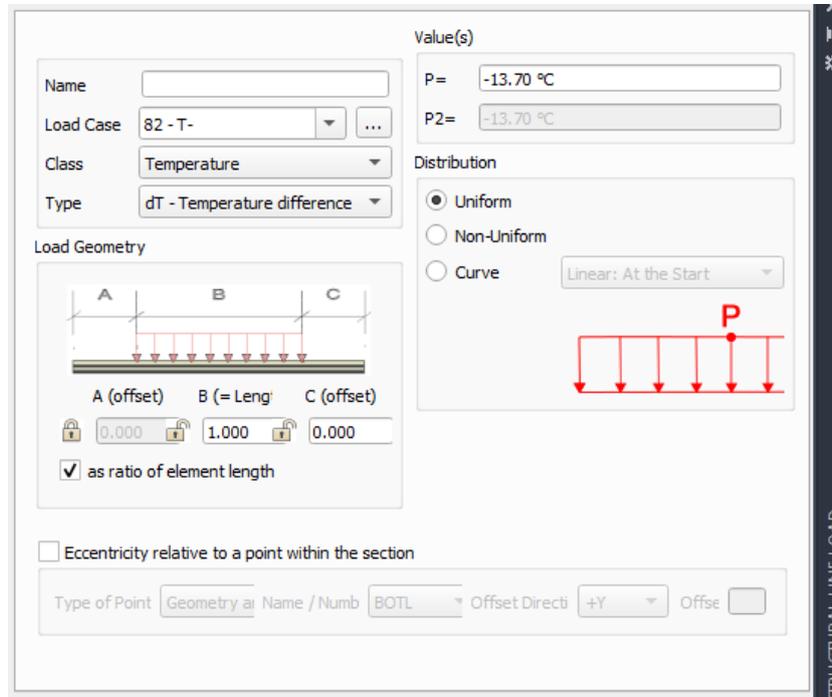


Figura 2F.13. Ventana Line Load. Temperatura, LC 82: T-

Y dibujamos esta carga en todas las vigas.

Para el caso de carga 83: Pestaña *Loads* > *Free Loads* > *Line Load* (Figura 2F.4).

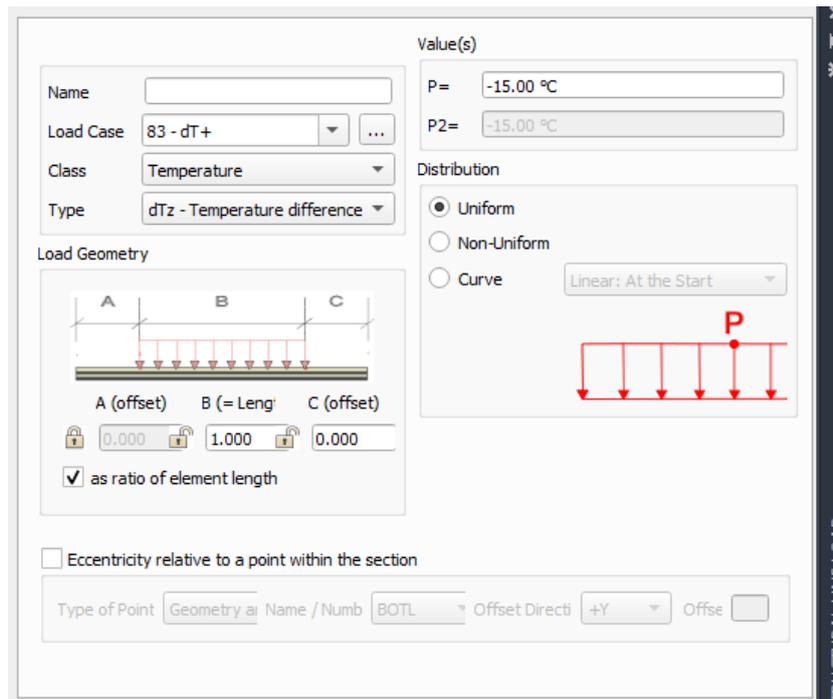


Figura 2F.14. Ventana *Line Load*. Temperatura, LC 83: dT+

Y dibujamos esta carga en todas las líneas.

Para el caso de carga 84: Pestaña *Loads* > *Free Loads* > *Line Load* (Figura 2F.4).

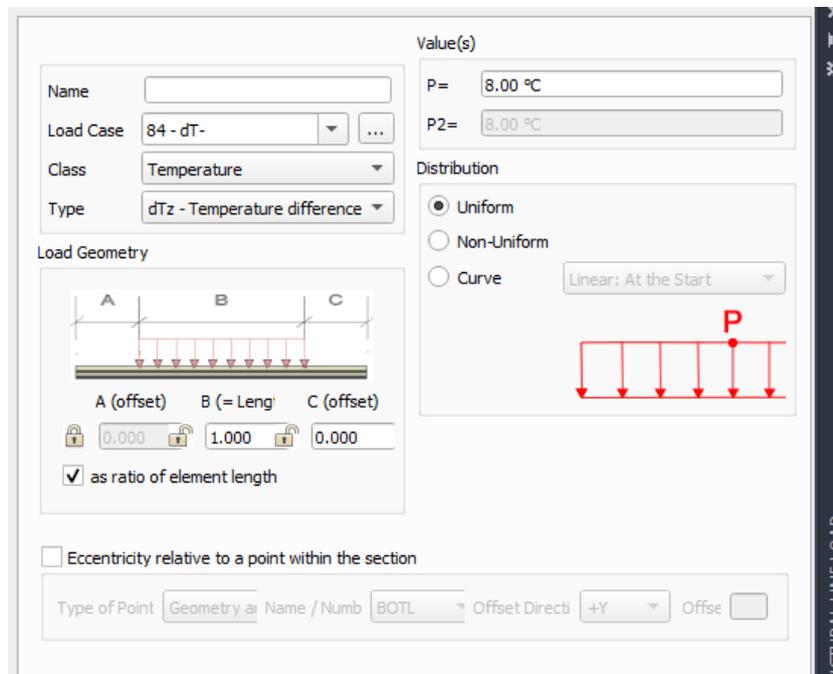


Figura 2F.15. Ventana *Line Load*. Temperatura, LC 84: dT-

Y dibujamos esta carga en todas las líneas.

Viento:Caso de carga 20: Viento sin SC Y+

Entramos en la Pestaña *Loads* > *Free Loads* > *Line Load* (Figura 2F.4). Se abre el diálogo:

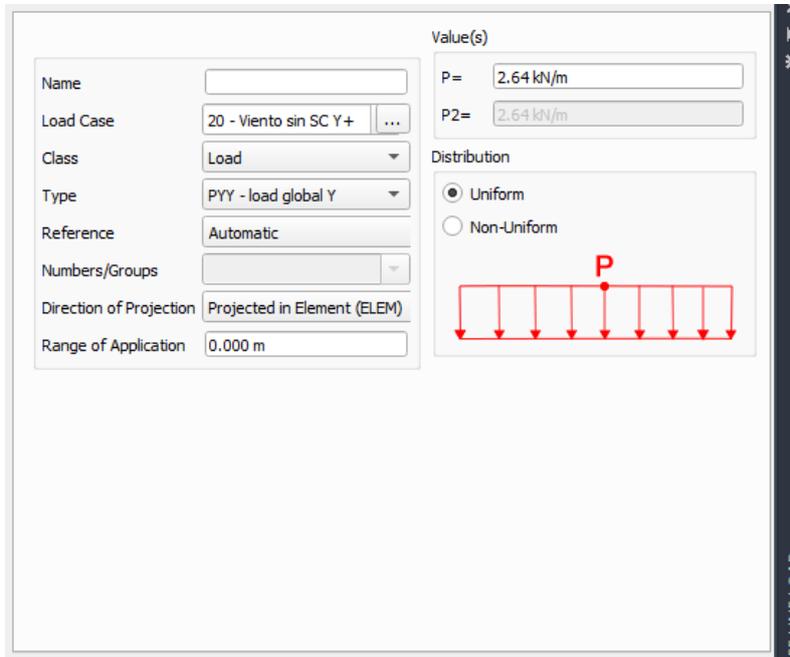


Figura 2F.16. Ventana *Line Load*. Viento, LC 20: Viento sin SC Y+

Y dibujamos la carga en la viga del borde derecho del vano 1 y 2. Tenemos:

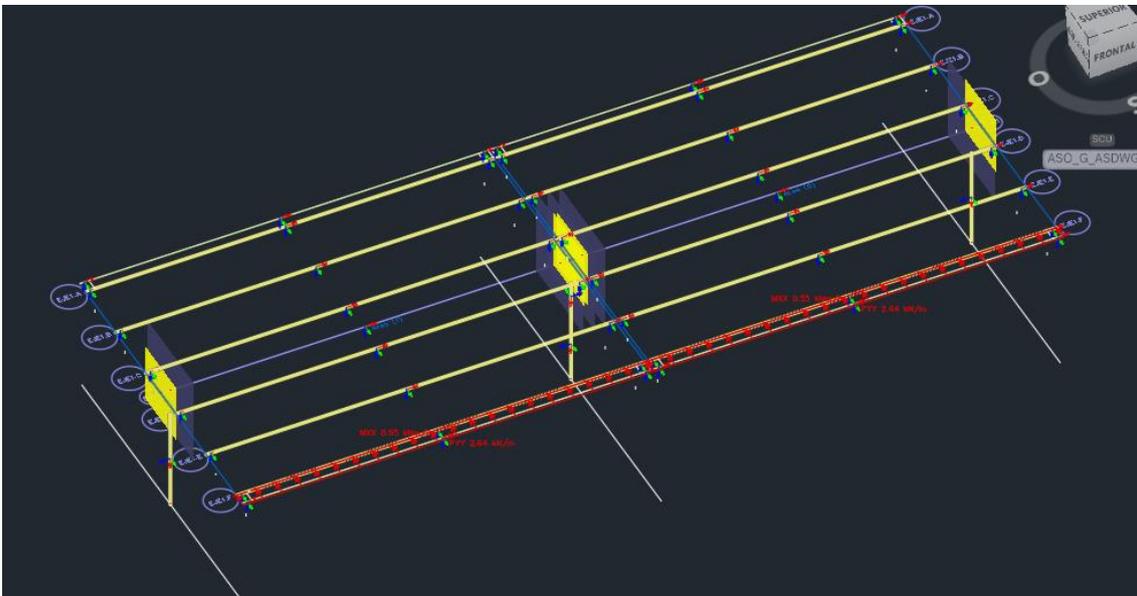


Figura 2F.17. Carga lineal de viento en borde derecho, LC 20: Viento sin SC Y+

En la imagen anterior, también aparecen un momento de torsión actuando en la viga. Este momento lo introducimos mediante, *Load > Free Load > Line load*:

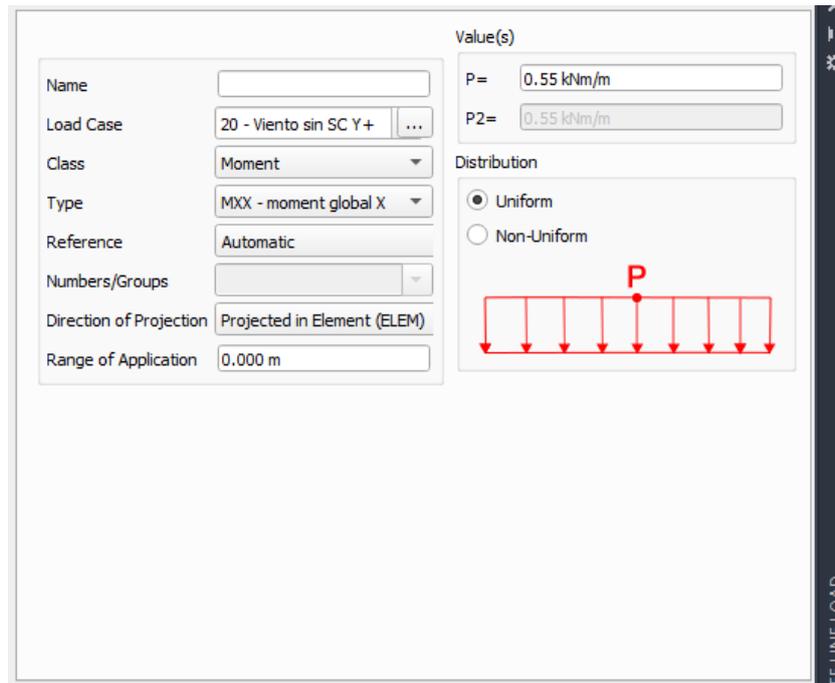


Figura 2F.18. Ventana Line Load. Momento. Viento, LC 20: Viento sin SC Y+

Y lo dibujamos en las dos vigas derechas, la del vano 1 y la del vano 2.

Caso de carga 22: Viento sin SC Y-

Loads > Free Loads > Line Load (Figura 2F.4). Completar la ventana siguiente:

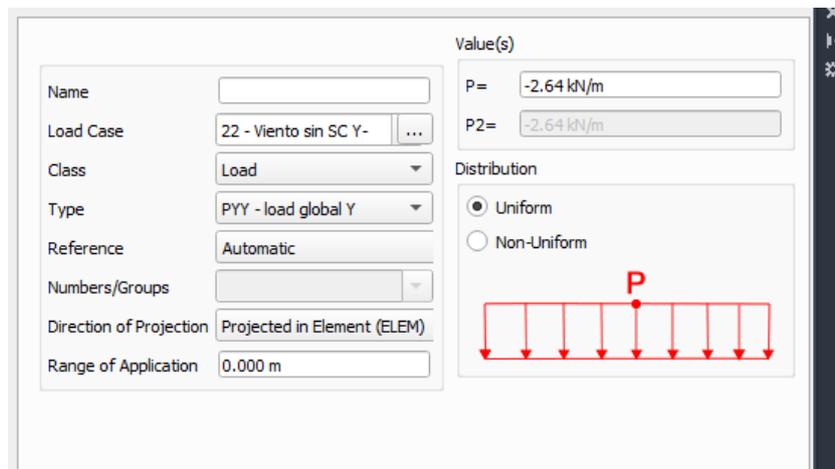


Figura 2F.19. Ventana Line Load. Viento, LC 22: Viento sin SC Y-

Y dibujamos esta carga en la viga izquierda del vano 1 y 2.

A continuación, introducimos el momento mediante, *Load > Free Load > Line load*:

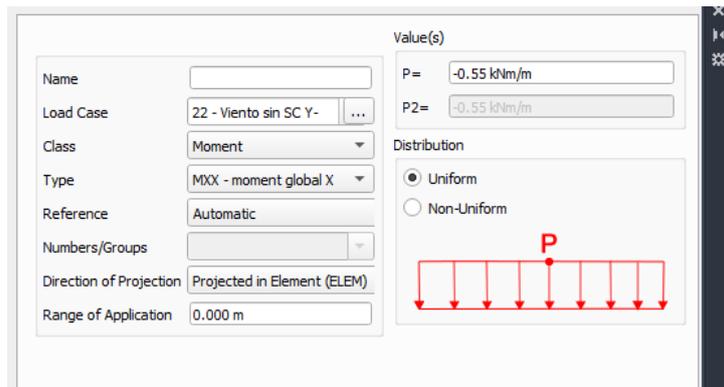


Figura 2F.20. Ventana Line Load. Momento. Viento, LC 22: Viento sin SC Y-

Y lo dibujamos en las vigas de la izquierda, la del vano 1 y la del vano 2:

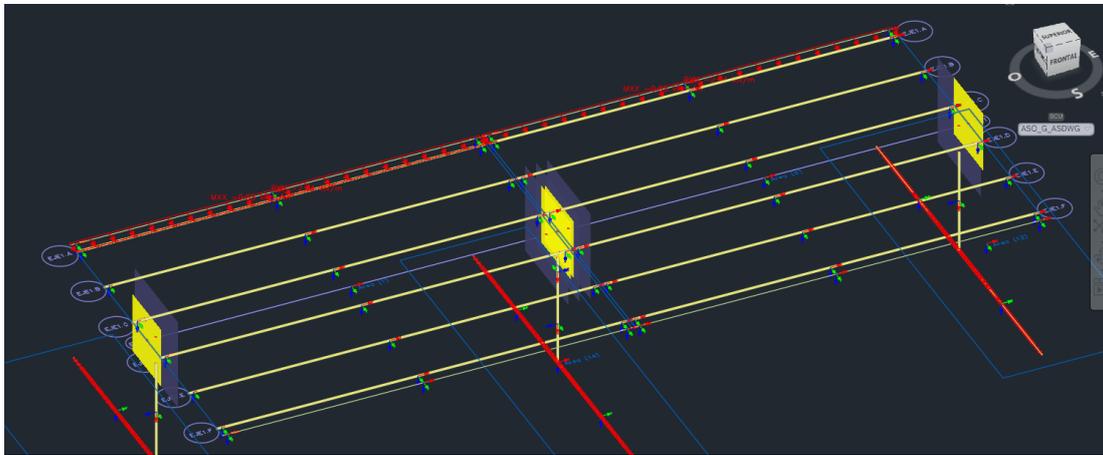


Figura 2F.21. Carga lineal de viento en borde izquierdo, LC 22: Viento sin SC Y-

Caso de carga 24: Viento con SC Y+

Loads > Free Loads > Line Load (Figura 2F.4). Completar la ventana siguiente:

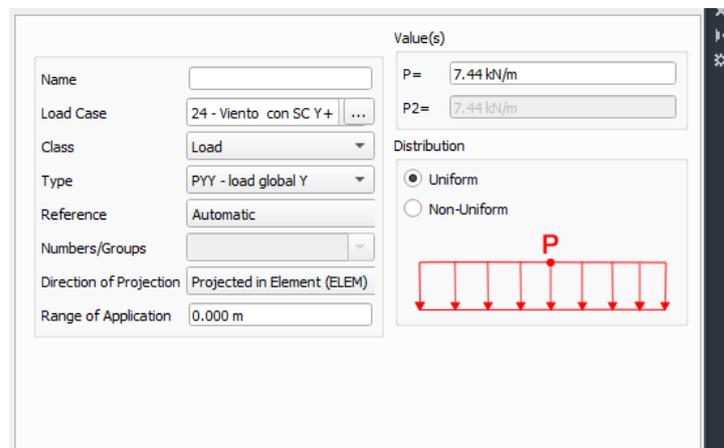


Figura 2F.22. Ventana Line Load. Viento, LC 24: Viento con SC Y+

Y dibujamos esta carga en la viga derecha del vano 1 y del vano 2.

A continuación, introducimos el momento mediante, *Load > Free Load > Line load*:

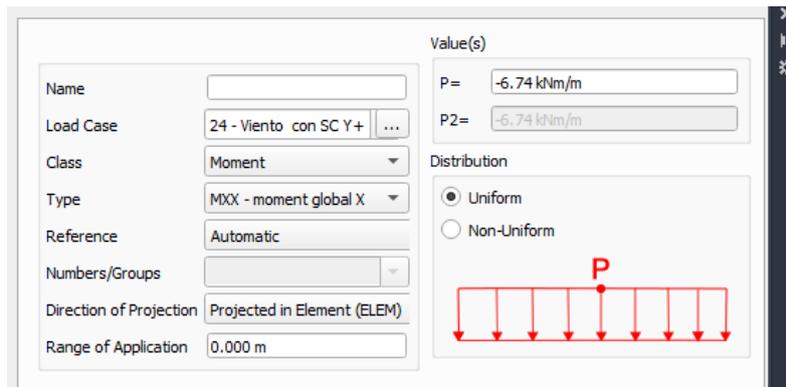


Figura 2F.23. Ventana Line Load. Momento. Viento, LC 24: Viento con SC Y+

Y lo dibujamos en las vigas de la derecha, las del vano 1 y 2:

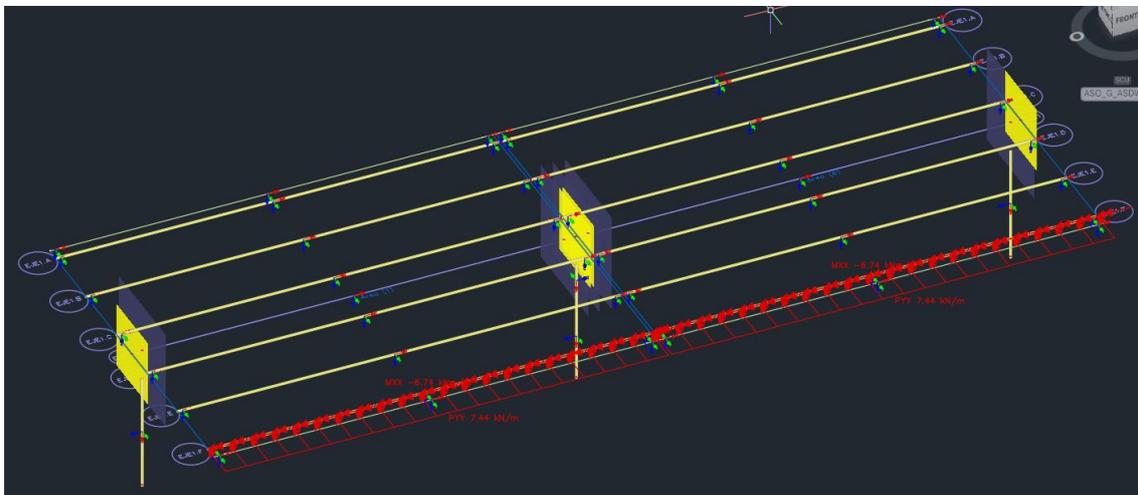


Figura 2F.24. Carga lineal de viento en borde derecho, LC 24: Viento con SC Y+

Caso de carga 26: Viento con SC Y-

Loads > Free Loads > Line Load (Figura 2F.4). Completar la siguiente ventana:

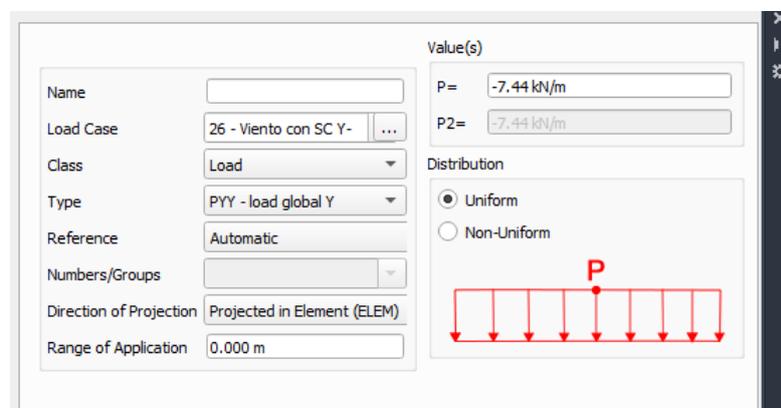


Figura 2F.25. Ventana Line Load. Viento, LC 26: Viento con SC Y-

Y dibujamos esta carga en la viga izquierda del vano 1 y del vano 2.

A continuación, introducimos el momento mediante, *Load > Free Load > Line Load*:

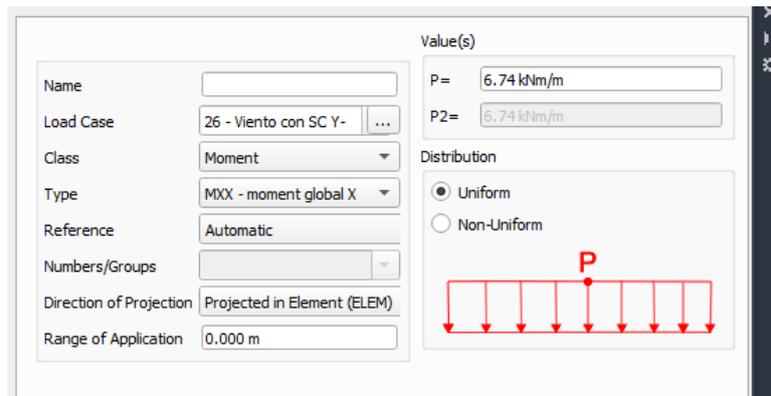


Figura 2F.26. Ventana Line Load. Momento. Viento, LC 26: Viento con SC Y-

Y lo dibujamos en las vigas de la izquierda, la del vano 1 y la del vano 2:

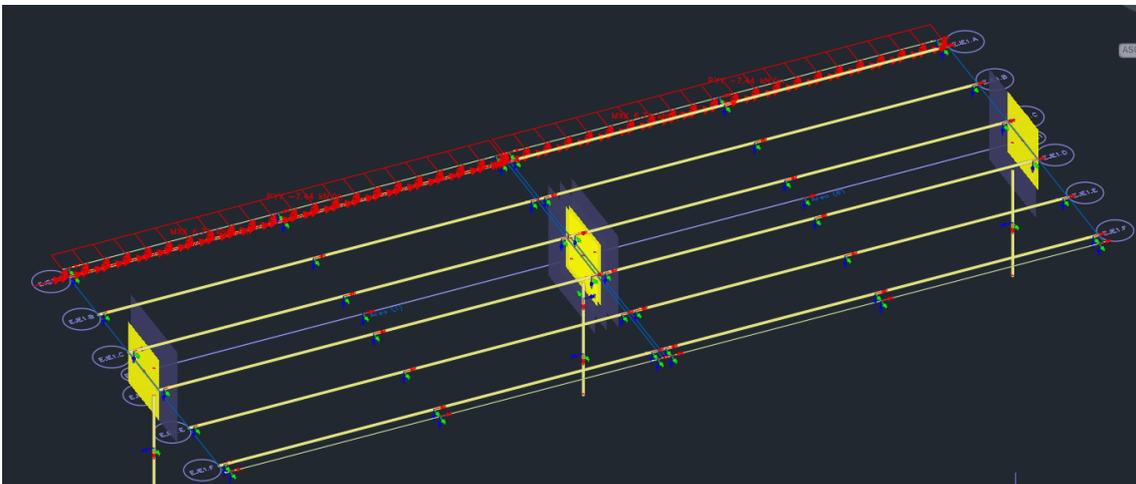


Figura 2F.27. Carga lineal de viento en borde izquierdo, LC 26: Viento con SC Y-

Sobrecarga de agua en pilas

Caso de carga 40: Emp agua Pila Y+

Load > Free Load > Line load:

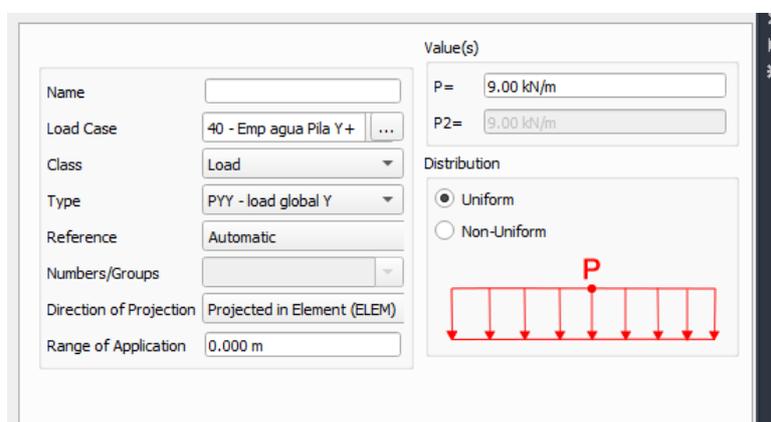


Figura 2F.28. Ventana Line Load. Empuje agua pila Y+

Y dibujamos la carga en el primer tramo de la pila:

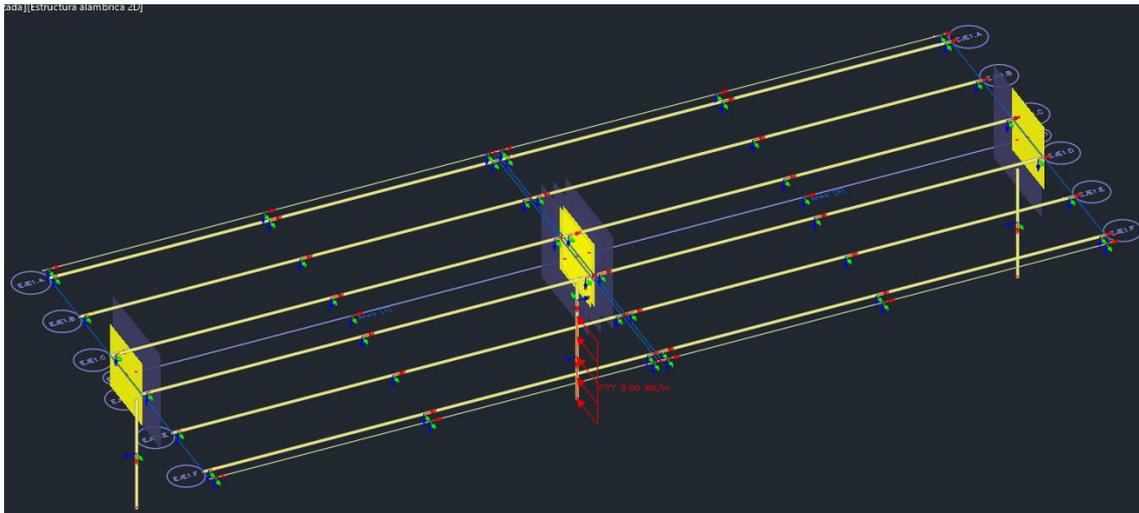


Figura 2F.29. Carga lineal del empuje del agua en pila, Y+

Caso de carga 42: Emp agua Pila Y-

Load > Free Load > Line load:

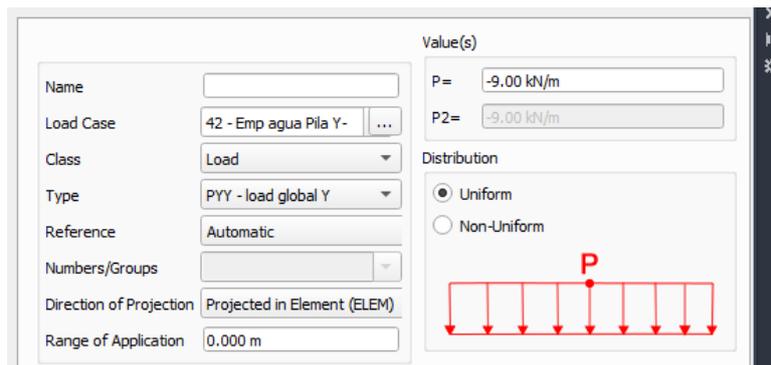


Figura 2F.30. Ventana Line Load. Empuje agua pila Y-

Y lo dibujamos la carga en el primer tramo de la pila:

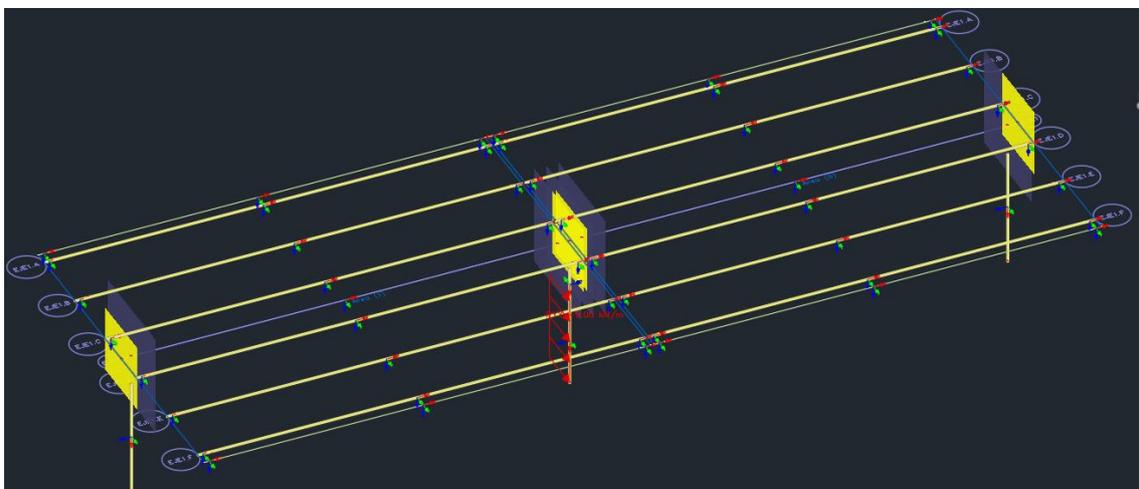


Figura 2F.31. Carga lineal del empuje del agua en pila, Y-

F.2. Modelo de Elementos Finitos

Para generar el modelo de elementos finitos, pulsamos en el icono de la figura siguiente:

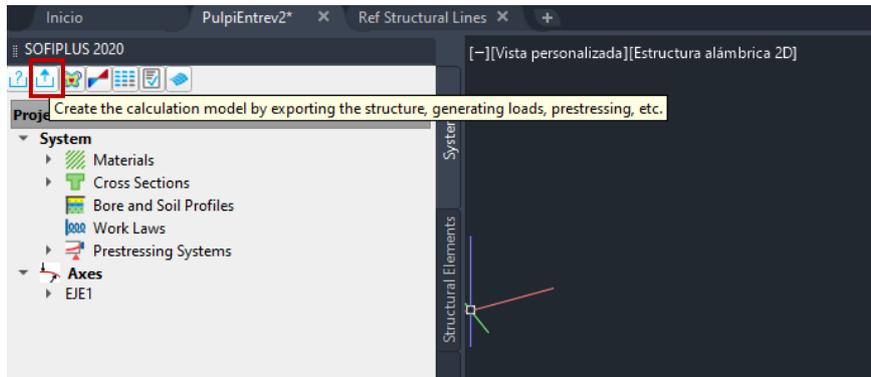


Figura 2F.32. Ícono para generar el modelo de elementos finitos

Y se abrirá el siguiente cuadro de diálogo:

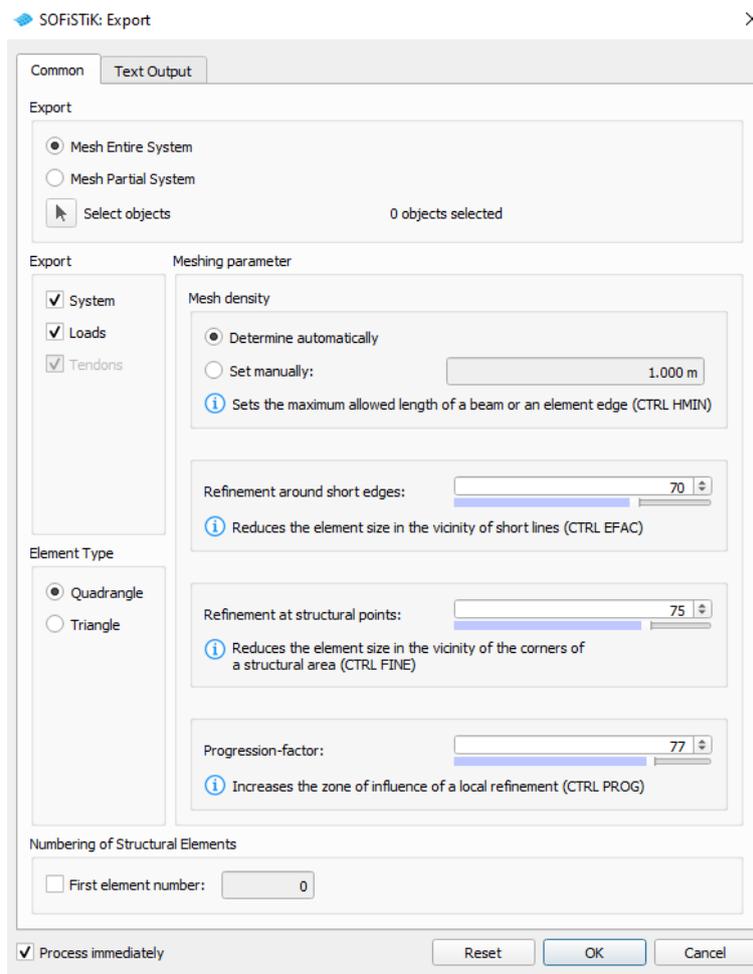


Figura 2F.33. Ventana Export > Common. Para configurar los parámetros del modelo de cálculo

Al aceptar este dialogo se genera el modelo de análisis en *SOFiSTiK Structural Desktop*:

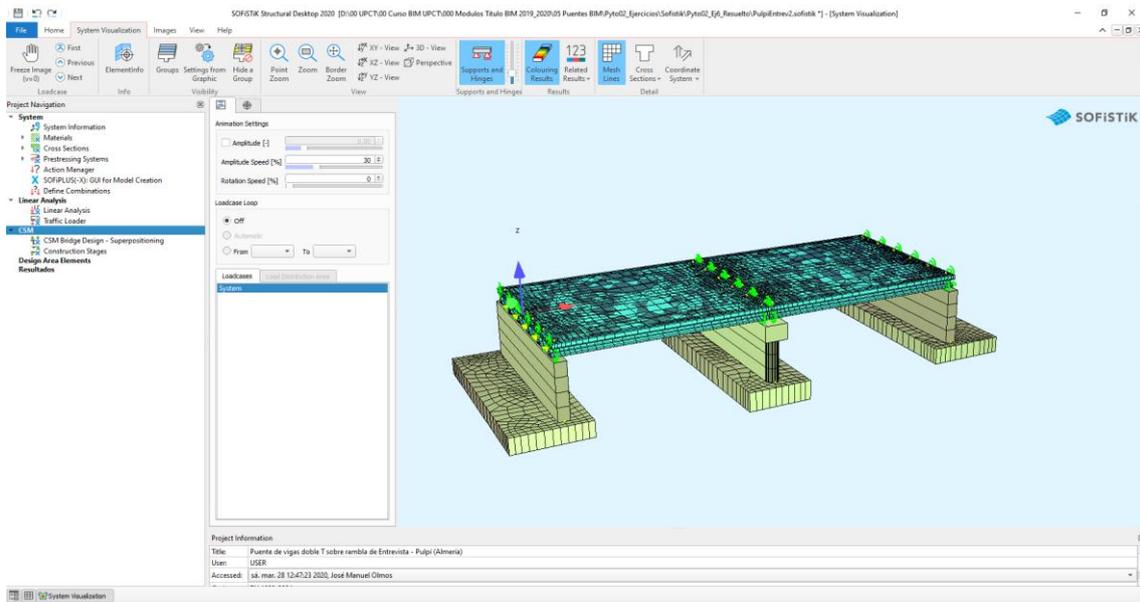


Figura 2F.34. Modelo de cálculo de la estructura

Ejercicio 2G

Fases de construcción y sobrecargas de tráfico. SSD

G. RESOLUCIÓN

G.1. Análisis lineal

Vamos a configurar y ejecutar una serie de tareas (*task*) de cálculo en *SOFiSTiK Structural Desktop*. Lo primero que haremos es introducir una tarea en el grupo de tareas *System* en el navegador del proyecto. Esta tarea es para combinar casos de carga de temperatura. Para introducirla, pulsamos el botón derecho del ratón en la posición donde queremos insertar la nueva tarea y seleccionamos *Insert Task*.

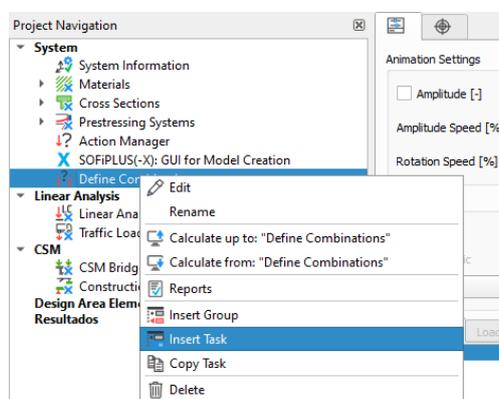


Figura 2G.1. Pasos para configurar tareas de cálculo

Se abre:

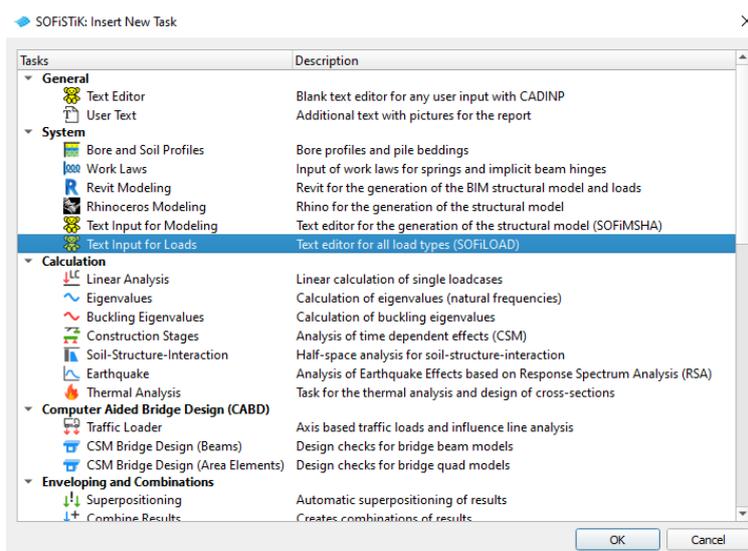


Figura 2G.2. Ventana Insert New Task

Elegimos la tarea marcada en azul en la figura anterior. Aceptamos.

Ya tenemos la tarea nueva en el navegador del proyecto.

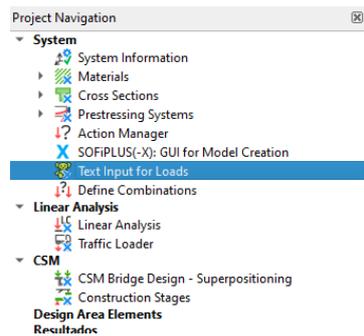


Figura 2G.3. Tarea Text Input for Loads insertada en el Navegador de Proyectos

Doble click sobre ella.



Figura 2G.4. Apariencia común del Editor Teddy

Se nos abre Teddy que es un editor de texto donde escribir ordenes en el lenguaje de SOFiSTiK. En esta tarea donde, está el cuadro rojo en la figura anterior, copiamos y pegamos el siguiente código:

```
HEAD Temperature Load Combinations

LC 91 TYPE T TITL "T summer posdt TN+wm*dT"
COPY 81
COPY 83 FACT 0.75
LC 92 TYPE T TITL "T summer negdt TN+wm*dT"
COPY 81
COPY 84 FACT 0.75
LC 93 TYPE T TITL "T winter posdt TN+wm*dT"
COPY 82
COPY 83 FACT 0.75
LC 94 TYPE T TITL "T winter negdt TN+wm*dT"
COPY 82
COPY 84 FACT 0.75
LC 95 TYPE T TITL "T summer posdt wn*TN+dT"
COPY 81 FACT 0.35
COPY 83
LC 96 TYPE T TITL "T summer negdt wn*TN+dT"
COPY 81 FACT 0.35
COPY 84
LC 97 TYPE T TITL "T winter posdt wn*TN+dT"
COPY 82 FACT 0.35
COPY 83
LC 98 TYPE T TITL "T winter negdt wn*TN+dT"
COPY 82 FACT 0.35
COPY 84
```

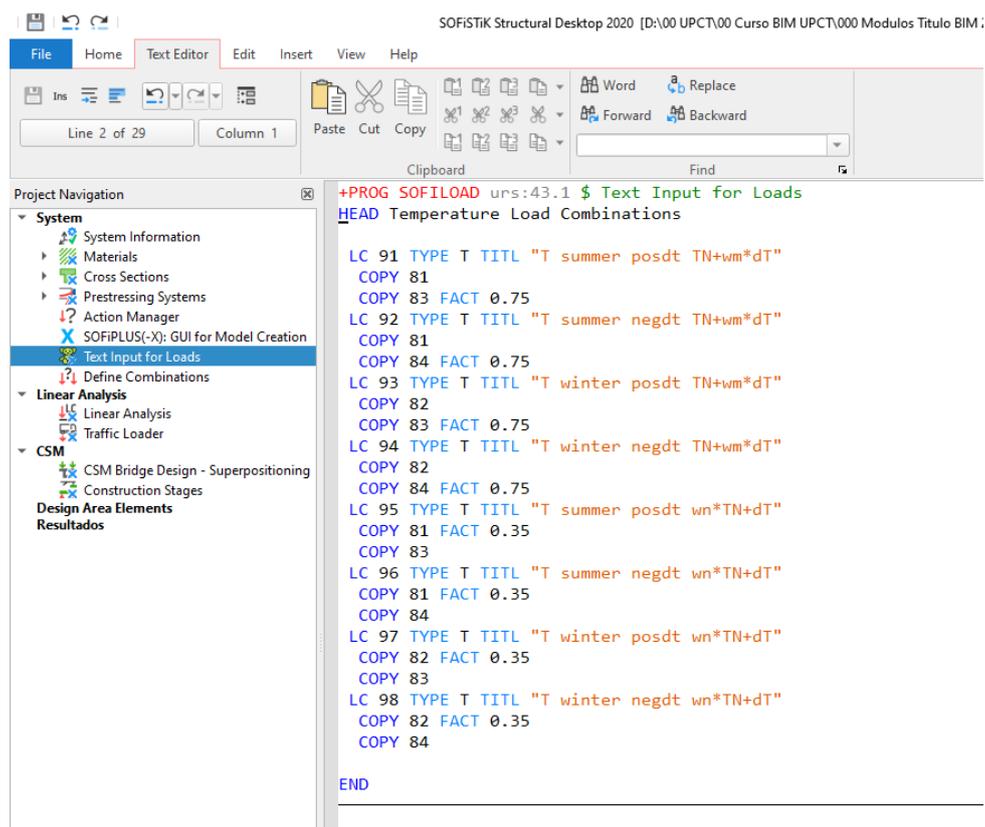


Figura 2G.5. Código copiado en el Editor Teddy

A continuación, calculamos esta tarea. Clicar con el botón derecho sobre ella y pulsamos calcular.

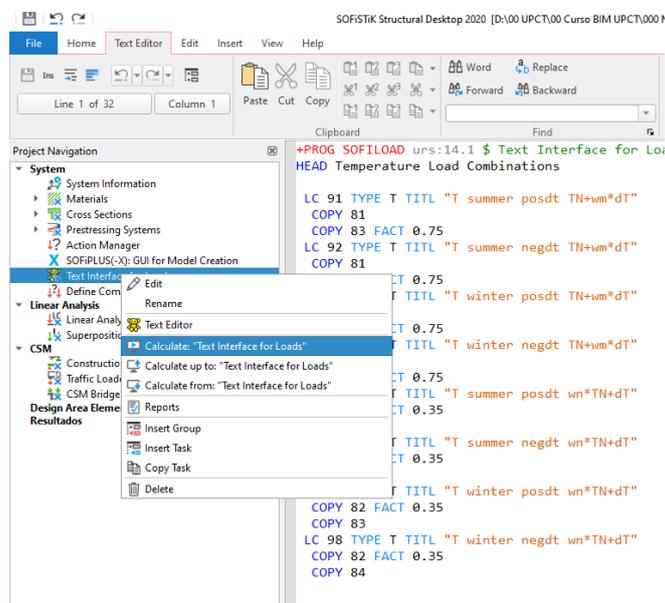


Figura 2G.6. Pasos para calcular la tarea creada en Teddy

Con este cálculo se definen los casos de carga del 91 al 98. Esta tarea es necesaria para combinar las hipótesis de componente uniforme y de la diferencia de temperatura como se indica en la IAP-11 (art. 4.3.1.3) y en el Ec-1.

Una vez calculada, nos aparece el cuadro de cálculo:

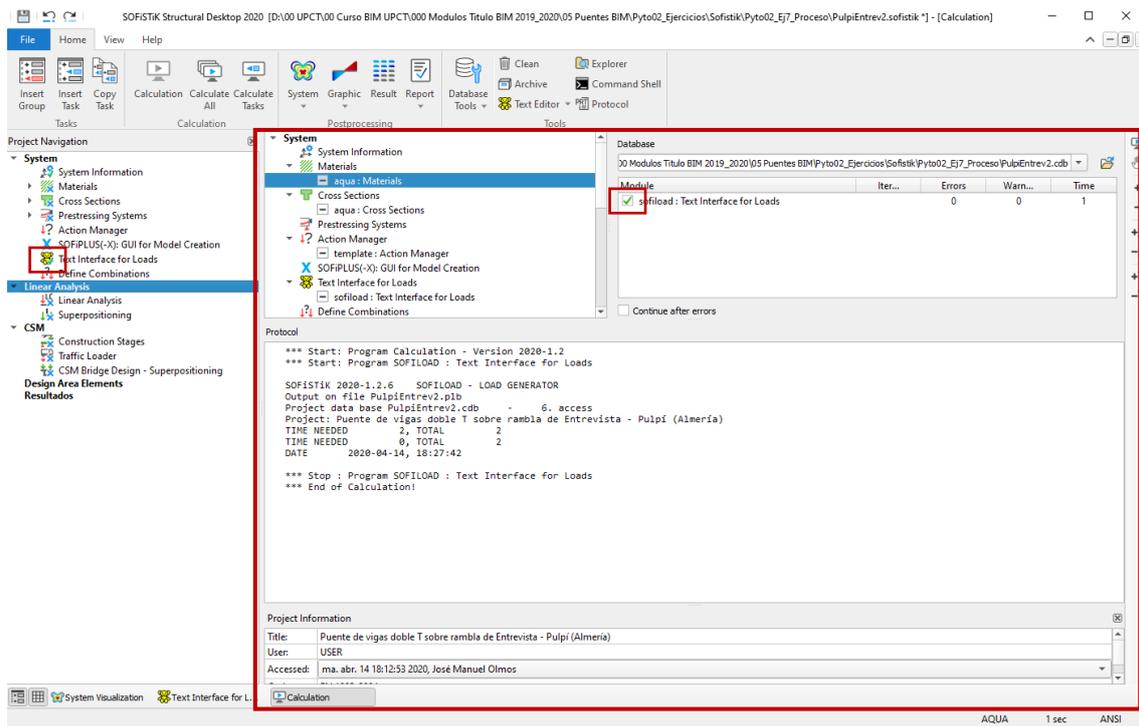


Figura 2G.7. Cuadro de cálculo tras ejecución de Teddy

En este cuadro de cálculo aparece el progreso del cálculo, los mensajes de error si los hay, los avisos si los hay, y el programa que realiza el cálculo (en este caso Sofiload).

Una vez calculada la tarea, aparece un tic verde en la misma si el cálculo se ha realizado correctamente.

Ahora vamos a realizar el análisis elástico y lineal para cada caso de carga definido. Para ello, doble click sobre la tarea análisis lineal en el navegador del proyecto.

Se abrirá el cuadro de diálogo siguiente:

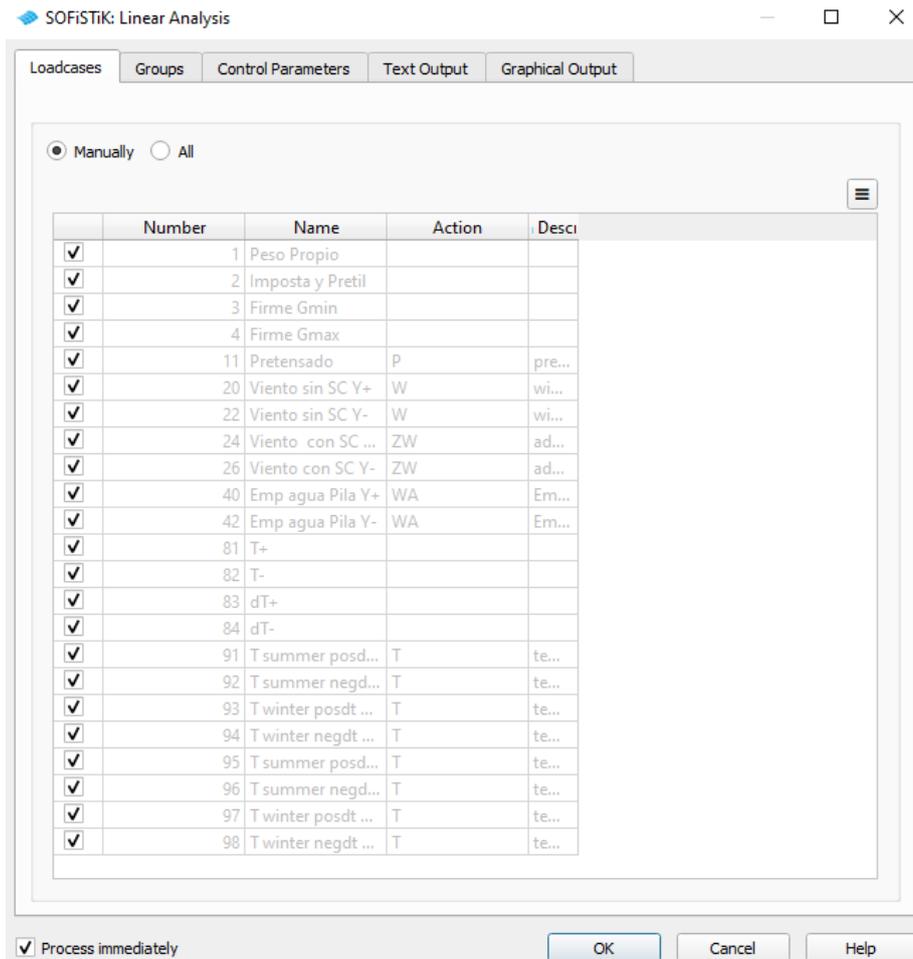


Figura 2G.8. Ventana Linear Analysis > Loadcases. Todos los casos de cargas seleccionados

Seleccionamos todos los casos de carga.

En la pestaña *Grupos*, seleccionamos todos los grupos, menos el 18 y el 19; ya que estos grupos corresponden a apoyos provisionales de las vigas que no están una vez construido el puente.

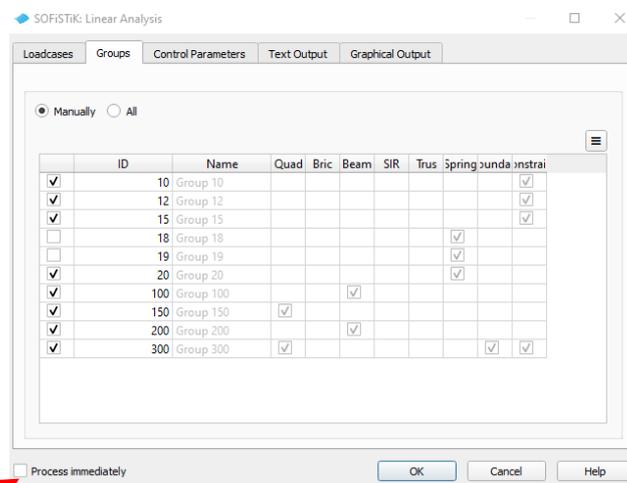


Figura 2G.9. Ventana Linear Analysis > Groups. Grupos seleccionados

Quitamos la selección de *Process immediately*, para que no calcule todavía y aceptamos.

A continuación, botón derecho del ratón sobre la tarea de *Linear Analysis* y la convertimos en *User Task*:

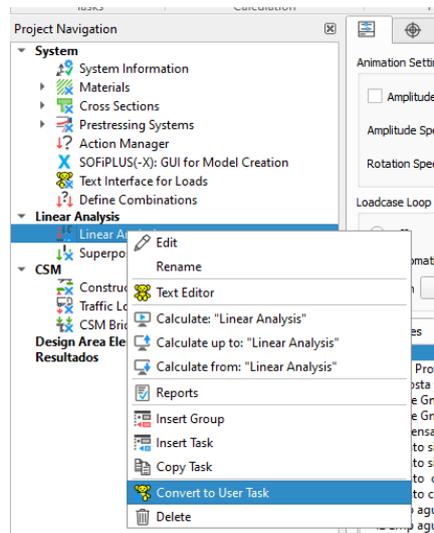


Figura 2G.10. Pasos para convertir a User Task

De esta forma observamos que el icono de la tarea ha cambiado:

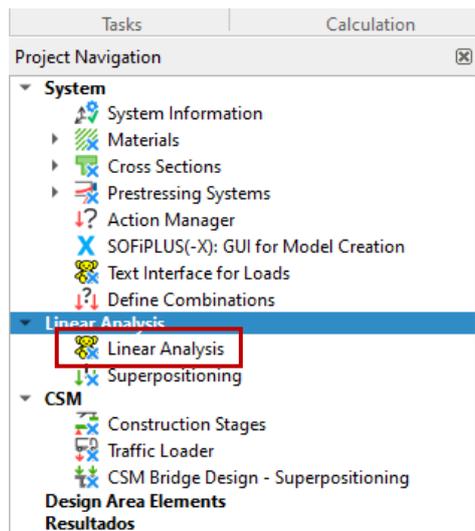


Figura 2G.11. Linear Analysis convertido en Editor de Teddy

Doble click sobre la tarea *Linear Analysis* y se abre *Teddy*:

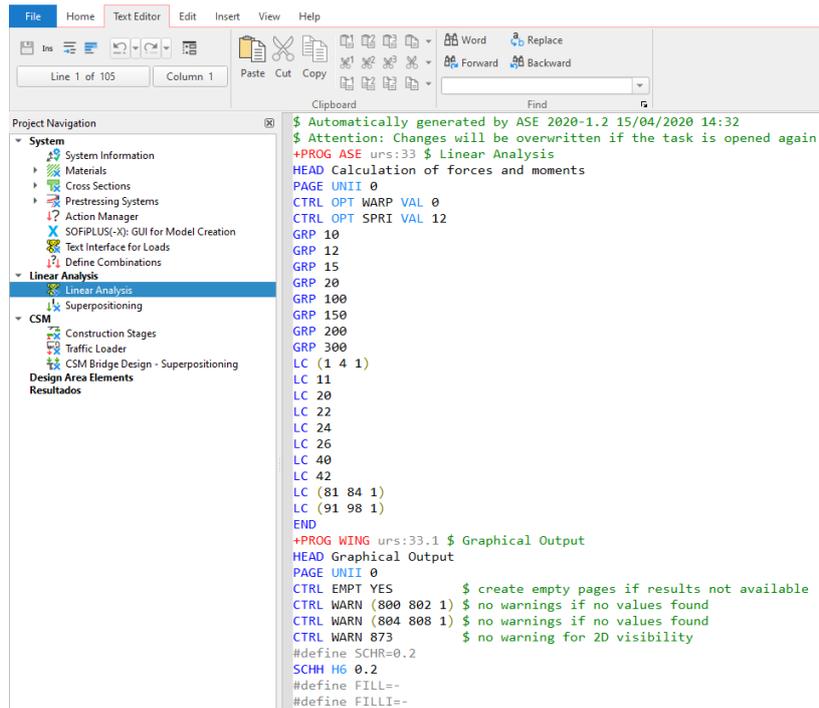


Figura 2G.12. Código en el Editor Teddy de Linear Analysis

Ahora vamos a introducir unas líneas de ordenes en esta tarea. Las líneas son las siguientes:

```

$ add record GRP2 to modify stiffness of QUAD elements
GRP2 NO 150 QUEA 0.001 QEMX 0.001 $ Reduce stiffness for bridge deck group 150
$ select loadcases to be analysed
    
```

Y las podemos introducir después de la línea GRP 150. En cualquier caso, antes de la línea LC (1 4 1). Ahora tenemos:

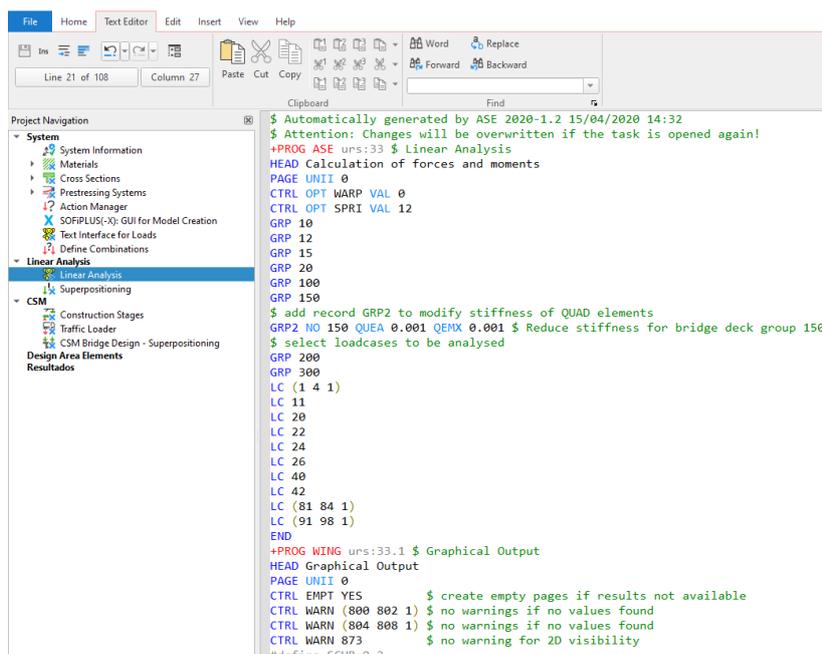


Figura 2G.13. Código en el Editor Teddy de Linear Analysis modificado

Este código lo hemos introducido para “desactivar” la rigidez frente a flexión longitudinal de los elementos tipo losa (*QUAD elements*) en el modelo para el cálculo de los casos de carga señalados. Este cambio es necesario porque esta rigidez ya la hemos introducido en las vigas longitudinales, al introducir la parte de la losa en la sección transversal de dichas vigas.

En el siguiente enlace tenéis un video, sin audio, que explica el efecto de este cambio.

<https://youtu.be/csG0EbweBoM>

Con este cambio, se pretende la respuesta de la estructura frente a los casos de carga de temperatura y viento sea la correcta.

Las características del modelo para un cálculo adecuado de la respuesta frente a cargas permanentes (pretensado, peso propio, cargas muertas, retracción y fluencia) y frente a las sobrecargas de uso se indican en las *Tasks Construction Stages*. Por lo tanto, los resultados del análisis que se realiza con esta tarea, *Linear Analysis*, de las cargas permanentes no son los buenos.

Calculamos la tarea *Linear Analysis*, para ello, botón derecho sobre la tarea y pulsamos en *Calculate: "Linear Analysis"*

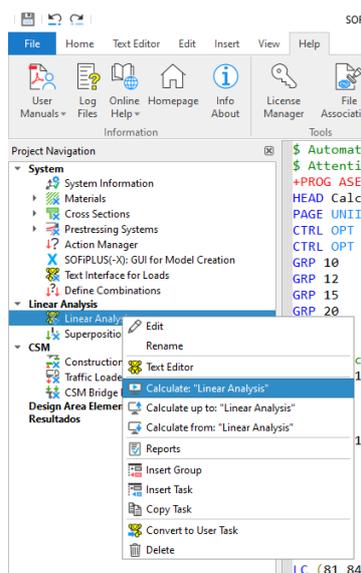


Figura 2G.14. Pasos para calcular la tarea de Teddy creada: *Linear Analysis*

Aceptamos.

El cálculo de esta tarea se realiza inmediatamente porque hemos mantenido seleccionada la opción *Process immediately*.

Una vez calculado tendremos lo siguiente:

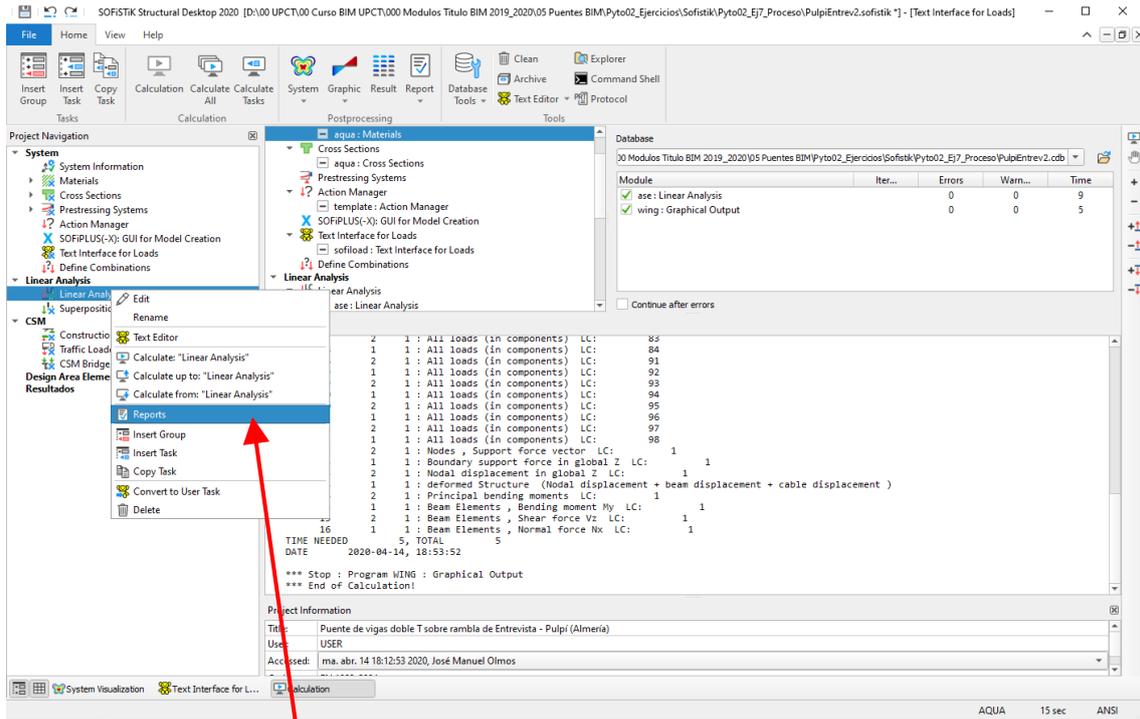


Figura 2G.15. Cuadro de cálculo tras ejecución de Teddy en Linear Analysis

Cada vez que se ejecuta el cálculo de una tarea podemos consultar resultados de ese cálculo si pulsamos con el botón de derecho en la tarea y vamos a *Reports*. (Ver figura anterior).

Entonces se abre el *Report Browser* de SOFISTIK.

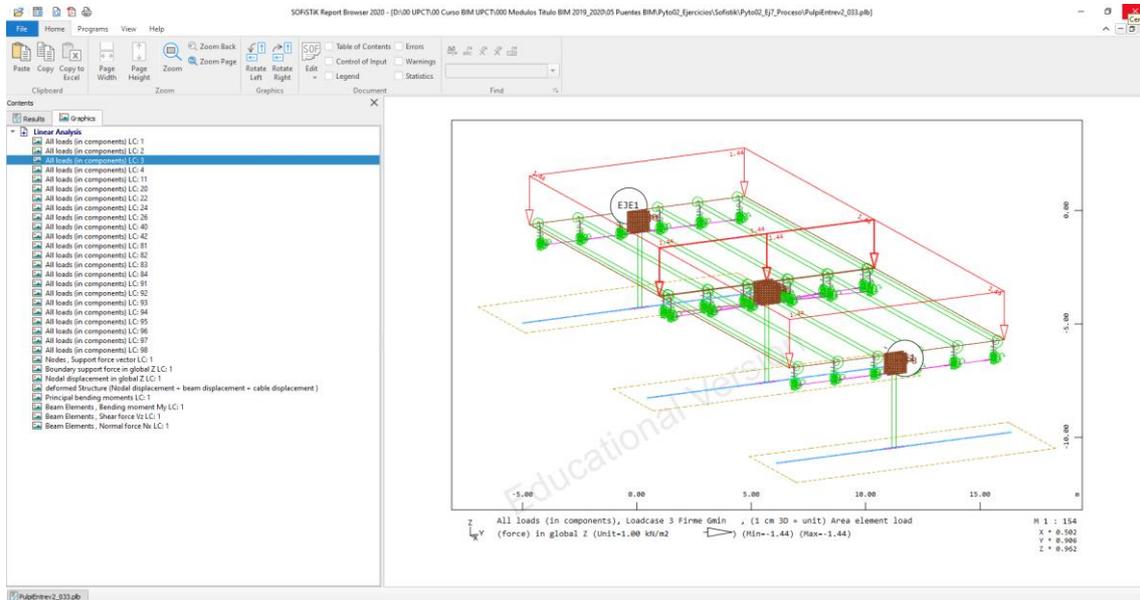


Figura 2G.16. Report Browser debido a Linear Analysis

Aunque estos resultados todavía no nos interesan.

Cerramos el browser.

G.2. Construction Stage Manager

Nuestra siguiente tarea es la de *Construction Stages* (fases de construcción). Si no la tenemos en el navegador del proyecto, la insertamos con el botón derecho del ratón en *Insert Task*.

Doble click en ella y se nos abre el cuadro de dialogo siguiente:

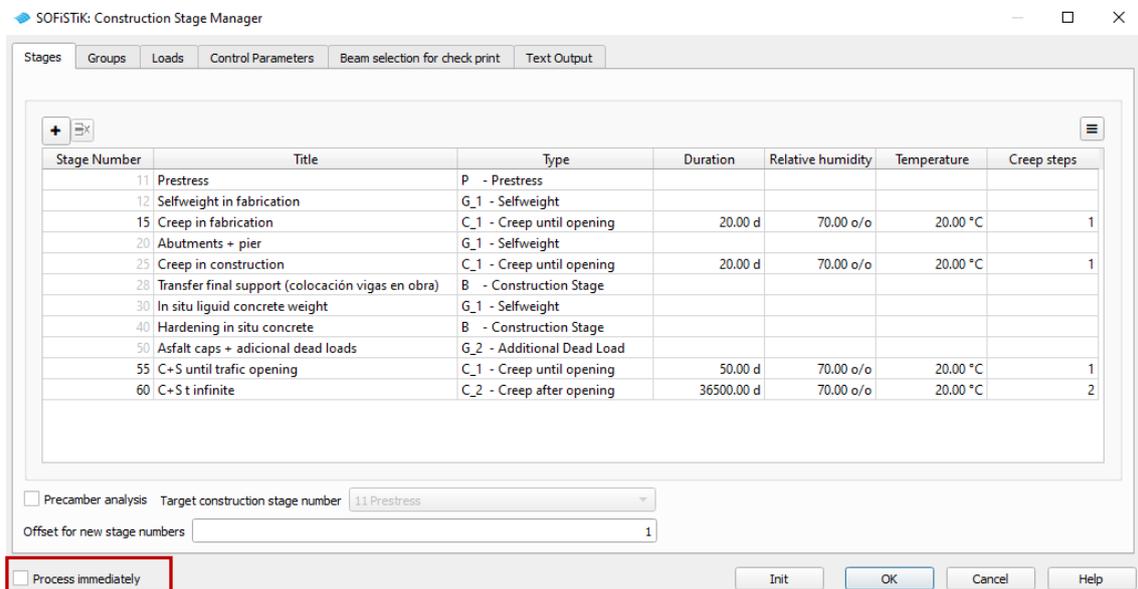


Figura 2G.17. Ventana Construction Stage Manager > Stages

Lo primero que haremos es deseleccionar *Process immediately* para que no comience un cálculo sin terminar de completar este dialogo. Y a continuación, creamos las fases de construcción indicadas en la Figura 2F.17 con su tipo y duración, humedad y temperatura en el caso de que sean fases de fluencia (creep).

En la pestaña *Groups*:

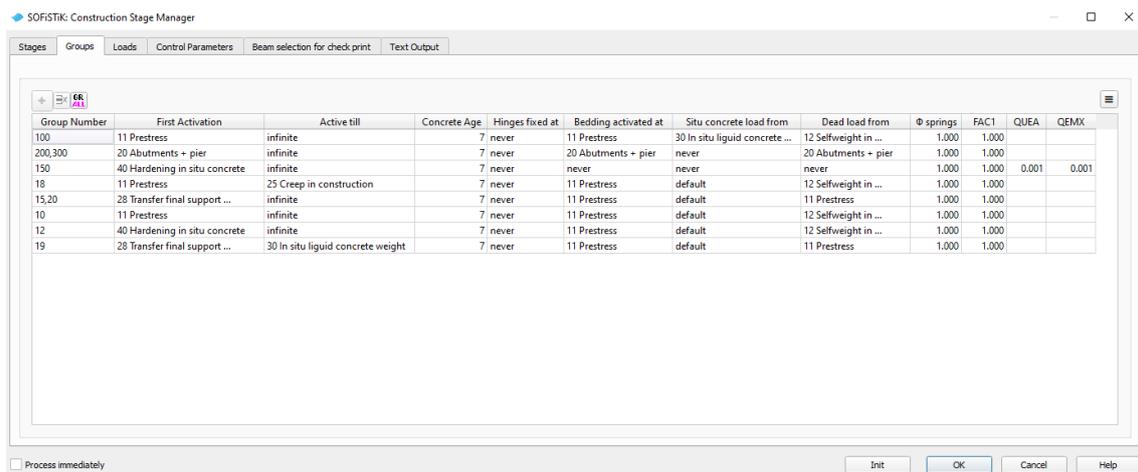


Figura 2G.18. Ventana Construction Stage Manager > Groups

En el cuadro de dialogo de esta pestaña *Groups* las columnas significan:

Group Number:	Numero de grupo.
Frist Activation:	Primera fase en la que se activa la rigidez del grupo.
Active till:	Fase en la que desaparece los elementos estructurales de ese grupo. Normalmente este campo es casi siempre <i>infinite</i> . Porque los elementos estructurales no son provisionales. Pero en ocasiones, hay apoyos provisionales que desaparecen en un determinado momento.
Concrete Age:	Edad del hormigón al desencofrar. A partir de este momento comienza a contar la fluencia en los elementos del grupo. Es el T0 en el cálculo del coeficiente de fluencia. La retracción ha comenzado antes, en TS=3 días por defecto. Aunque SOFiSTiT calcula fluencia y retracción a partir de T0.3
Hinges fixed at:	En la construcción de algunos puentes hay uniones que primeramente son rotulas y en una fase posterior se convierten empotramientos. No es el caso del puente que estamos modelando.
Bedding activated at:	Se indica aquí en qué fase se activa el coeficiente de balasto de losas o vigas apoyadas en el terreno. Es el caso de nuestras losas (zapatas de pilas y estribos).
Situ concrete load from:	En los elementos con secciones de viga + losa, se indica aquí en qué fase se hormigona la parte de la losa y, por lo tanto, en qué fase entra en juego el peso propio de la losa.
Dead load from:	Cuando se active el peso propio de los elementos de un grupo. No la rigidez sino el peso propio. Esto vale para cuando un elemento se hormigona y actúa el peso propio antes de que endurezca.

La rigidez de la parte losa de las secciones viga + losa de las vigas longitudinales, ya la activamos en el editor de secciones cuando indicamos que esa parte se activa en la fase 40. Por lo tanto, esto no se indica aquí.

FAC1:	Factor a la rigidez del grupo.
QAEA, QUMX	Control de la rigidez a flexión longitudinal y axil de losas. Con un número muy pequeño se desactiva esta rigidez. Porque ya la tenemos en la parte de losa de las secciones viga+losa de las vigas longitudinales.

Aunque los parámetros QUA y QUMX ya los hemos indicado en la tarea de *Linear Analysis*, se han de introducir aquí también, ya que es desde esta tarea de *Construction Stages* desde donde se le dice a *Sofistik* estas características del modelo para calcular la respuesta de la estructura

(tensiones, esfuerzos y deformaciones) frente a cargas permanentes (pretensado, peso propio, cargas muertas, retracción y fluencia).

Pasamos a la pestaña *Loads*:

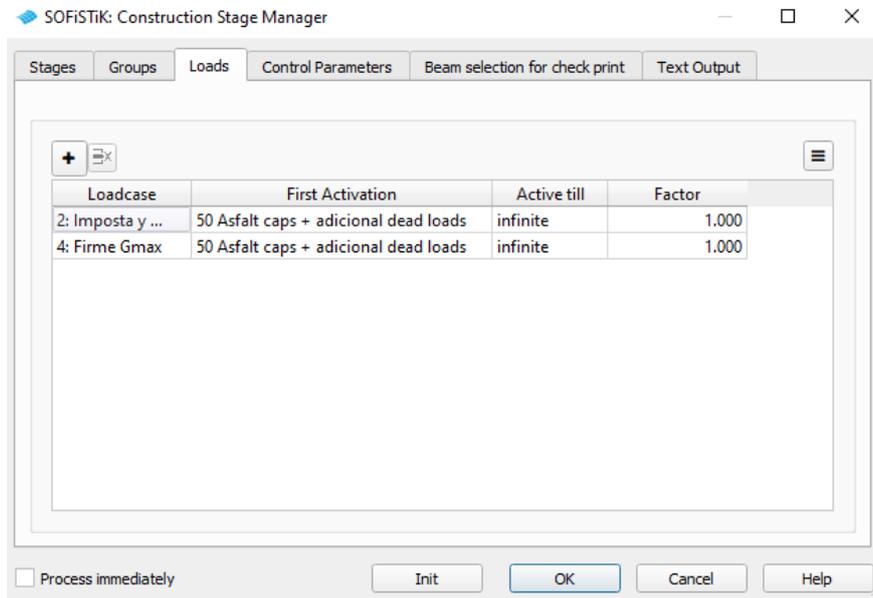


Figura 2G.19. Ventana Construction Stage Manager > Loads

Aquí indicamos el momento en el que comienzan a actuar los casos de carga muerta.

Vamos ahora a la pestaña *Beam selection for check print*.

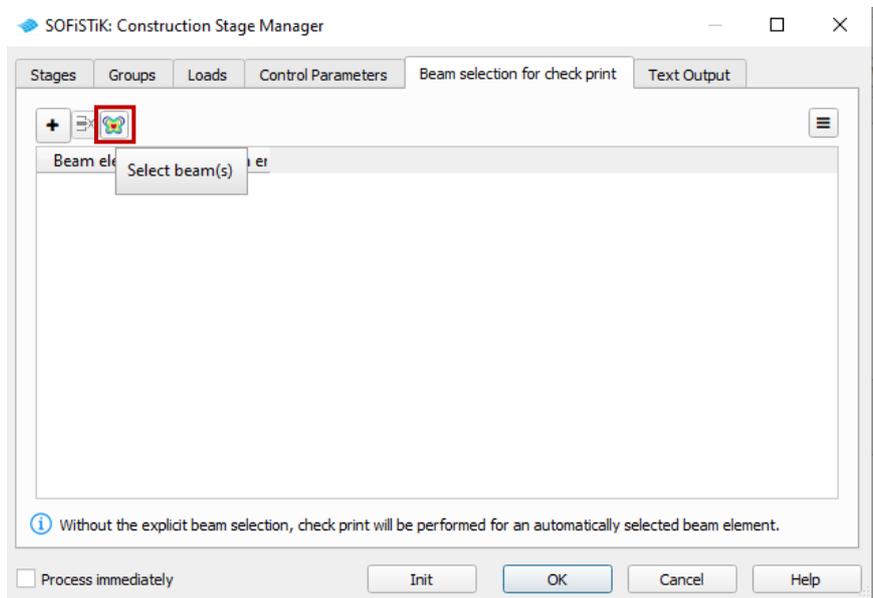


Figura 2G.20. Ventana Construction Stage Manager > Beam selection for check print

Con el botón indicado en la figura anterior, seleccionamos elementos finitos del modelo de los que queremos obtener resultados intermedios del cálculo de esta tarea.

Esto abre el visualizador del modelo y pinchamos en elementos finitos de la viga de borde en centro de vano y de una viga central en centro de vano.

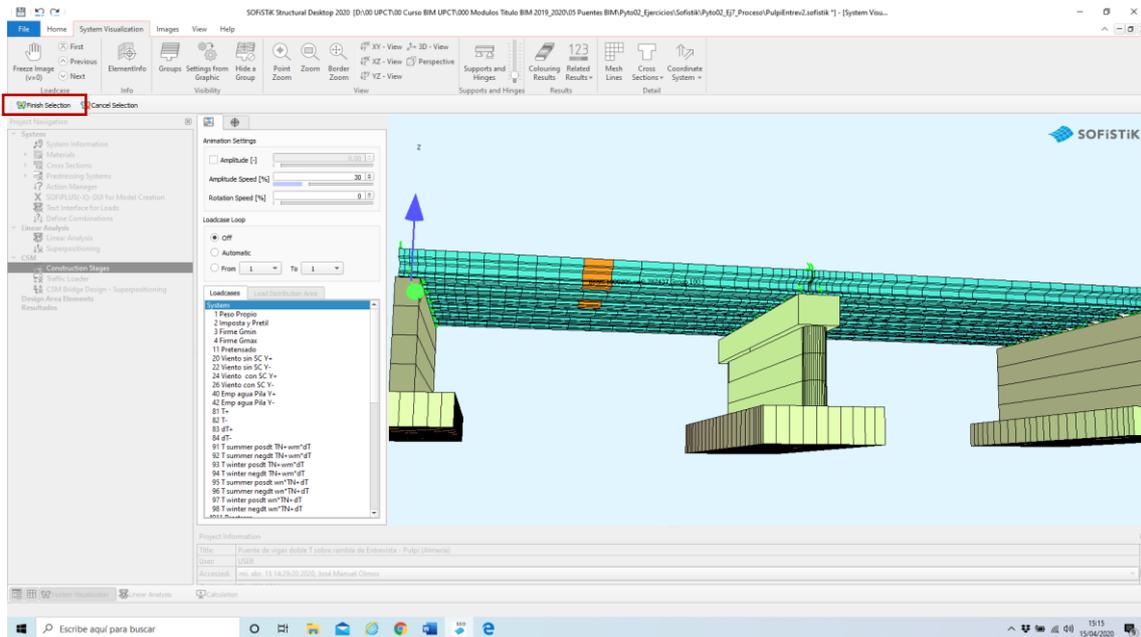


Figura 2G.21. Selección de elemento finito de viga en centro de borde y centro de vano

Para salir de esta ventana pulsamos en *Finish Selection*.

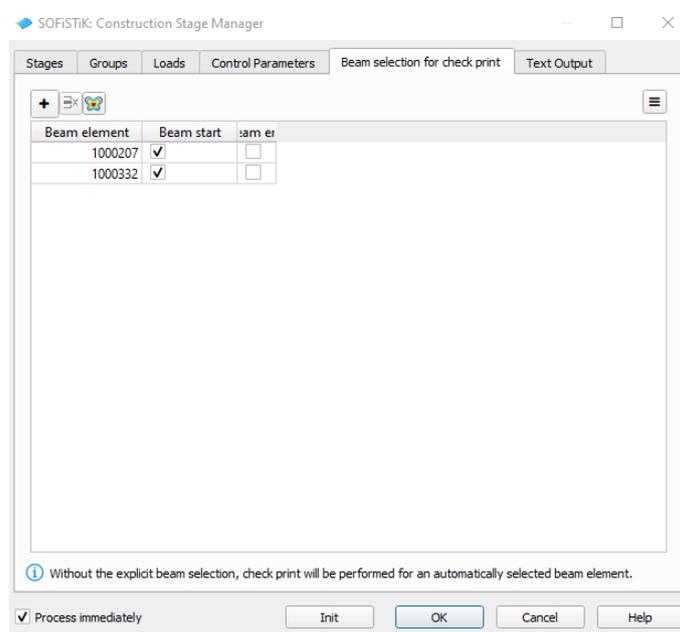


Figura 2G.22. Ventana Construction Stage Manager > Beam selection for check print. Elementos de vigas seleccionados

Desmarcamos *Beam end*. Marcamos la casilla de *Process Immediately* y aceptamos para que SOFiSTiK calcule esta tarea.

Veamos una serie de resultados de este cálculo realizado. Hay resultados en SOFiSTiK que se guardan en *Load Cases* (casos de carga).

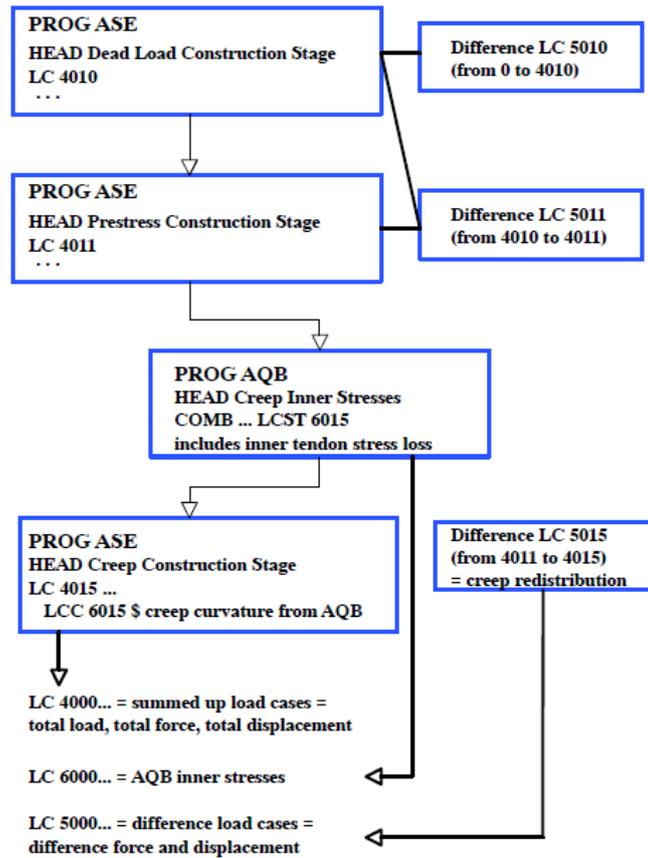


Figura 2G.23. Esquema de cálculo del módulo de Construction Stages

Los casos números de los casos de carga donde se guardan resultados debidos a las acciones permanentes (pretensado, peso propio, cargas muertas, retracción y fluencia) en cada una de las fases de construcción son los siguientes:

LC Number	Description
3970- 3997	Comparison load cases - cast in one (CTRL cast)
4000- 4999	Total CS displacements and forces without pre-stress losses from C+S
5000- 5999	Difference displacements and forces -> CSM DESI with safety factors
6000- 6999	AQB inner stresses from creep and shrinkage including pre-stress losses -> CSM DESI
7000- 7999	Sum stress results (real stresses) of the AQB-LCST-evaluation incl. pre-stress losses from C+S
15000- 15999	Primary part effect of prestress separated in construction stages
16000- 16999	Secondary effect of prestress in construction stages using more than 1000 stages:
40000-49999	Total CS displacements and forces
50000-59999	Difference displacements and forces
60000-69999	AQB inner stresses from creep and shrinkage
70000-79999	AQB-LCST result stresses (real stresses)

Figura 2G.24. CSM Construction stages

Si vamos a la pestaña *System visualization*, abajo a la izquierda en SOFISTik SSD, podemos visualizar las fases de construcción si seleccionamos los casos de carga 5011 y siguientes:

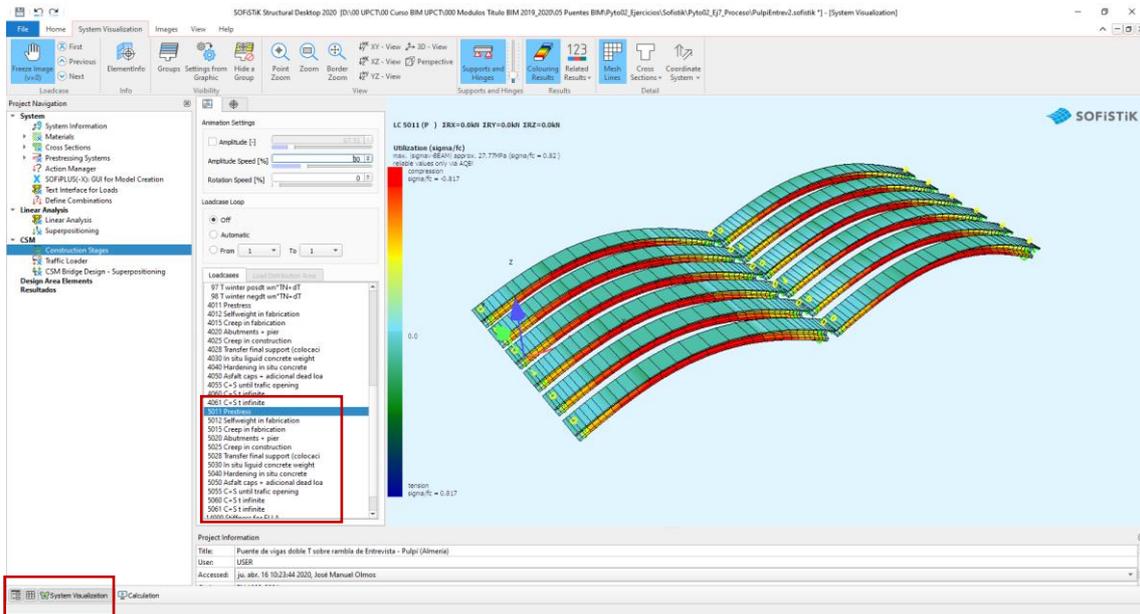


Figura 2G.25. CS 11: Pretensado de las vigas

En pantalla como se deforma la estructura por los incrementos de carga de una fase a otra.

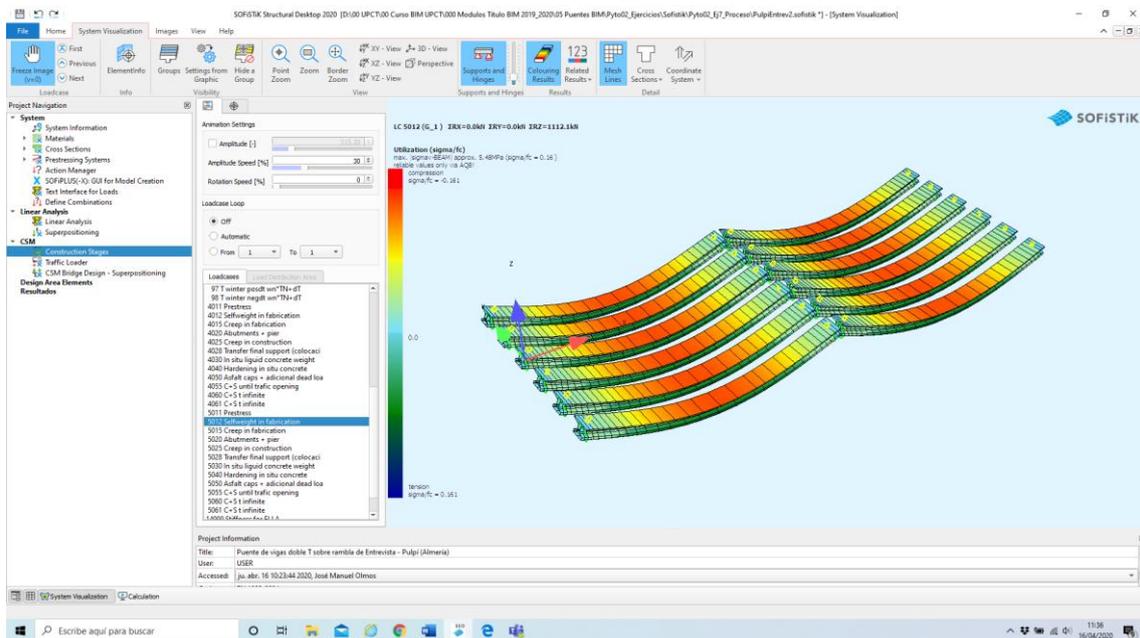


Figura 2G.26. CS 12: Peso propio de las vigas

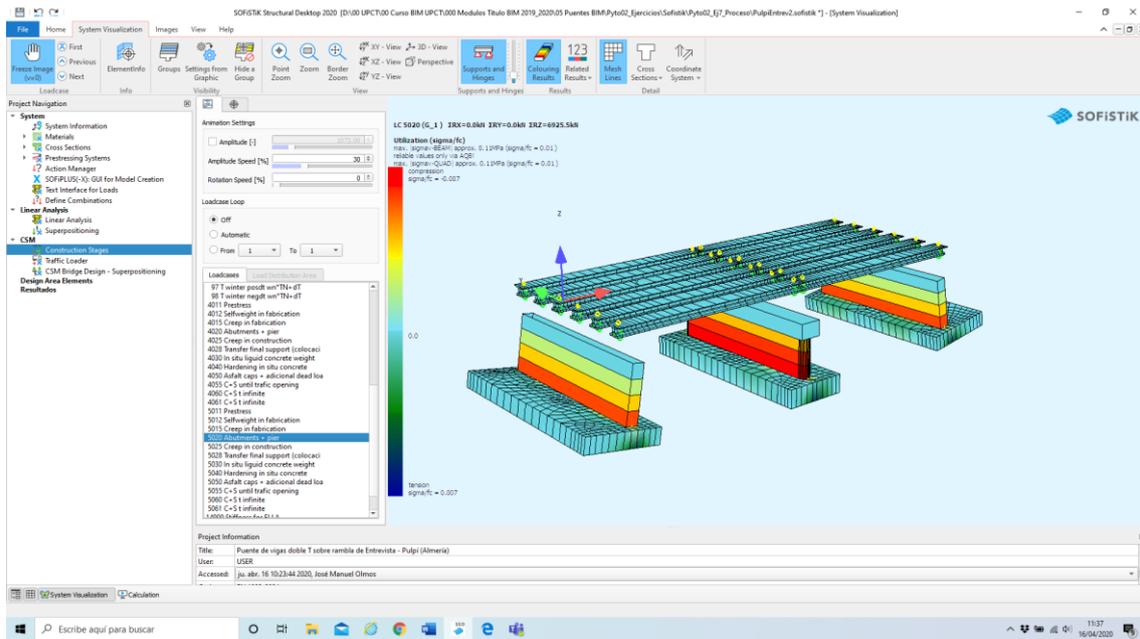


Figura 2G.27. CS 20: Construcción de pilas y estribos

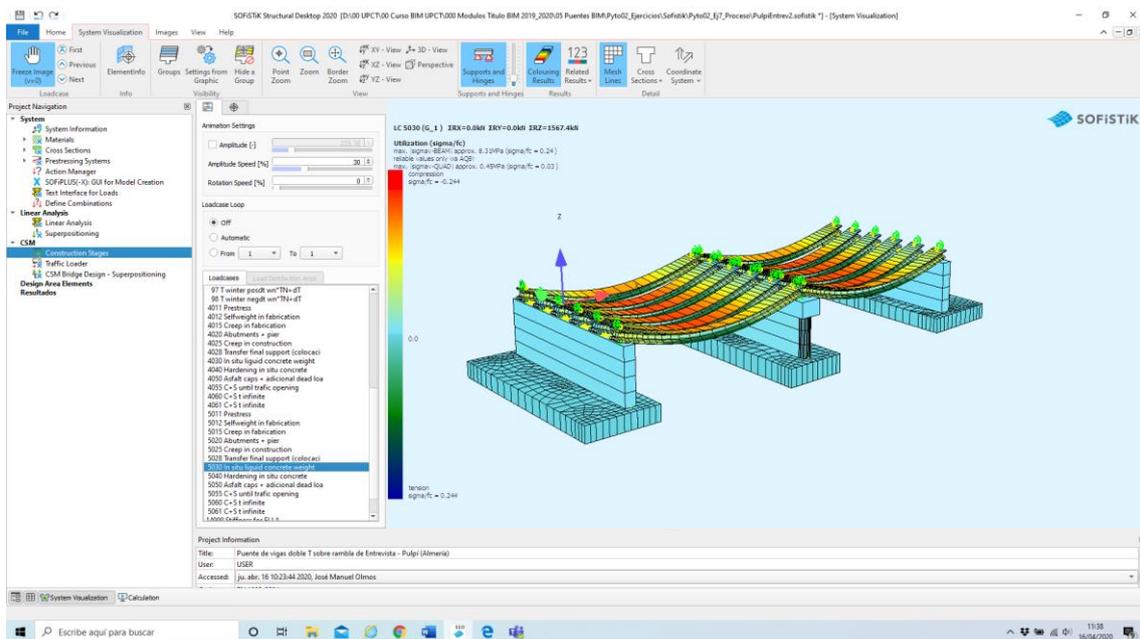


Figura 2G.28. CS 30: Hormigonado de la losa superior del tablero

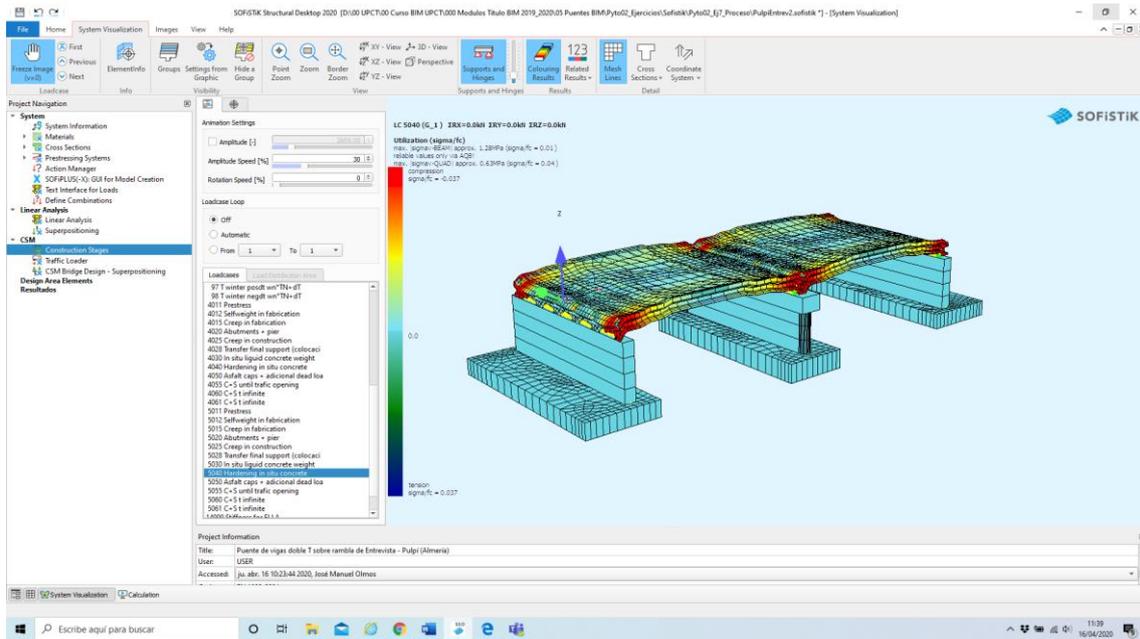


Figura 2G.29. CS 40: Endurecimiento de la losa superior del tablero

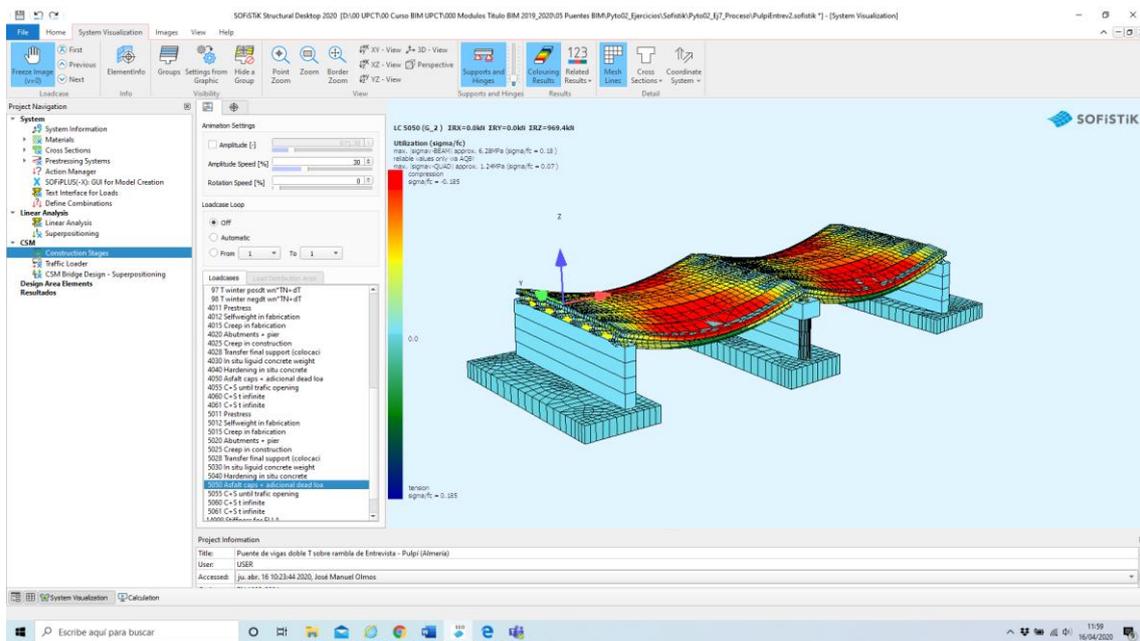


Figura 2G.30. CS 40: Colocación de la capa de firme y de la imposta

Para consultar resultados de tensiones en el hormigón y en los cordones de pretensado (debidas a acciones permanentes) en las fases de construcción, vamos a:

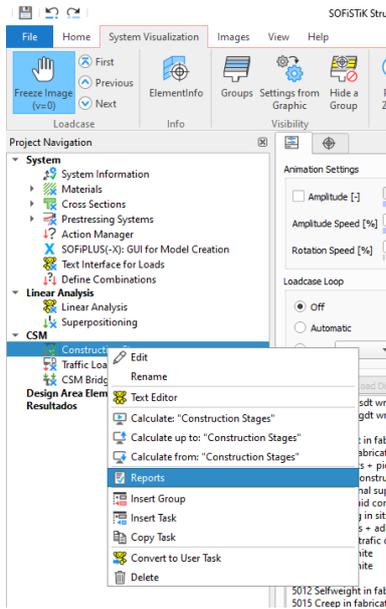


Figura 2G.31. Pasos para consultar los resultados de las tensiones en el hormigón

Se abre el report browser y vamos a *Elastic Stress Check*:

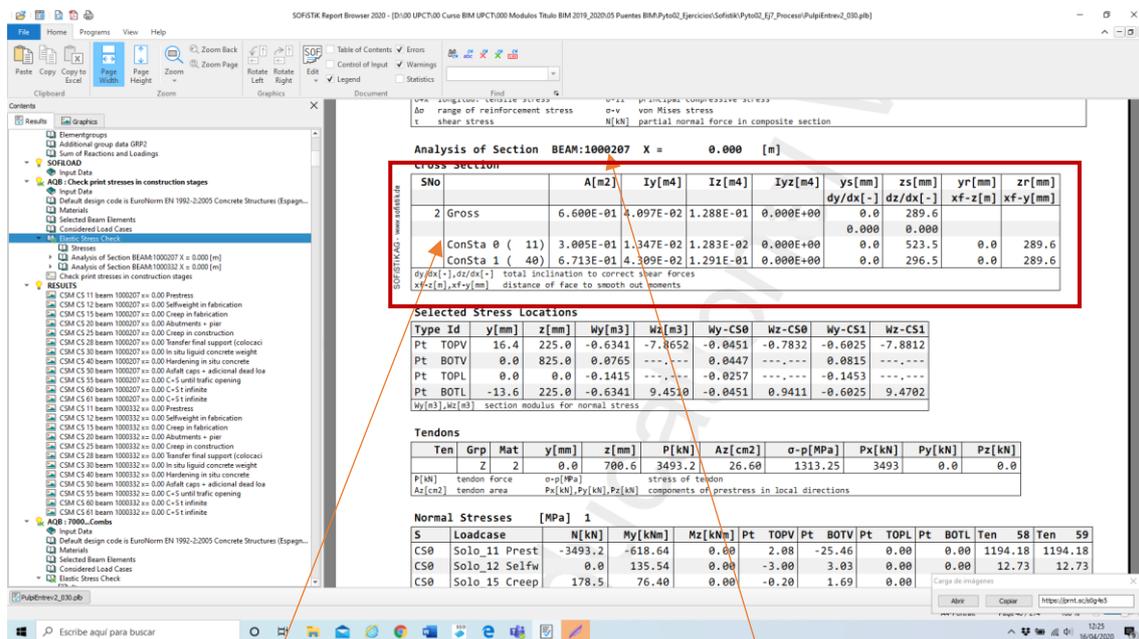


Figura 2G.32. Resultados de Elastic Stress Check

Aquí podemos ver el elemento viga del que se está informando, que es el que hemos seleccionado uno de los que hemos seleccionado nosotros en el formulario de *Construction stages*. Se indican las características mecánicas de la sección (Cuadro en rojo de la figura anterior). ConSta 0, se refiere a la sección viga, y ConSta 1 a la sección viga + losa.

Un poco más abajo en el informe de resultados podemos encontrar:

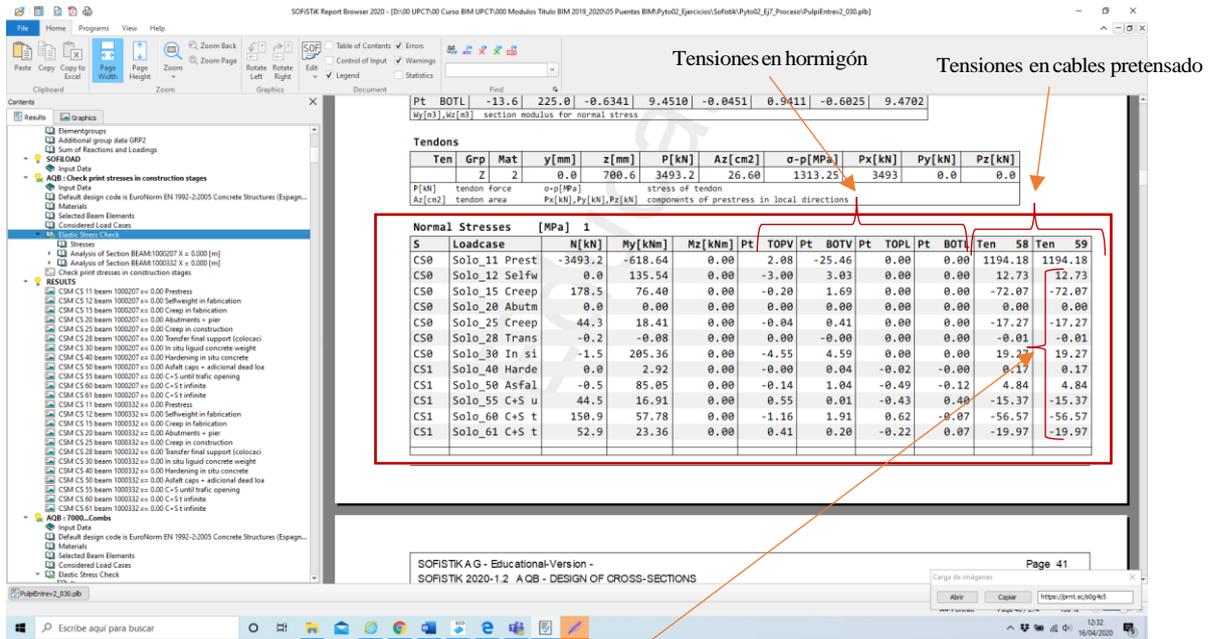


Figura 2G.33. Resultados de Elastic Stress Check, cont. 1

Estas los incrementos de esfuerzos y tensiones en hormigón (en varios puntos de losa y viga) y en el acero de pretensar que se producen en cada fase. Estas son las pérdidas diferidas de pretensado (en MPa) por cada fase.

Y en el siguiente cuadro, están los esfuerzos y tensiones totales en cada fase constructiva

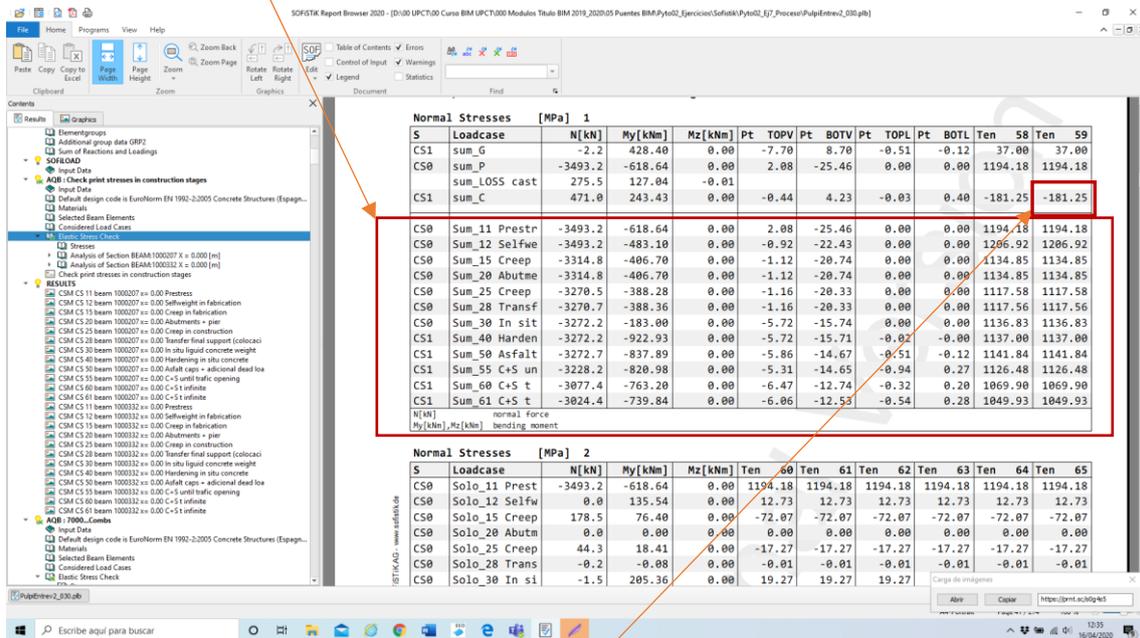


Figura 2G.34. Resultados de Elastic Stress Check, cont. 2

Aquí están las pérdidas diferidas de pretensado sumadas.

En este informe de resultados las tensiones también se indican en gráficos:

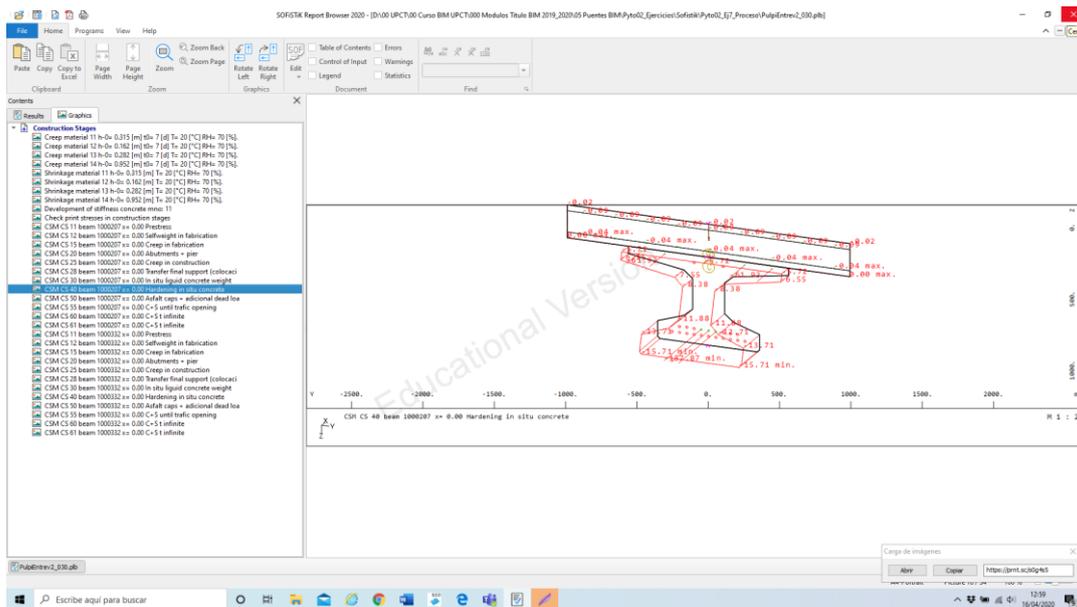


Figura 2G.35. CS 40: Endurecimiento in situ del concreto, viga 1000207

Todos estos resultados corresponden a los cálculos del módulo CSM (construction stage manager) y todavía no tienen en cuenta las sobrecargas de uso, ni las acciones variables de viento y temperatura.

El siguiente paso es definir las sobrecargas de tráfico.

Doble click ahora en la tarea de *traffic loader*. Si no la tenemos en el navegador del proyecto la insertamos.

G.3. Traffic Loader

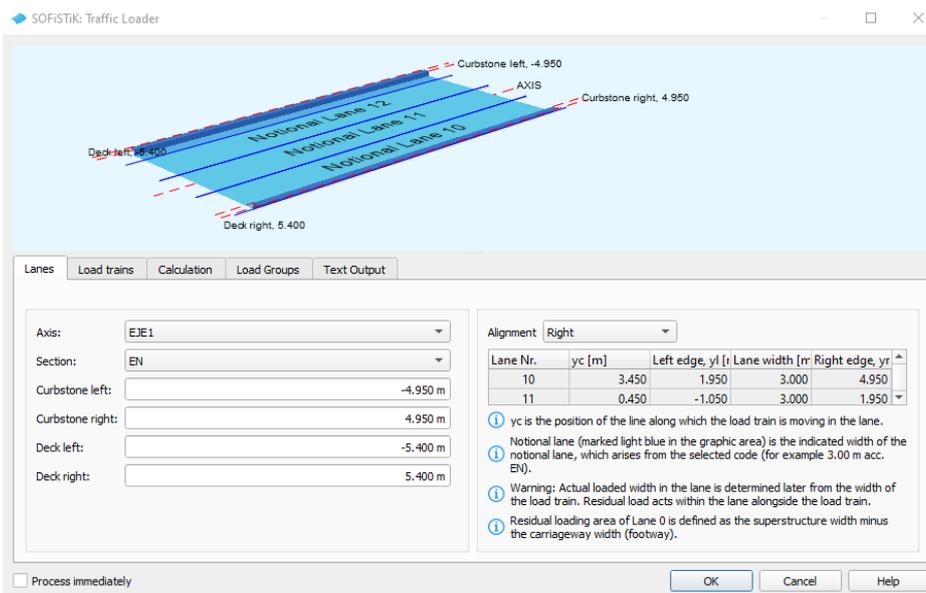


Figura 2G.36. Ventana Traffic Loader > Lanes

En la pantalla de la figura anterior definimos las anchuras de la plataforma y del tablero para que SOFiSTiK cree los carriles virtuales. Podemos alinear estos carriles virtuales a un borde de la plataforma para que las cargas de tráfico provoquen efectos más desfavorables.

Importante deseleccionar *Process Immediately* porque si ponemos a calcular esta tarea por error, tarda mucho en finalizar el cálculo.

En la pestaña de *Load Train*, añadimos los tres tipos de carros pesados del EC-1:

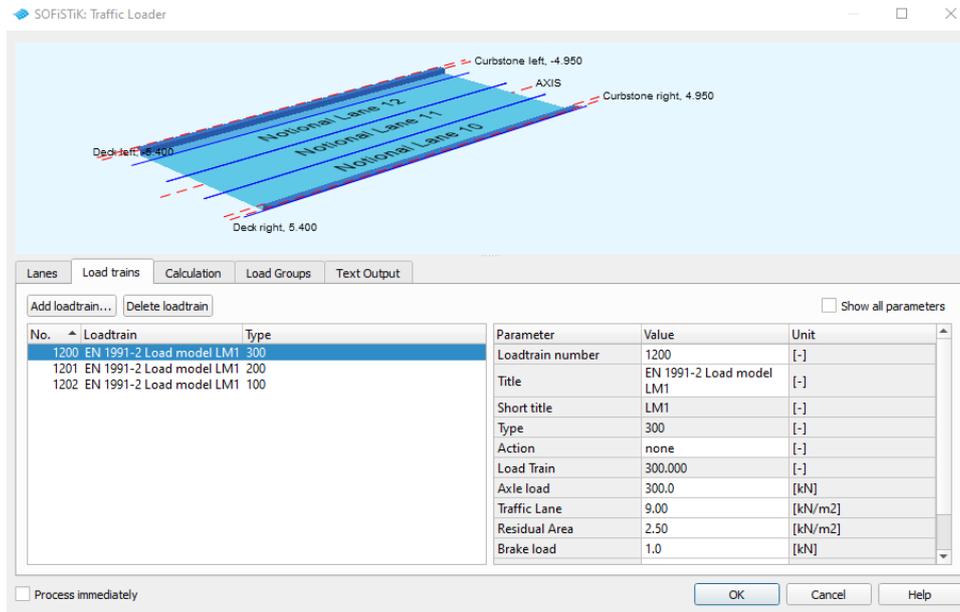


Figura 2G.37. Ventana Traffic Loader > Load trains. Carros añadidos

En la pestaña *Calculation*:

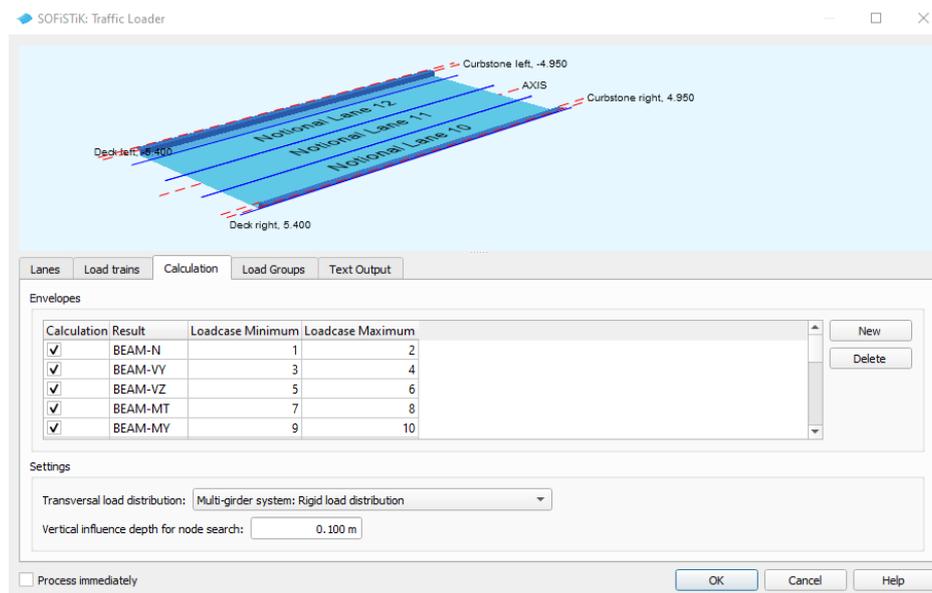


Figura 2G.38. Ventana Traffic Loader > Calculation. Selección de distribución de carga

Seleccionamos el modo de distribuir la carga de tráfico transversalmente para cargar las vigas. Elegimos *Multi-girder system: Rigid load distribution* que corresponde al esquema de distribución de carga marcado con el cuadro rojo en la siguiente figura:

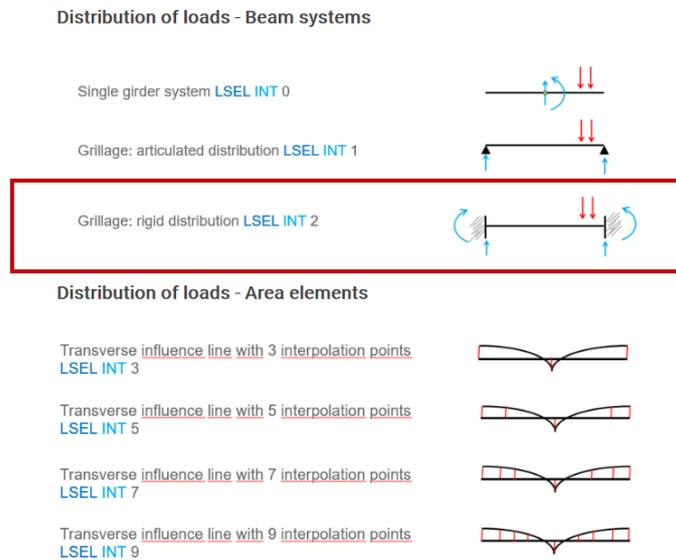


Figura 2G.39. Distribución de cargas en distintos elementos

Lo demás lo dejamos por defecto.

En la pestaña *Load Groups* del Traffic Loader:

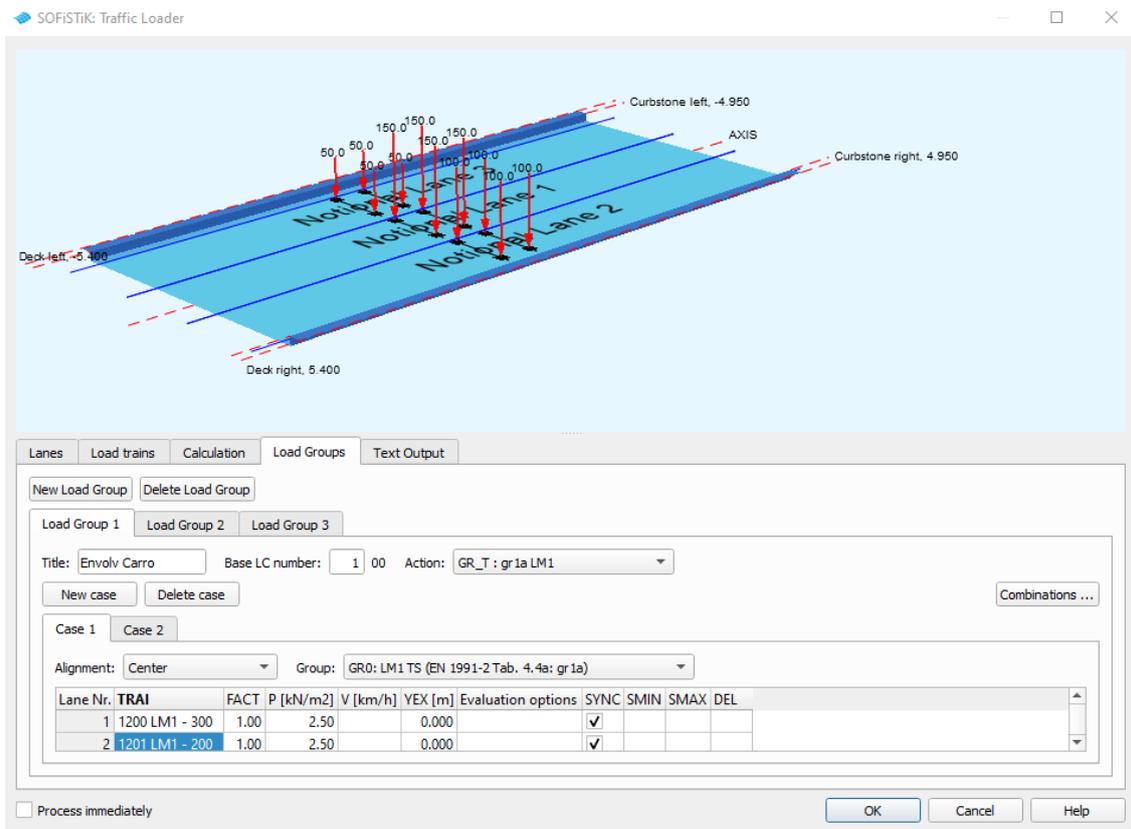


Figura 2G.40. Ventana Traffic Loader > Load Groups > Load Group 1

Vamos a definir las cargas de tráfico para los dos grupos de carga siguientes gr1a y gr2 de la EC-1 [1] y la IAP-11 [2]. Estos grupos están marcados en la siguiente tabla:

Tabla 2G.1. Grupos de cargas a considerar [1]

Tipo de carga	Calzada						Pasos peatonales y ciclistas
	Fuerzas verticales				Fuerzas horizontales		Sólo fuerzas verticales
Referencia	4.3.2	4.3.3	4.3.4	4.3.5	4.4.1	4.4.2	5.3.2-(1)
Sistema de carga	LM1 (TS y UDL)	LM2 (Eje único)	LM3 (Vehículos especiales)	LM4 (Carga debida a una multitud)	Fuerzas de frenado y acelerado*	Fuerza centrífuga y transversal*	Carga uniformemente distribuida
Grupos de cargas	gr1a	Valores característicos					Valor de combinación ^b
	gr1b		Valor característico				
	gr2	Valores frecuentes ^b			Valor característico	Valor característico	
	gr3 ^d						Valor característico ^c
	gr4				Valor característico		Valor característico ^b
gr5	Véase el anexo A		Valor característico				
Acción componente dominante (designada como componente asociada con el grupo)							
<p>a Puede definirse en el anexo nacional (para los casos indicados).</p> <p>b Puede definirse en el anexo nacional. Se recomienda un valor de 3 kN/m².</p> <p>c Véase el punto (2) del apartado 5.3.2.1. Sólo debería considerarse una sola vía peatonal cargada si el efecto es más desfavorable que el de dos vías peatonales cargadas.</p> <p>d Este grupo es irrelevante si se considera gr4.</p>							

En SOFiSTiK crearemos 3 grupos: grupo 1, grupo 2 y grupo 3. El grupo uno corresponde a la sobrecarga de los carros del grupo gr1a de la norma. El grupo 2 a la sobrecarga uniforme del grupo gr1a de la norma. El grupo 3 corresponde al grupo gr2 de la norma.

Cada uno de estos grupos tendrá varios casos de carga a definir. Comenzamos por el *grupo 1*. Creamos este grupo con *New Load Group* y configuramos los parámetros para el caso de carga 1 *case1* como muestra la Figura 2G.41:

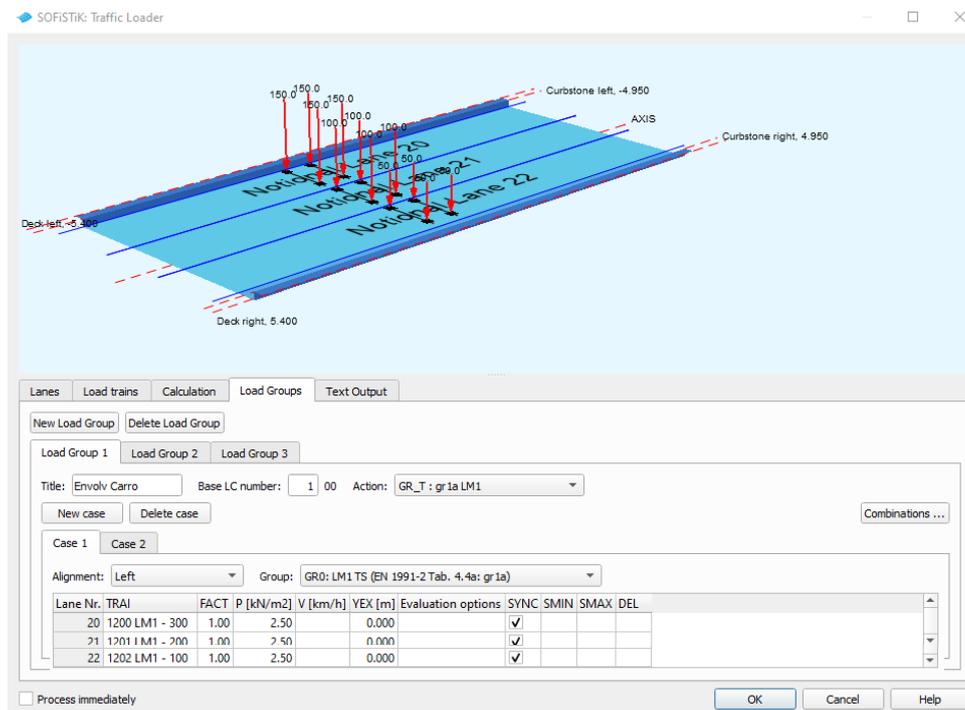


Figura 2G.41. Ventana Traffic Loader > Load Groups > Load Group 1 > Case 1. Cargas en este grupo

Grupo 1, case 2:

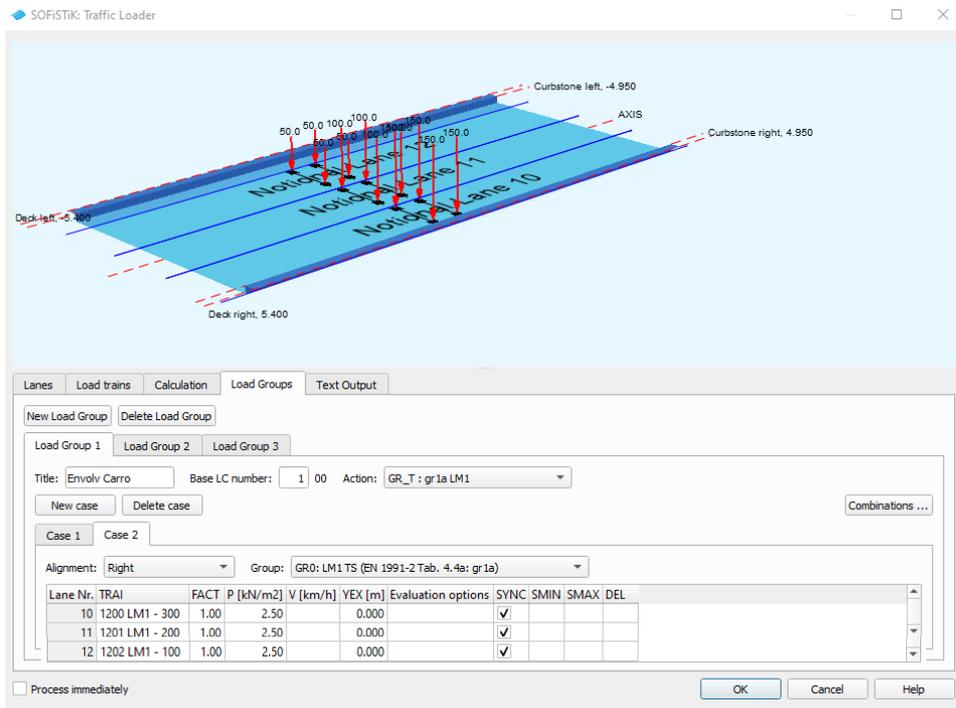


Figura 2G.42. Ventana Traffic Loader > Load Groups > Load Group 1 > Case 2. Cargas en este grupo

Grupo 2, case 1:

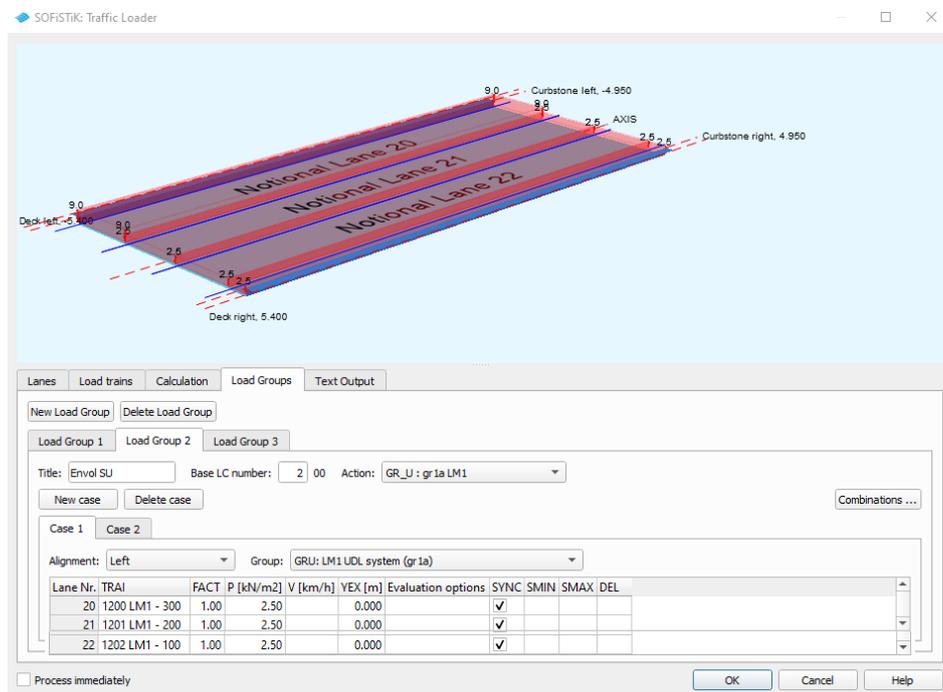


Figura 2G.43. Ventana Traffic Loader > Load Groups > Load Group 2 > Case 1. Cargas en este grupo

Grupo 2, case 2:

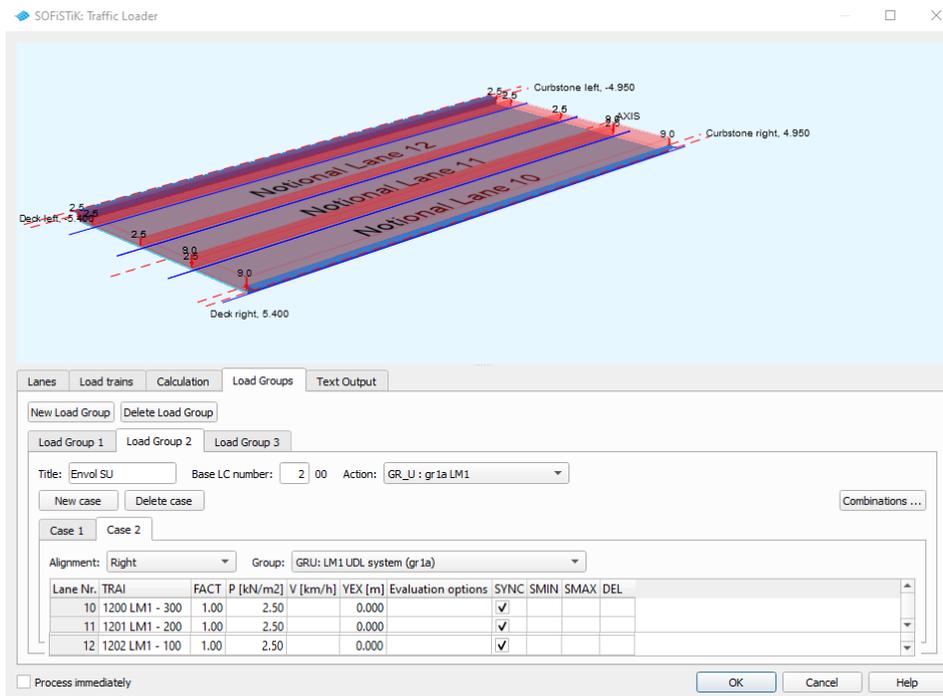


Figura 2G.44. Ventana Traffic Loader > Load Groups > Load Group 2 > Case 2. Cargas en este grupo

Grupo 3, case 1:

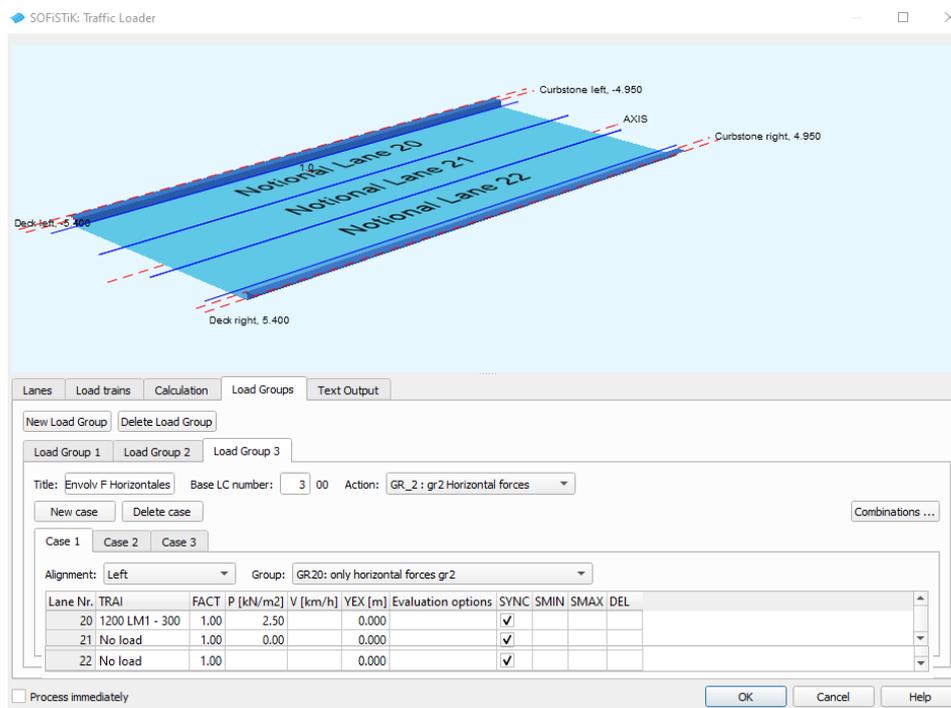


Figura 2G.45. Ventana Traffic Loader > Load Groups > Load Group 3 > Case 1. Cargas en este grupo

Grupo 3, case 2:

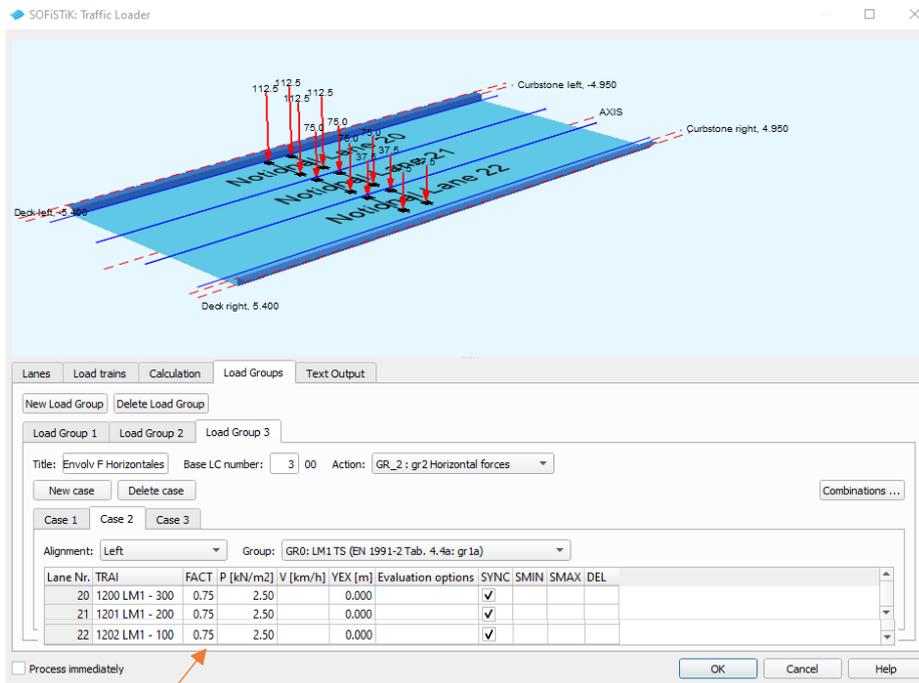


Figura 2G.46. Ventana Traffic Loader > Load Groups > Load Group 3 > Case 2. Cargas en este grupo

Ojo con los factores de las cargas.

Grupo 3, case 3:

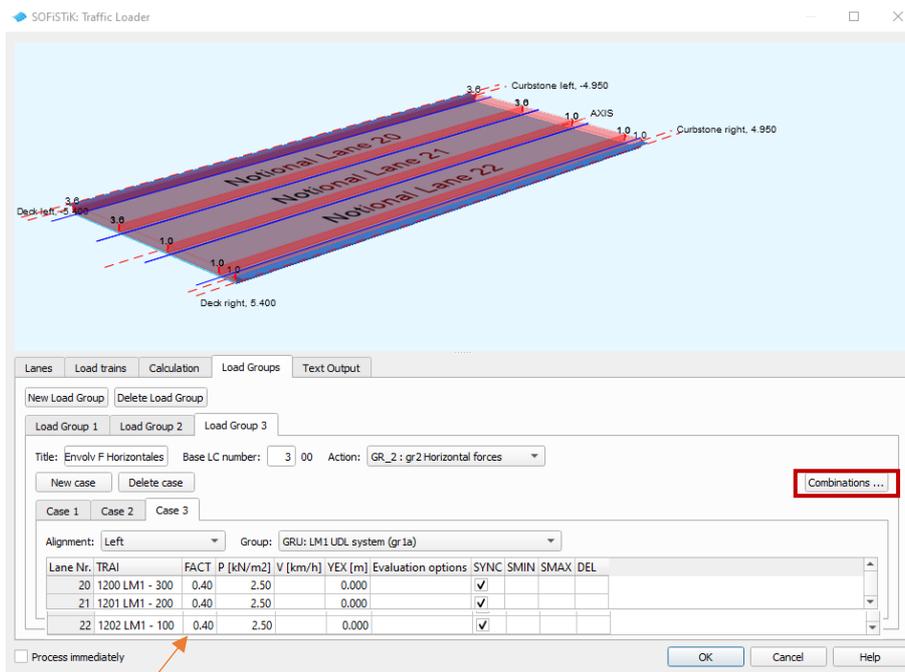


Figura 2G.47. Ventana Traffic Loader > Load Groups > Load Group 3 > Case 3. Cargas en este grupo

Ojo con los factores de las cargas.

Los tres casos de carga del grupo 3, carga de tráfico horizontal, los tenemos que combinar. Para ello, pulsamos el botón *Combinations* (ver figura anterior):

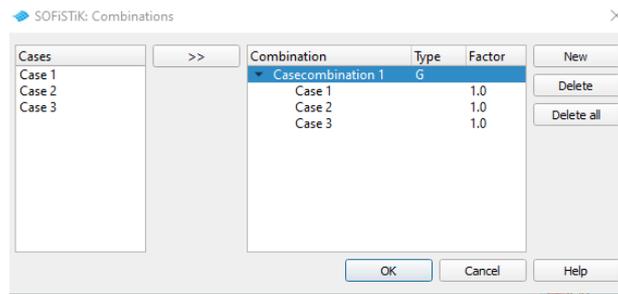


Figura 2G.48. Ventana Combinations. Combinación de carga del grupo 3

Creamos una combinación de carga que suma los tres casos de carga, como se indica en la figura anterior. Aceptamos.

En la pestaña *Text Output*:

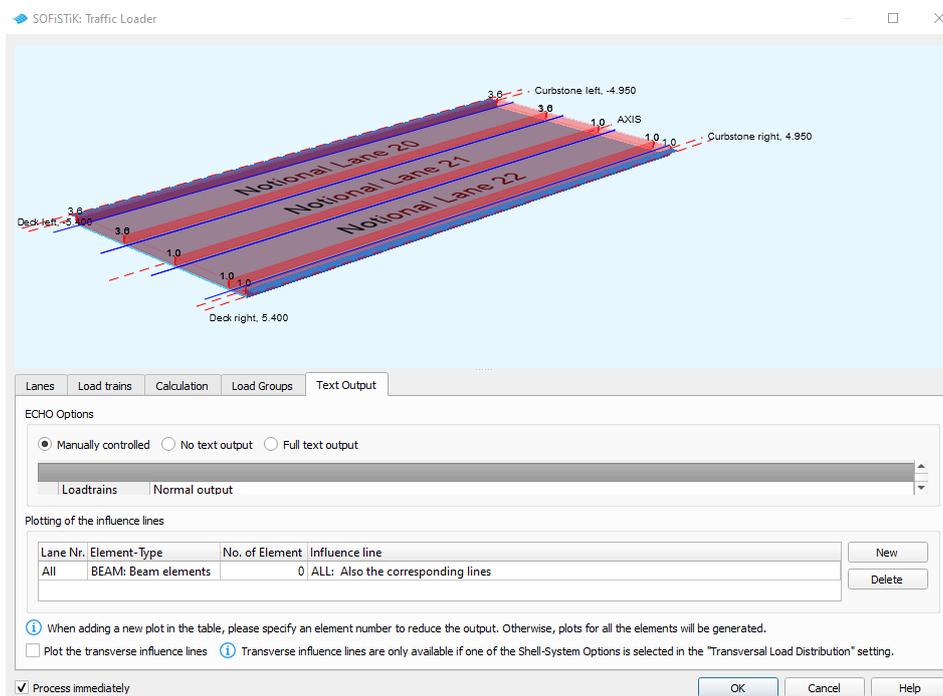


Figura 2G.49. Ventana Traffic Loader > Text Output

Seleccionamos *Process Immediately* para que comience a calcular. **Va a tardar entre 10 a 20 min.**

Lo que podemos hacer es dar a *OK* sin seleccionar *Process Immediately* para guardar cambios y guardar el proyecto antes de calcular esta tarea.

Para guardar el proyecto, arriba a la izquierda en el escritorio de SOFiSTiK SSD:

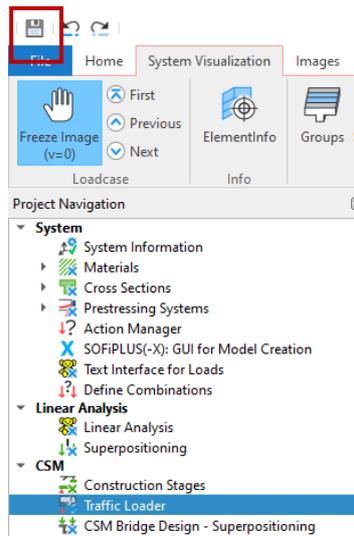


Figura 2G.50. Ícono para guardar el proyecto

Podemos ahora calcular la tarea de *Traffic Loader* pulsando con el botón derecho del ratón sobre ella y después: *Calculate: "Traffic Loader"*.

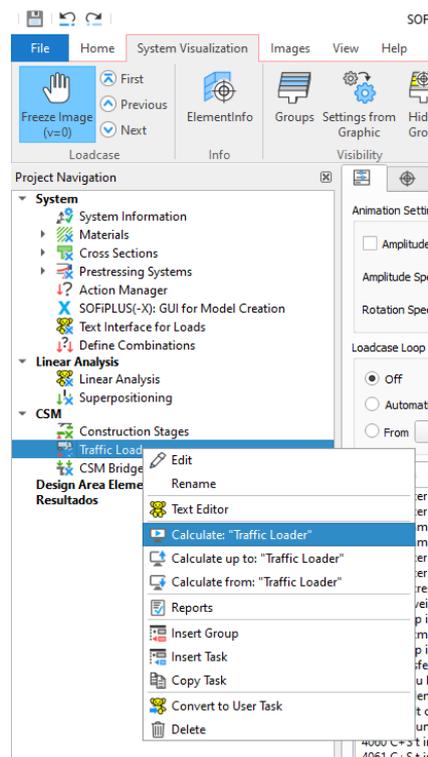


Figura 2G.51. Pasos para calcular la tarea de *Traffic Loader*

Llega la hora de combinar los resultados del cálculo de las acciones permanentes (peso propio, cargas muertas, pretensado, retracción y fluencia), acciones GPC para SOFiSTiK, con los resultados de cálculo de las acciones variables (sobrecargas de tráfico, temperatura y viento).

G.4. CSM Bridge Design - Superpositioning

Esto lo hace SOFiSTiK mediante la tarea *CSM Bridge Design - Superpositioning*. La insertamos si no la tenemos en el navegador de proyecto y la abrimos:

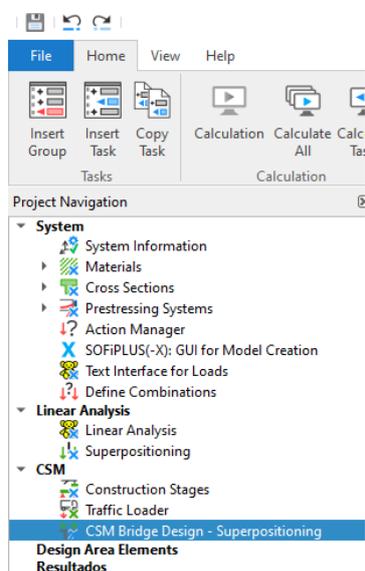


Figura 2G.52. Pasos para abrir CSM Bridge Desing - Superpositioning

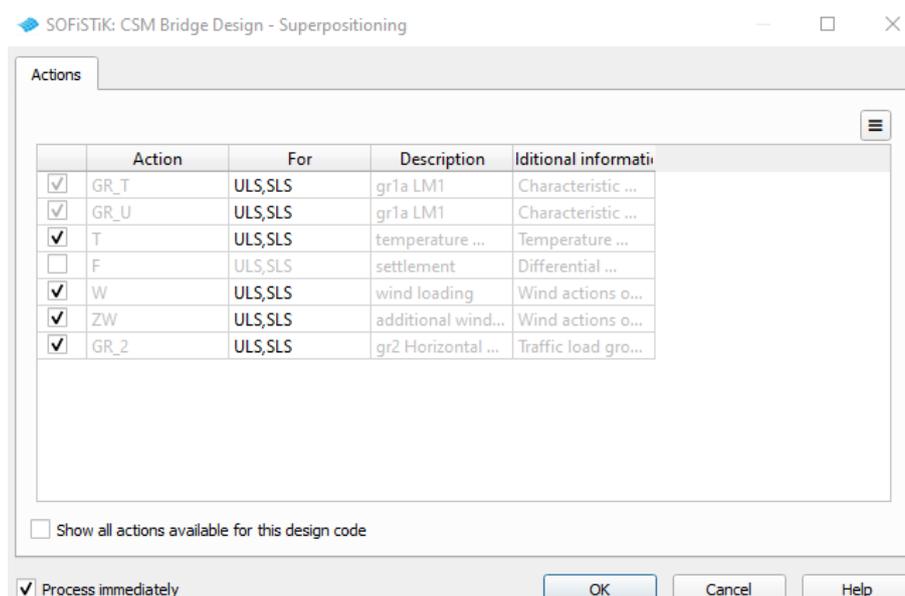


Figura 2G.53. Ventana CSM Bridge Desing – Superpositioning. Acciones seleccionadas

En ella seleccionamos las acciones variables que hemos dicho: GR_T, GR_U y GR_2. Corresponden a los grupos de cargas de tráfico, T temperatura, y W y WZ a las de viento.

Aceptamos para que se calcule la tarea.

Una vez combinados los resultados del cálculo, estos se guardan en contenedores o LC (casos de carga de SOFiSTiK). El número de los LCs y los resultados guardados se indican en la siguiente tabla:

Tabla 2G.2. CSM DESI Design usage

LC Number	Description
1101-1199	SLS rare (characteristic) superposition and design
1201-1299	SLS nonfrequent superposition and design
1301-1399	SLS frequent superposition and design
1401-1499	SLS permanent superposition and design
1701-1799	SLS construction design rare (characteristic)
1801-1899	SLS construction design permanent
1901-1998	1.0 superposition
2101-2199	ULS design
2201-2299	ULS construction design
9001-9499	Superposition with pk-inf and pk-sup prestress

Estos números los utilizaremos más adelante para mostrar resultados desde el programa WINGRAF de SOFiSTiK.

Los LC marcados en rojo corresponden a contenedores de resultados (esfuerzos, desplazamientos y tensiones) finales para realizar las comprobaciones de Estados Límites Últimos ELU y de Estados Límites de Servicio ELS.

El resto de LC, los no marcados, corresponden a contenedores de resultados intermedios.

Ejercicio 2H

Cálculo y comprobaciones ELU y ELS. SSD

H. RESOLUCIÓN

H.1. Comprobaciones a realizar en tableros de hormigón pretensado

Las comprobaciones a realizar en un tablero de vigas pretensadas son las siguientes:

- A) Resistencia a flexión de la sección viga y de la sección viga+losa. ELU.

$$M_{yEd} \leq M_{yRd}$$

Donde,

M_{yEd} es el momento de cálculo (sin incluir pretensado)

M_{yRd} es el momento resistente (tiene en cuenta el pretensado mediante deformación impuesta de los tendones)

- B) Limitación de tensiones de **compresión en el hormigón** en la **combinación característica**. ELS. Considerando los coeficientes γ_F en el pretensado $P_{inf} = 0.9 \cdot P$ y $P_{sup} = 1.1 \cdot P$. ELS. EN 1992-2:2005, 7.2 (102) [3]. Para evitar fisuras por compresión.

$$\sigma_c \leq 0.6 f_{ck}$$

- C) Limitación tensiones de **tracción en el hormigón (o fisuración por tracción)**. ELS.

Tabla 2H.1. Abertura de grietas en función a la clase de la exposición (Tabla 5.1.1.2 de EHE-08) [4]

Clase de exposición, según artículo 8°	$w_{m\acute{a}x}$ [mm]	
	Hormigón armado (para la combinación cuasipermanente de acciones)	Hormigón pretensado (para la combinación frecuente de acciones)
I	0,4	0,2
IIa, IIb, H	0,3	0,2 ⁽¹⁾
IIIa, IIIb, IV, F, Qa ⁽²⁾	0,2	Descompresión
IIIc, Qb ⁽²⁾ , Qc ⁽²⁾	0,1	

Nuestro caso está marcado en rojo. **Descompresión en el hormigón pretensado en la combinación frecuente.**

$$\sigma_c > 0$$

- D) Limitación de tensiones de **compresión en el hormigón** en la **combinación casi-permanente** (ELS) para asegurar que la fluencia se puede reproducir con el modelo lineal del Ec-2 y de la EHE-08. Considerando los coeficientes γ_F en el pretensado $P_{inf} = 0.9 \cdot P$ y $P_{sup} = 1.1 \cdot P$. ELS. EN 1992-1-1:2005, 7.2 (3) [5]

$$\sigma_c \leq 0.45 \cdot f_{ck}$$

- E) Límite de tensión de tracción media (P_m) en los tendones (o **cordones**) de pretensado en la **combinación característica**. ELS. EN 1992-1-1:2005, 7.2 (5). De esta forma se evita una fisuración o deformación inaceptable.

$$\sigma_p < 0.75 \cdot f_{pk}$$

- F) Límite de tensión de tracción en la **armadura pasiva** en la **combinación característica**. EN 1992-1-1:2005, 7.2 (5). ELS. De esta forma se evita una fisuración o deformación inaceptable.

$$\sigma_s < 0.8 \cdot f_{yk}$$

A continuación, vamos a ver como comprueba SOFiSTiK todo lo anterior.

H.2. Comprobaciones de SOFiSTiK en un elemento finito seleccionado del tablero

Insertamos en el navegador del proyecto la tarea *CSM Bridge Design (Beams)*:

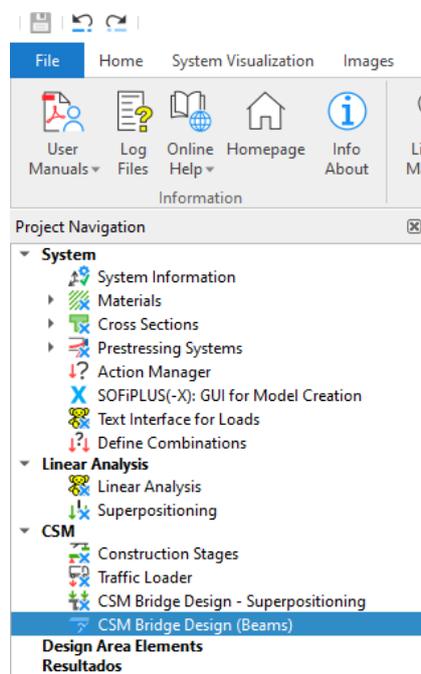


Figura 2H.1. Tarea *CSM Bridge Design (Beams)* insertada en el navegador de proyectos

Le cambiamos el nombre, pulsando con botón derecho sobre ella, y le damos el nombre: *CSM Bridge Design (Beams) -Check*.

Abrimos la tarea. En la pestaña *Checks* no seleccionamos nada, como muestra la figura siguiente:

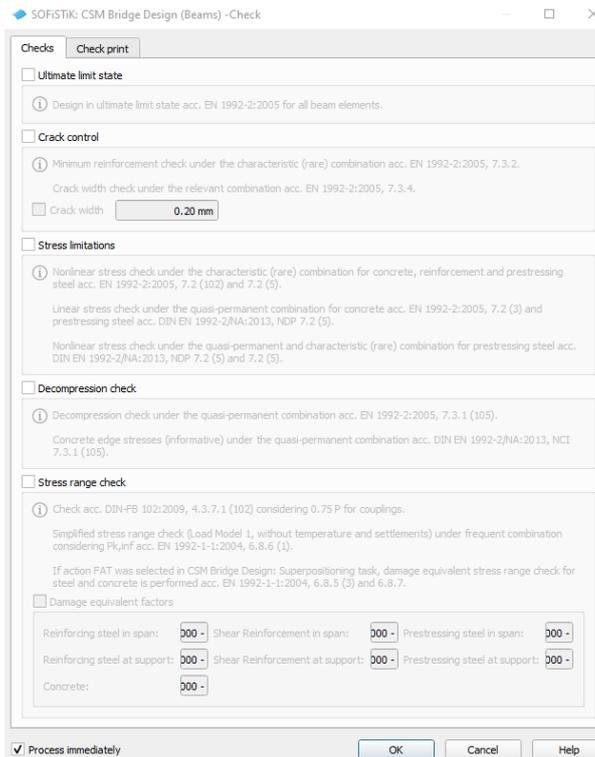


Figura 2H.2. Ventana *CSM Bridge Design (Beams) -Check > Checks*. Nada seleccionado

En la pestaña *Check print*, seleccionamos un elemento viga con el icono de visualización del modelo.

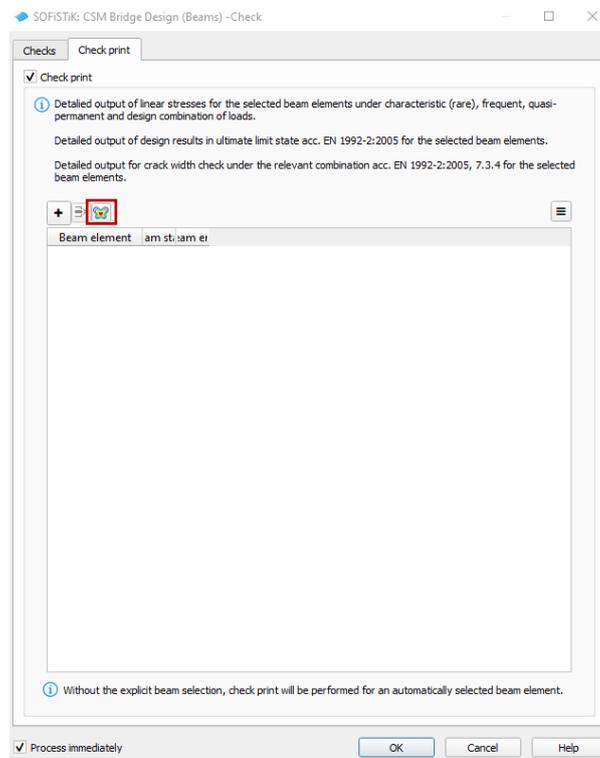


Figura 2H.3. Ventana *CSM Bridge Design (Beams) -Check > Check print*. Ícono de visualización marcado

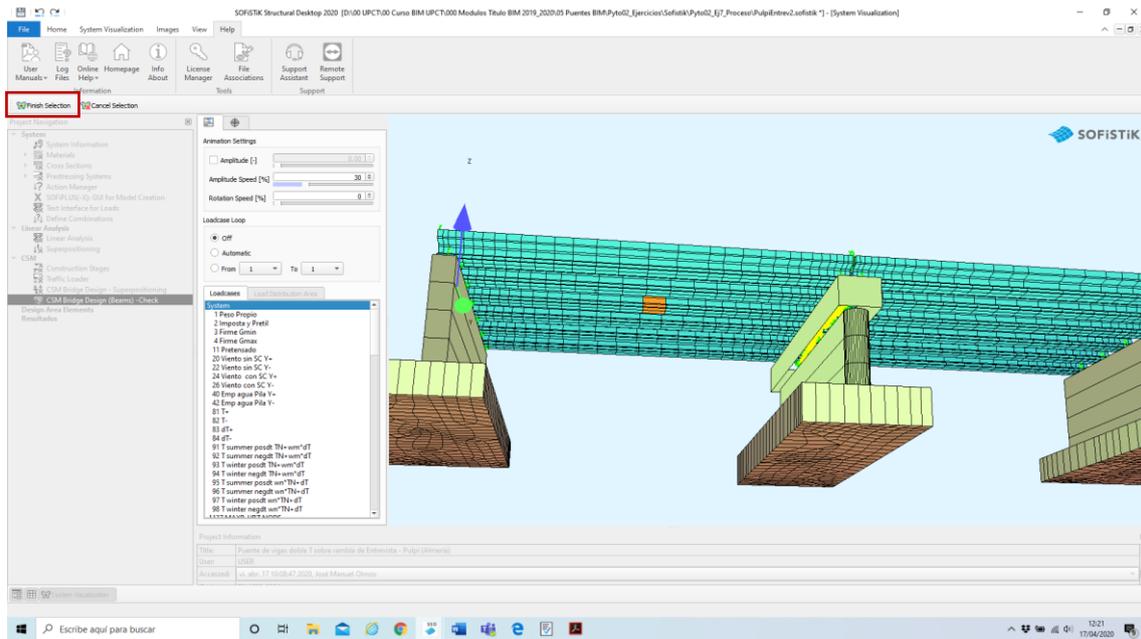


Figura 2H.4. Selección de elemento finito de viga en centro de vano

Y finalizamos la selección. Desmarcamos Beam end.

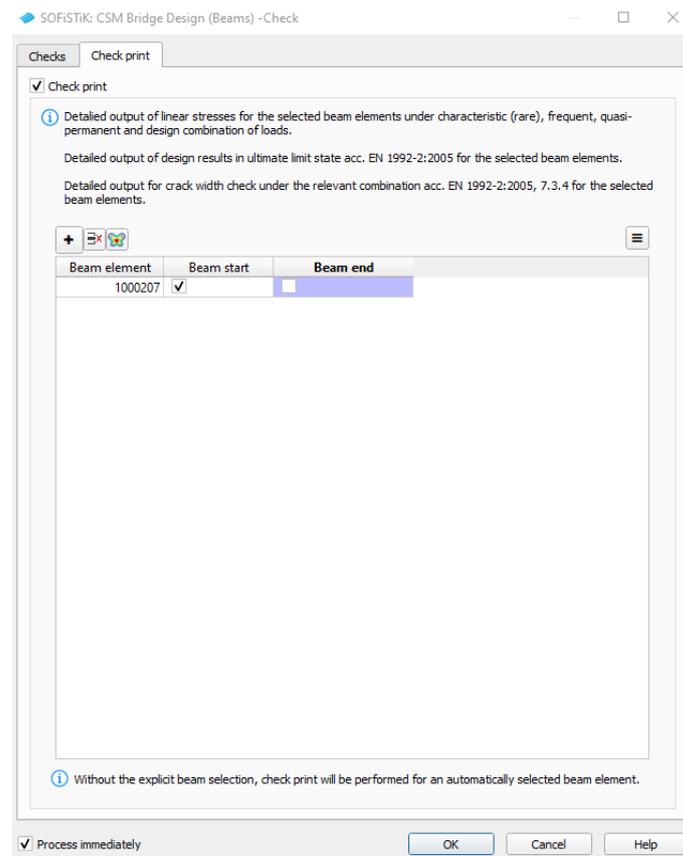


Figura 2H.5. Ventana CSM Bridge Design (Beams) -Check > Check print. Beam end desmarcado

Aceptamos para que se calcule esta tarea.

Ya podemos consultar varios resultados referentes a la sección de la viga elegida pulsando en la tarea con botón derecho y seleccionado *Reports*

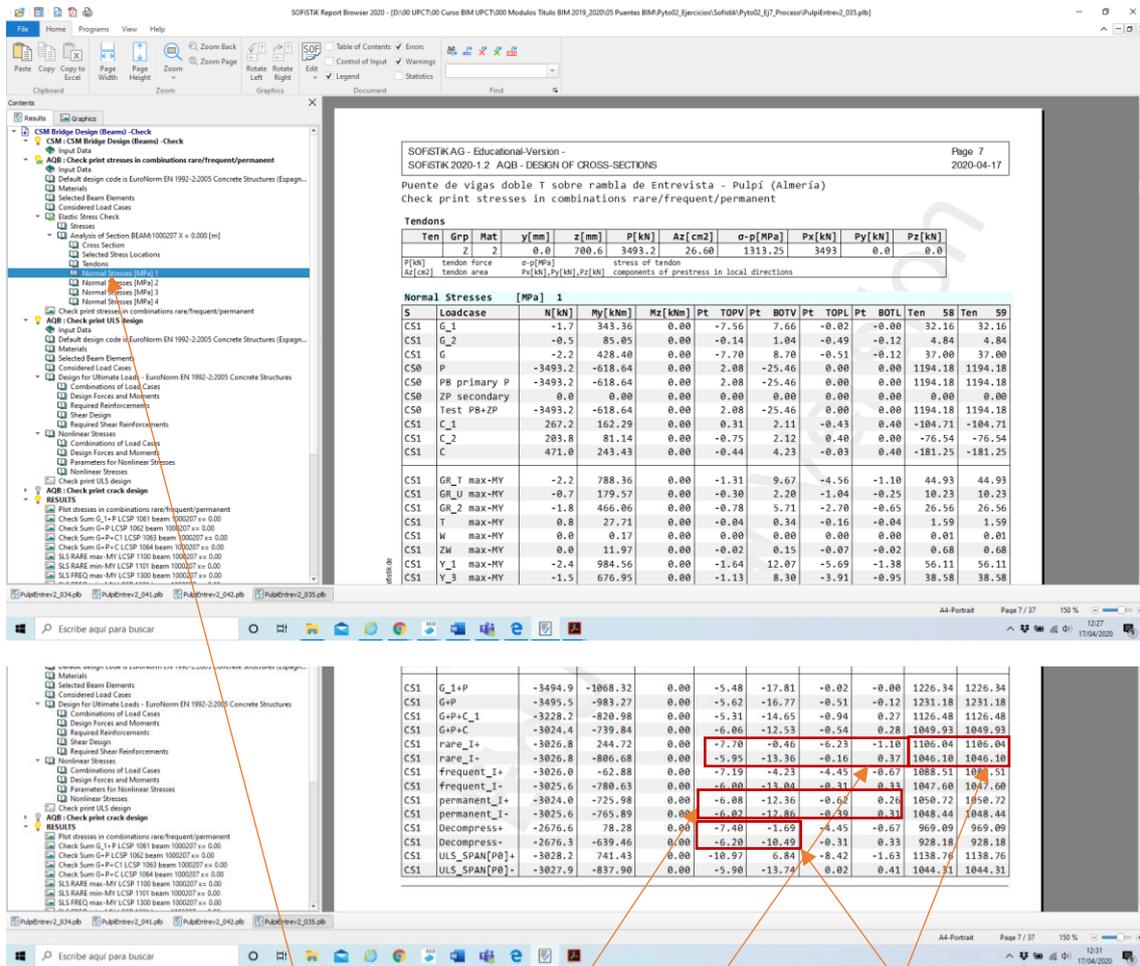


Figura 2H.6. Resultados de Normal Stresses [MPa] 1

Si vamos a **Normal Stresses 1** dentro de **AQB: Check print stresses in combinations rare/frequent/permanent**, podemos consultar tensiones en el hormigón y en los tendones de pretensado en la sección seleccionada.

Las tensiones interesantes son las tensiones en la viga en la combinación de descompresión. Como vemos, son negativas; esto en SOFiSTiK quiere decir que solo hay compresiones. No hay tracciones, por ende, cumplimos con esta comprobación $\sigma_c > 0$.

Para comprobar las tensiones de compresión máxima en el hormigón ($\sigma_c \leq 0.6 \cdot f_{ck} = 36$ MPa o 18 MPa según se trate del HP-60 de las vigas o del HA-30 de la losa), podemos fijarnos en la combinación *rare* (característica).

Para comprobar tensiones de compresión ($\sigma_c \leq 0.45 \cdot f_{ck} = 27$ o 13.5 MPa) en combinación cuasi-permanente.

Para comprobar tensiones de tracción en los tendones de pretensado $\sigma_p < 0.75 \cdot f_{pk} = 0.75 \cdot 1860 = 1395$ MPa en combinación característica (*rare*).

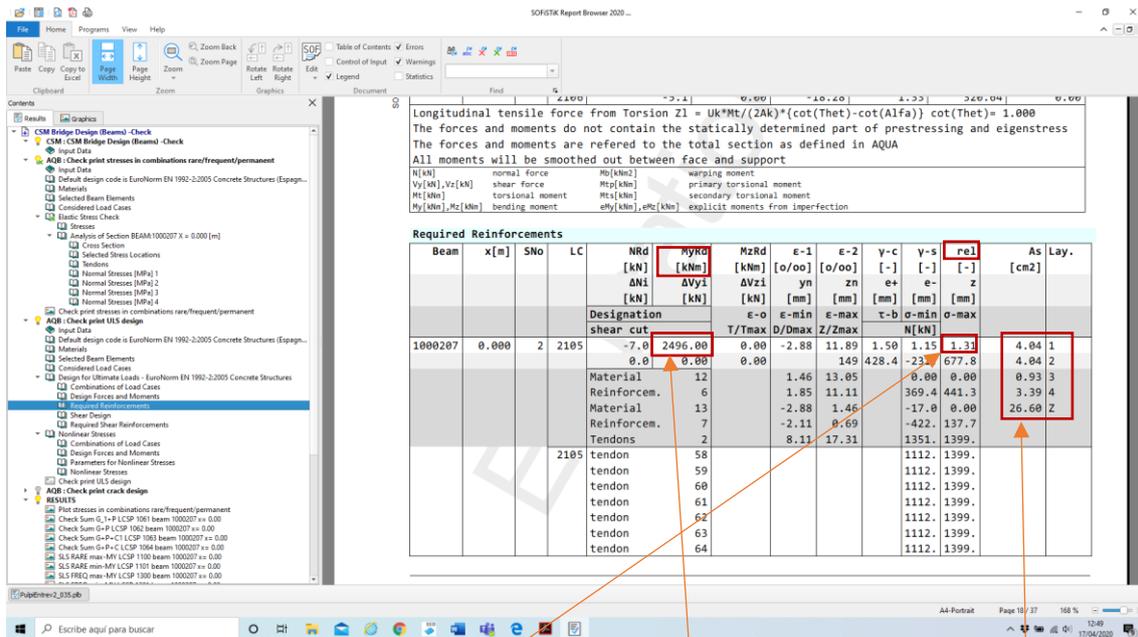


Figura 2H.7. Resultados de Required Reinforcements

Si vamos ahora a **Required Reinforcements** en **AQB: Check print ULS design**, podemos consultar el momento flector resistente de la sección viga + losa M_{yRd} y el nivel de utilización de esta resistencia. Es decir: $rel = MyRd/MyEd$. Si $rel > 1$, entonces O.K.

Recordemos que:

M_{yEd} es el momento de cálculo (sin incluir pretensado).

M_{yRd} es el momento resistente (tiene en cuenta el pretensado mediante deformación impuesta de los tendones)

Aquí tenemos la armadura que hemos introducido nosotros en la sección tanto pasiva como activa. Si rel fuera igual a 1, entonces SOFISTIK habría tenido que aumentar la armadura pasiva A_s de la sección para lograr cumplir la resistencia por flexión.

Por ahora cumplimos todo, pero lo que nos interesa es realizar las comprobaciones en todas las secciones de todas las vigas. No solo en la sección que hemos elegido. Esto lo haremos en el siguiente apartado.

H.3. Comprobaciones de SOFISTIK en todas las vigas del tablero

- Comprobación de resistencia a flexión de todas las vigas

Vamos a insertar de nuevo otra tarea *CSM Bridge Design (Beams)*:

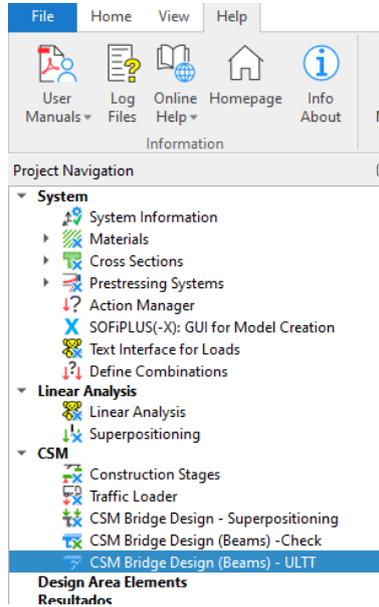


Figura 2H.8. Nueva tarea insertada: *CSM Bridge Design (Beams) - ULTI*

Le cambiamos el nombre a *CSM Bridge Design (Beams) -ULTI*. Abrimos la tarea, seleccionamos Ultimate Limit State y aceptamos para que se calcule.

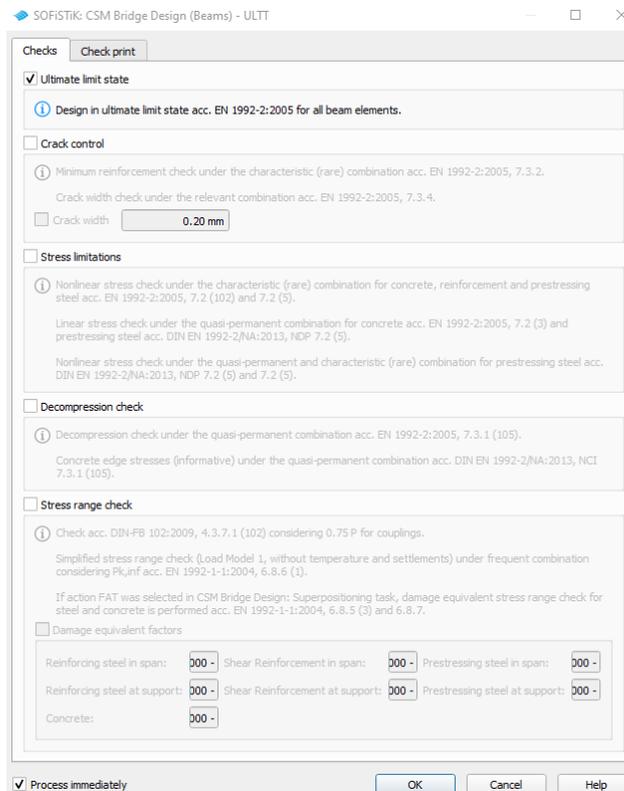


Figura 2H.9. Ventana *CSM Bridge Design (Beams) - ULTI > Checks*. *Ultimate last state* seleccionado

Después de realizar este cálculo, insertamos una nueva tarea: *Interactive Graphics* y le ponemos de nombre *Interactive Graphics ULTI*

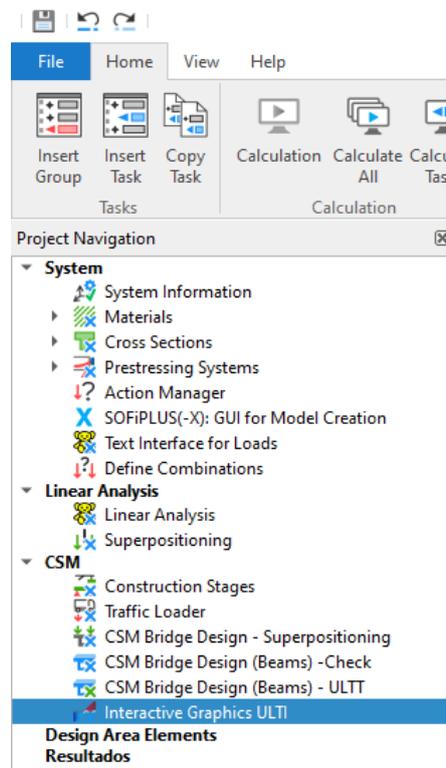


Figura 2H.10. Nueva tarea insertada: *Interactive Graphics ULTI*

La abrimos. Este programa es WinGraf para mostrar gráficos de resultados calculados por los programas de SOFiSTiK.

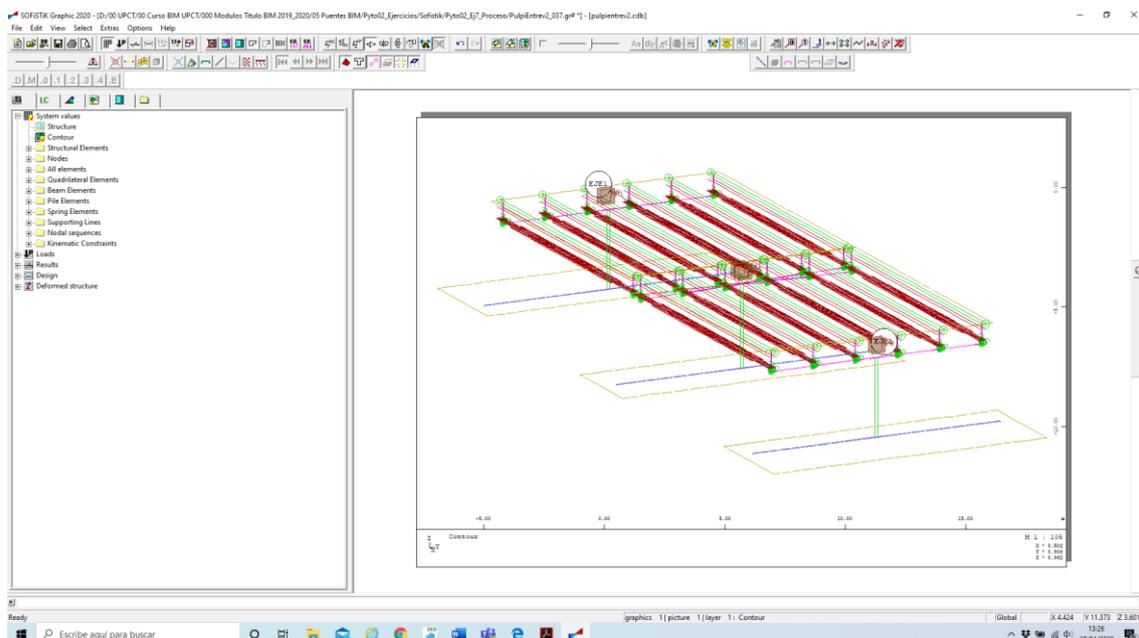


Figura 2H.11. Visualización del sistema en WinGraf

Vamos a configurar los gráficos que nos interesan. Los relativos a M_{yRd} en toda la viga y a M_{yEd} . Vamos primero a seleccionar en la pestaña *P* (ver figura siguiente) Design/Utilisation Level/Design Capacity Myi.

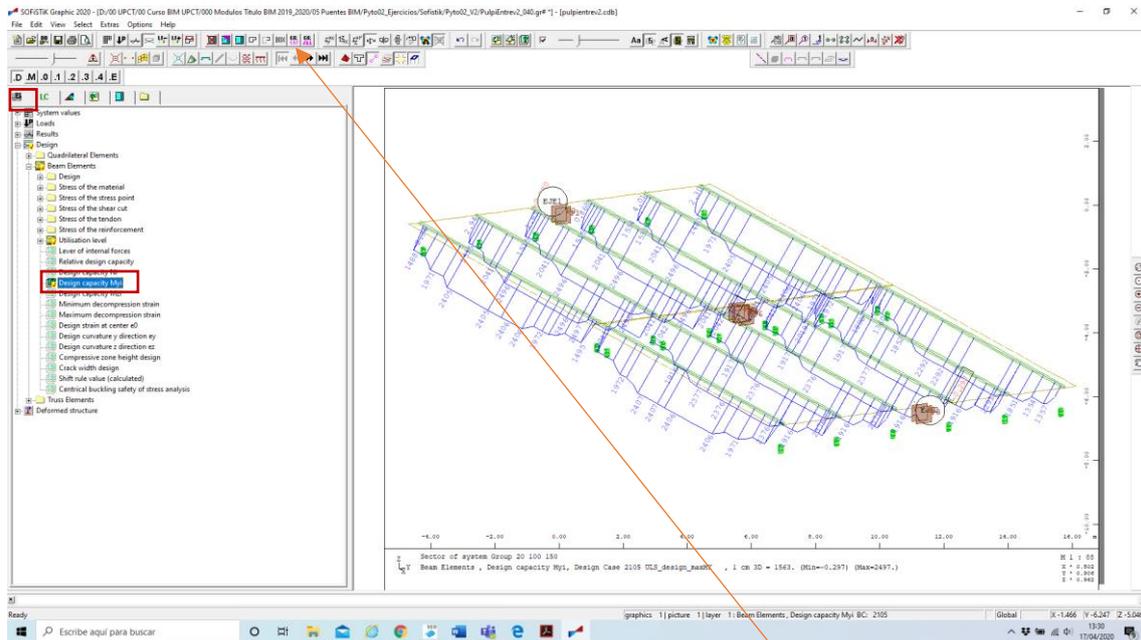


Figura 2H.12. Desing capacity Myi

Podemos seleccionar los grupos que queremos ver en los gráficos, aquí. Ponemos solo el grupo 100.

Ahora en la pestaña LC (ver figura siguiente) seleccionamos el LC 2105: ULS_design_MaxMy.

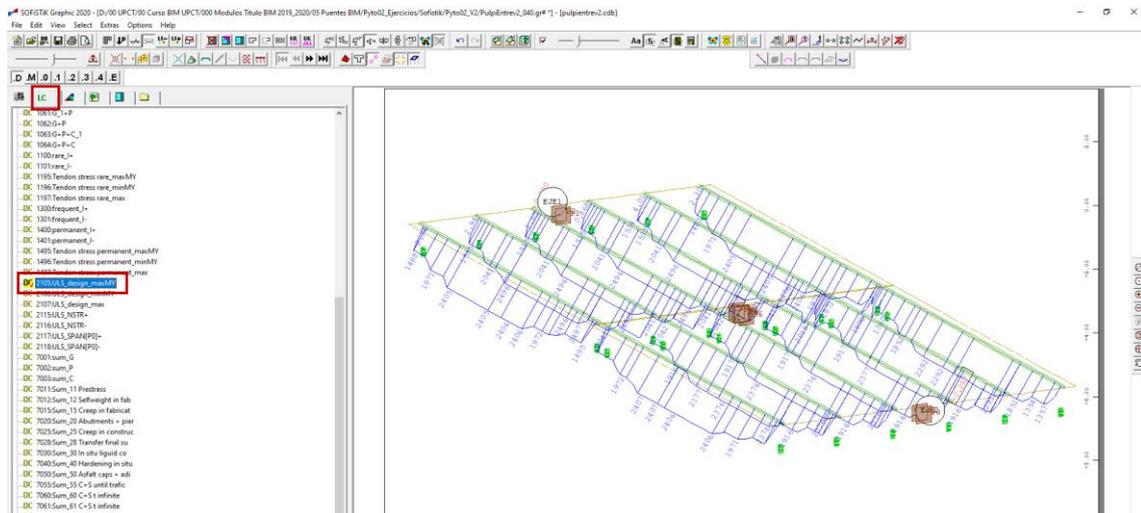


Figura 2H.13. Gráficos de 2015: ULS_design_maxMY

Los gráficos que tenemos corresponden a M_{yRd} .

Ahora vamos a la pestaña del árbol (ver figura siguiente).

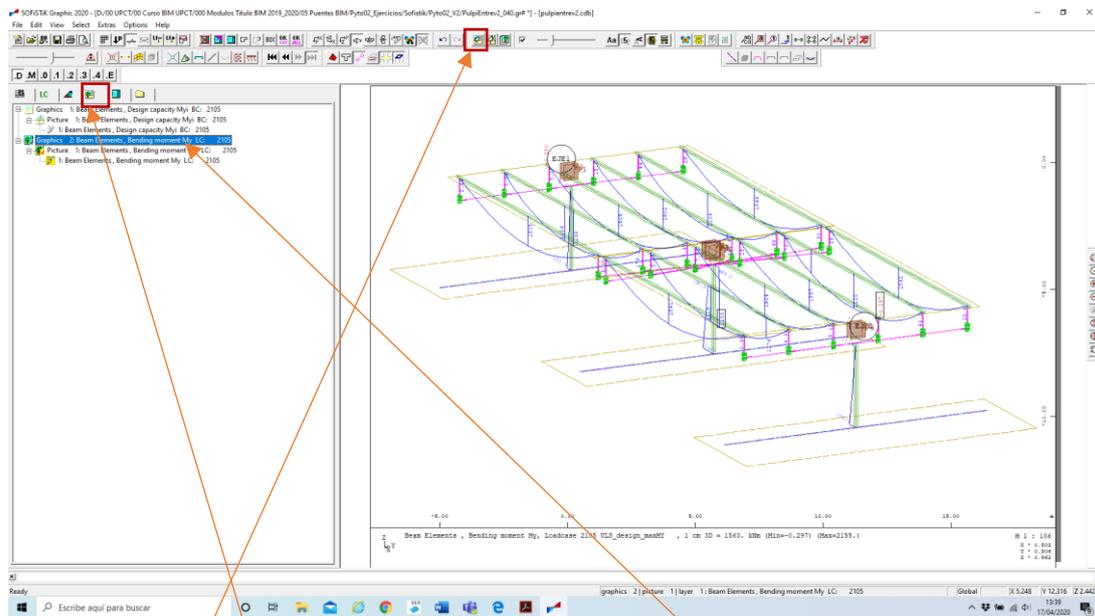


Figura 2H.14. Gráficos de Beam Elements, Bending momento MY LC: 2105

En esta pestaña del árbol creamos un nuevo gráfico duplicando el que tenemos. Para ello, pinchamos aquí.

Con este nuevo gráfico seleccionado como se muestra en la figura anterior, cambiamos de pestaña a la pestaña P y seleccionamos M_y en: *Results/Beam Elements/Forces/Bending momento M_y* (ver figura siguiente).

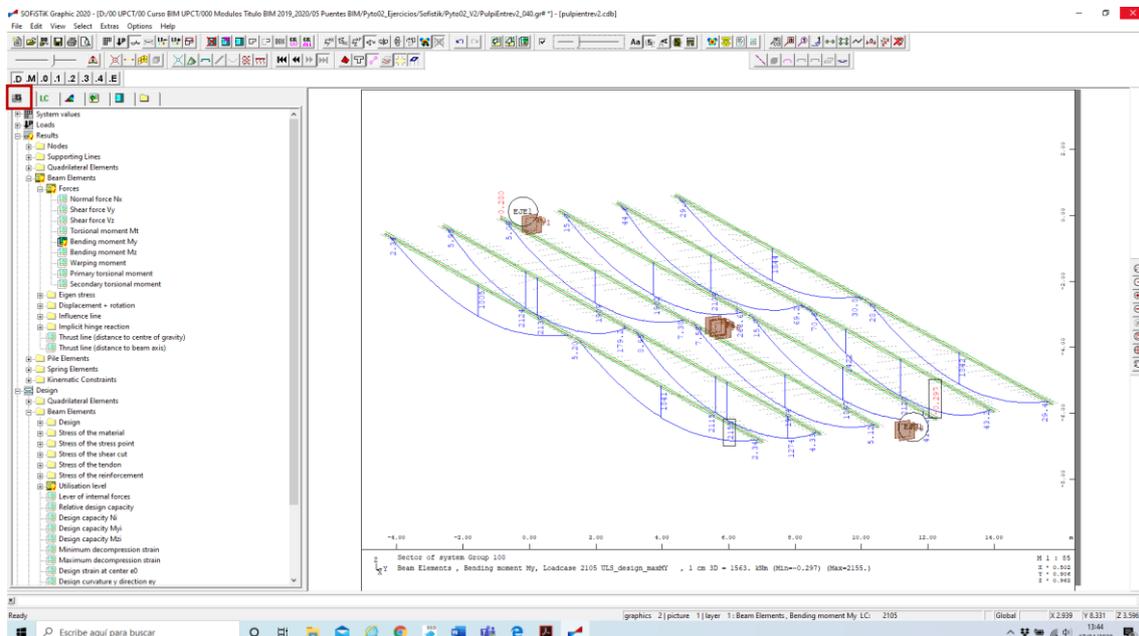


Figura 2H.15. Gráficos de M_{yEd} máximo

Lo que nos aparece ahora en pantalla es M_{yEd} máximo de las vigas.

Guardamos este *WinGraf* y lo cerramos para volver a *SOFiSTiK SSD*.

➤ Comprobación de tensiones en todas las vigas

Para generar los resultados para poder realizar las comprobaciones de tensiones en todas las vigas, podemos duplicar la tarea *CSM Bridge Design (Beams) -ULTI*. (botón derecho sobre ella y copiar) Y le cambiamos el nombre a *CSM Bridge Design (Beams) -Stresses*.

La abrimos y seleccionamos solo *Stress limitations*:

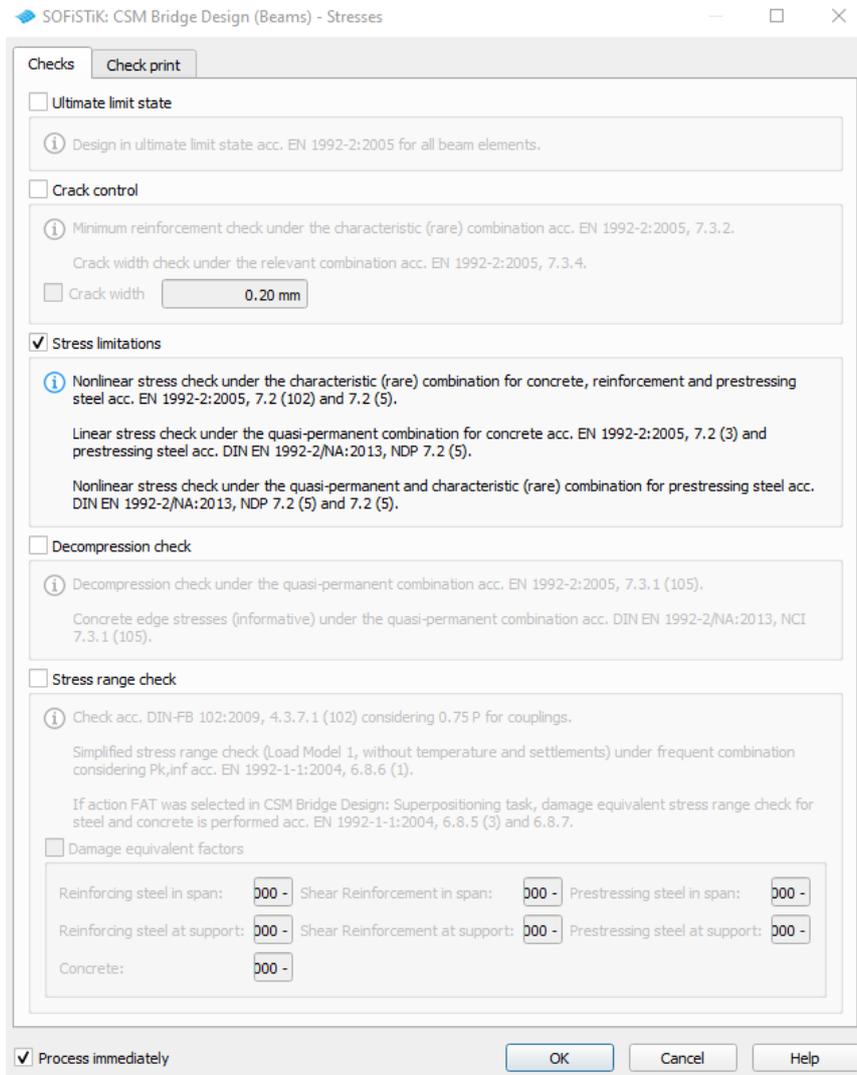


Figura 2H.16. Ventana *CSM Bridge Design (Beams) - Stresses* > *Checks*. *Stress limitations* seleccionado

Aceptamos para que se calcule.

Ahora consultamos el report de esta tarea. Botón derecho sobre ella y *Reports*.

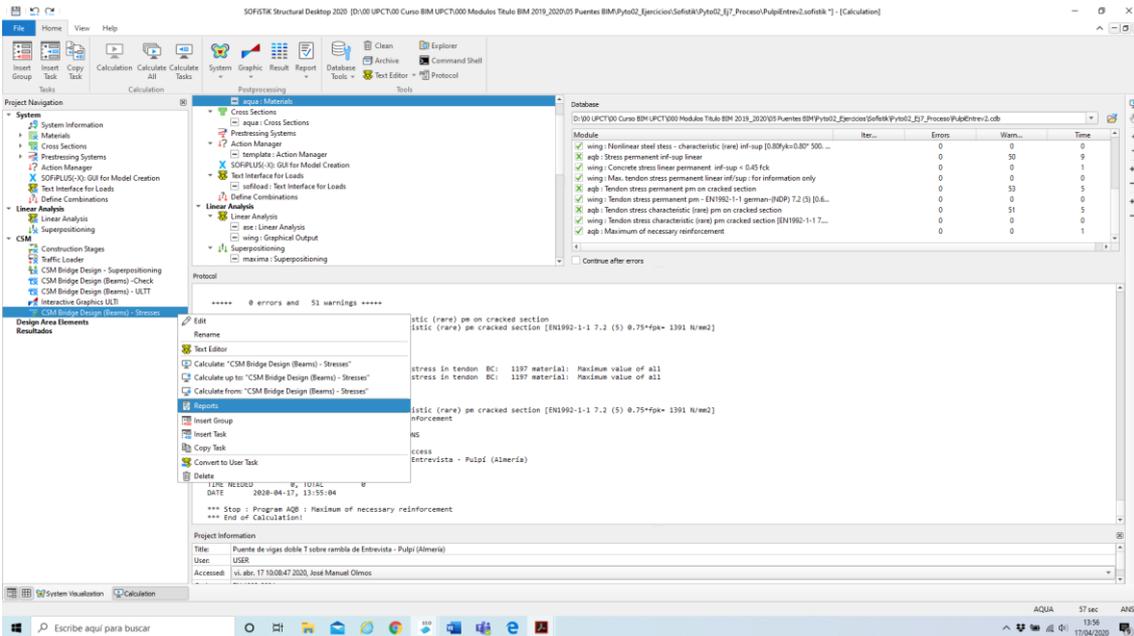


Figura 2H.17. Cuadro de cálculo tras ejecución de CMS Bridge Design (Beams) - Stresses

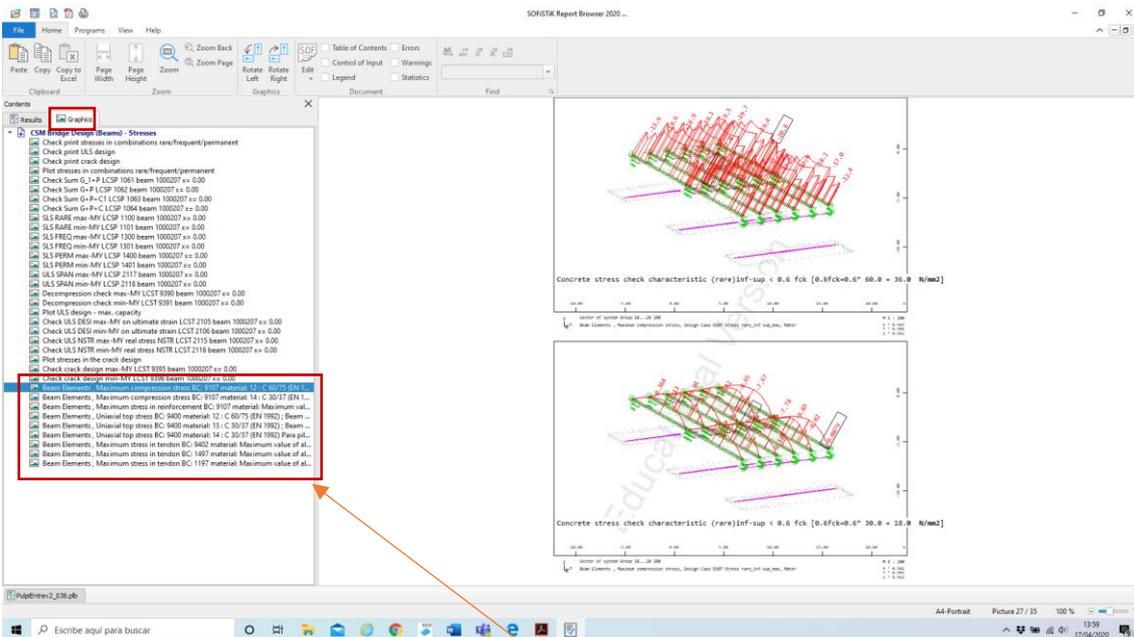


Figura 2H.18. Report de CMS Bridge Design (Beams) - Stresses

En la pestaña *Graphics* del informe, los gráficos marcados muestran las tensiones máximas en el hormigón y las armaduras pasivas y activas de todas las vigas para realizar las comprobaciones descritas más arriba. Navega por los gráficos para comprobar que todo se cumple.

➤ Comprobación del estado límite de servicio de descompresión

Copiamos la tarea anterior y le cambiamos el nombre a *CSM Bridge Design (Beams) -Decom.*

Abrimos la tarea y seleccionamos solo *Decompression Check*. Aceptamos para que se calcule.

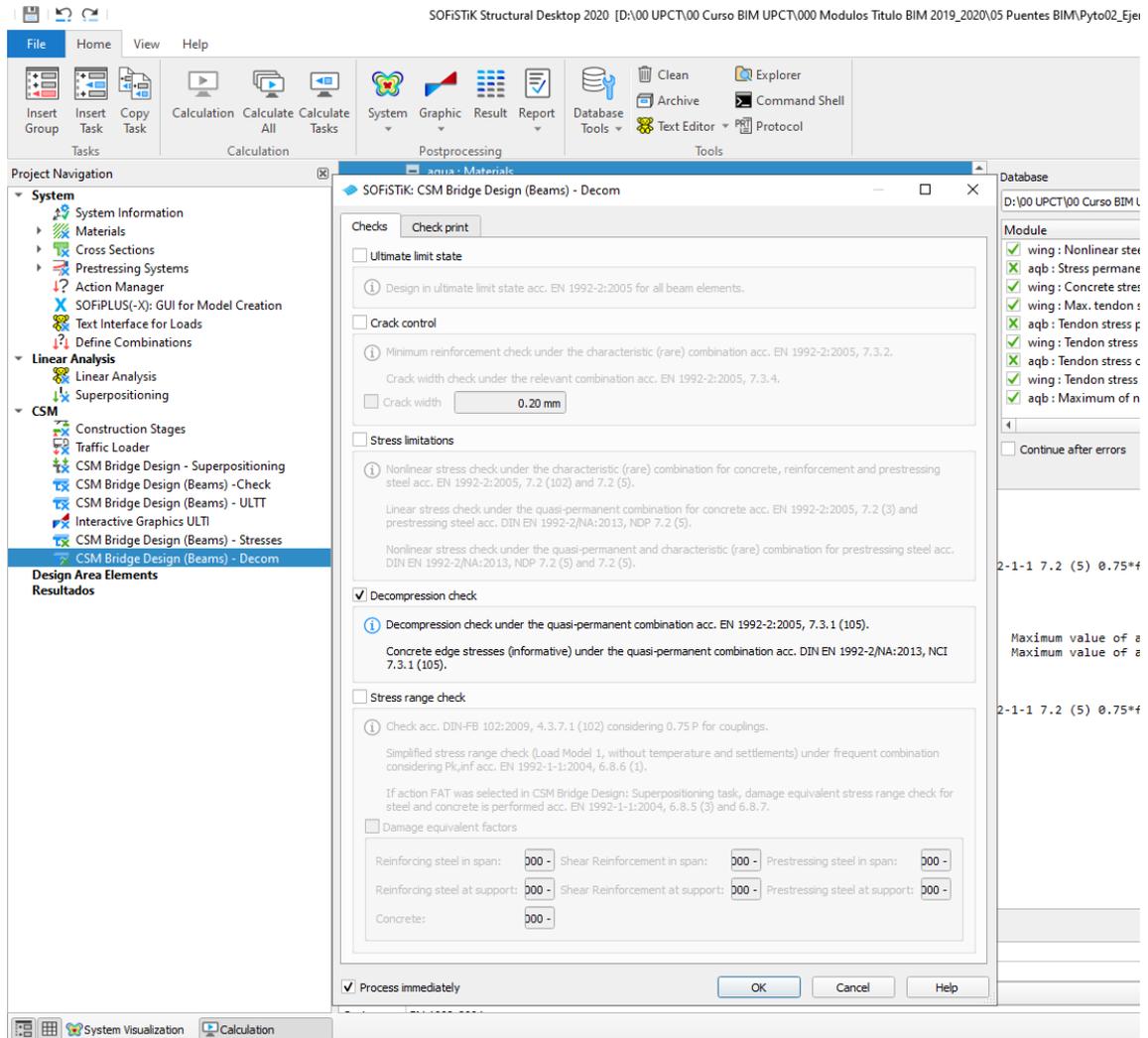


Figura 2H.19. Ventana *CSM Bridge Design (Beams) Decom > Checks*. *Decompression check* seleccionado

Consultamos su report:

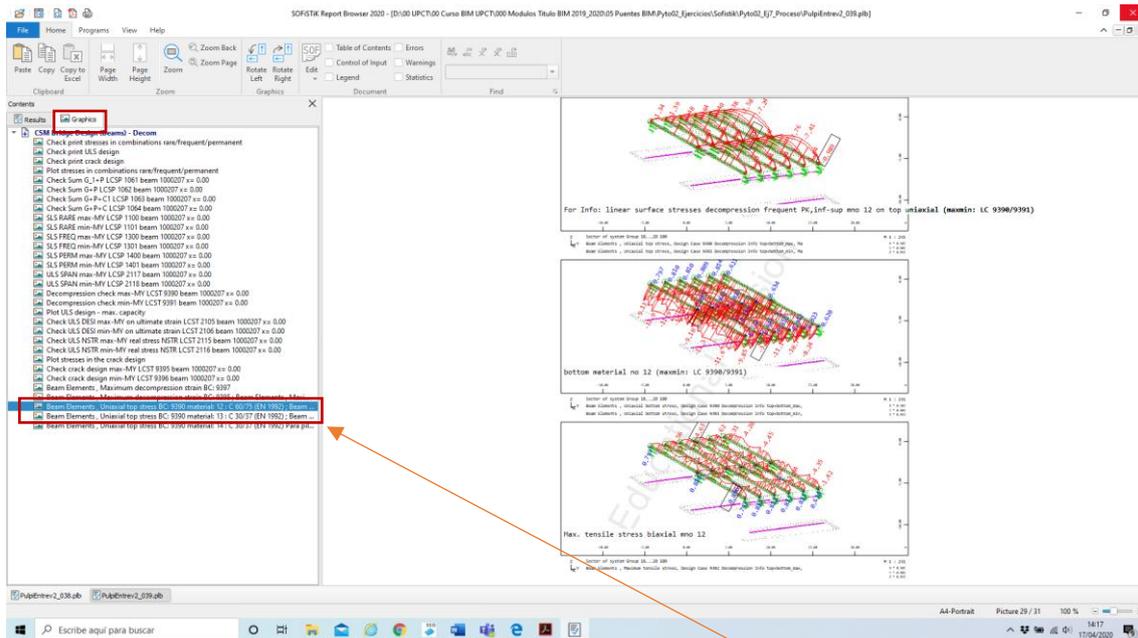


Figura 2H.20. Report de CMS Bridge Design (Beams) Decom

En la pestaña de gráficos están los gráficos (marcados en rojo en la figura anterior) de las tensiones en los dos hormigones (viga y losa) en la combinación frecuente para la comprobación de descompresión. Todas las tensiones tienen que ser negativas (de compresión en SOFiSTiK). Observamos que hay algunas positivas, pero que no superan $f_{ctm} = 5$ MPa que marca el inicio de una fisura para el hormigón HP-60.

Ejercicio 21

Consulta de la resistencia de la viga sin la losa

I. RESOLUCIÓN

Con el modelo que hemos construido hasta ahora, SOFiSTiK solo calcula la resistencia de la sección Viga+Losa. Para calcular la resistencia de la Viga sola, y saber si resiste su peso propio y el peso de la losa superior antes de que endurezca, hay que crear otro modelo con la viga sola.

Para calcular la resistencia de la Viga sola, y saber si resiste su peso propio y el peso de la losa superior antes de que endurezca, hay que crear otro modelo con la viga sola.

Los archivos de ese otro modelo los tenéis en Aula Virtual con el nombre *Pyto02_Ej9 viga sola.rar*. Solo está el archivo *.dwg* y el archivo *.sofistik*.

En este ejercicio vamos a abrir el modelo de viga sola y a consultar la resistencia a flexión de la viga pretensada, es decir M_{yRd} , y el nivel de uso de esa resistencia $rel = M_{yRd}/M_{yEd}$, en el momento de hormigonado de la losa superior del puente.

Para ello, lo primero es crear una carpeta en nuestro ordenador y pegar allí los dos archivos citados, el *.dwg* y el *.sofistik*.

Abrimos el proyecto con doble click en el archivo *.sofistik*.

El proyecto está sin calcular. De esta forma pesa poco para poder compartirlo. Para calcularlo, lo primero es abrir SOFiPLUS desde SOFiSTiK:

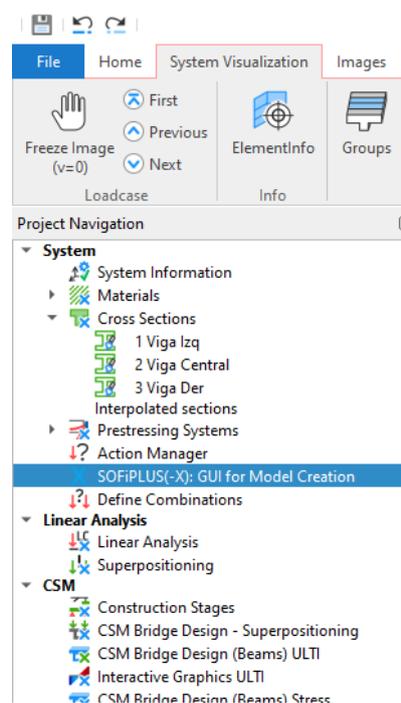


Figura 21.1. SOFiPLUS en el navegador de proyectos

Una vez en SOFiPLUS, doble click en generar modelo:

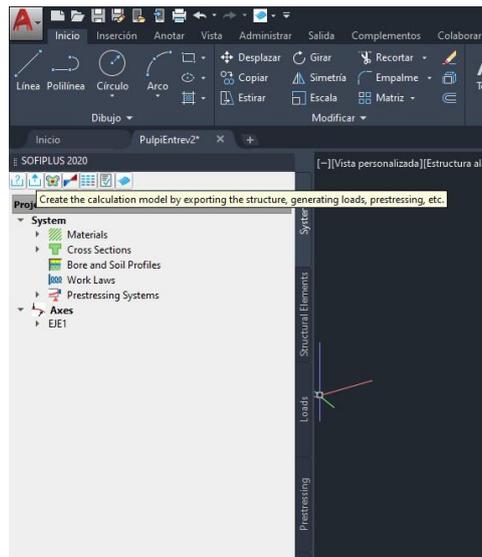


Figura 21.2. Pasos para el cálculo en SOFiSTiK

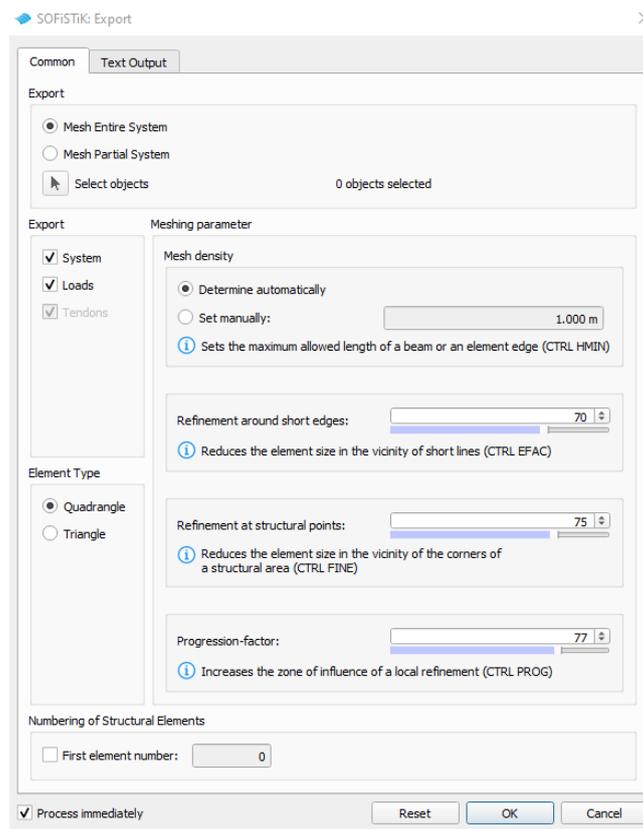


Figura 21.3. Ventana Export > Common. Viga sola

Aceptamos y vamos al escritorio de Sofistik SSD

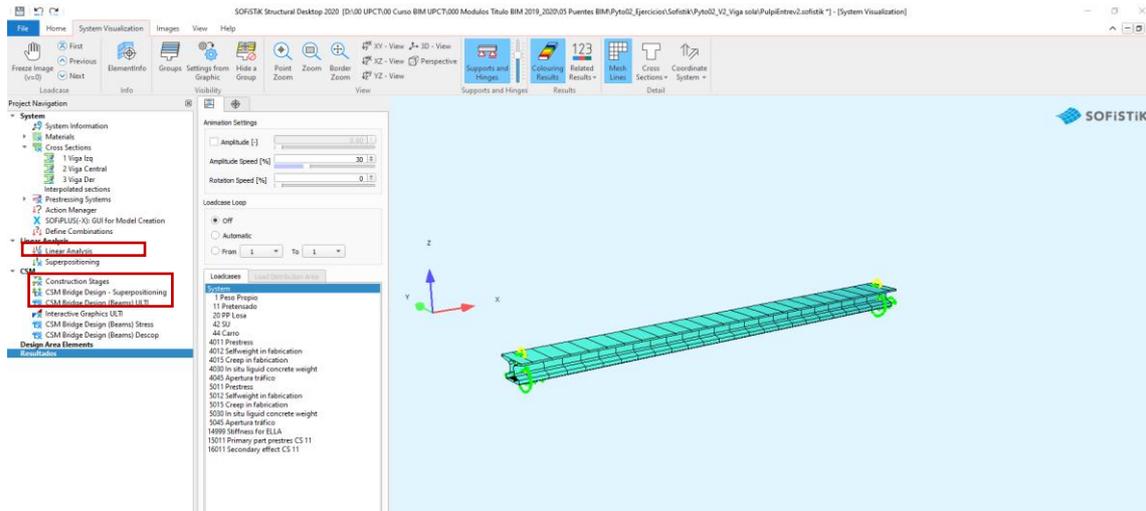


Figura 21.4. Modelo finito de la viga a analizar

Con el botón derecho del ratón vamos a ir calculando una a una las tareas marcadas con cuadro rojo en la figura anterior.

Una vez calculadas estas tareas, podemos abrir la tarea *Interactive Graphics ULTI* y ver las gráficas de la capacidad resistente M_{yRd} y del momento máximo de cálculo M_{yEd} .

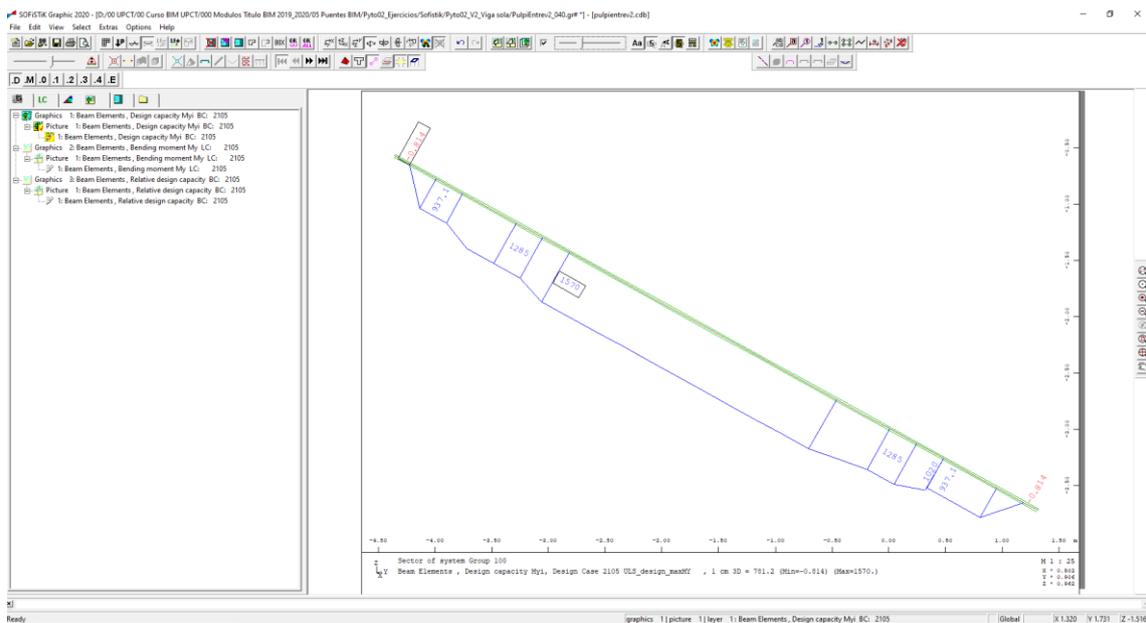


Figura 21.5. M_{yRd} [kN·m]

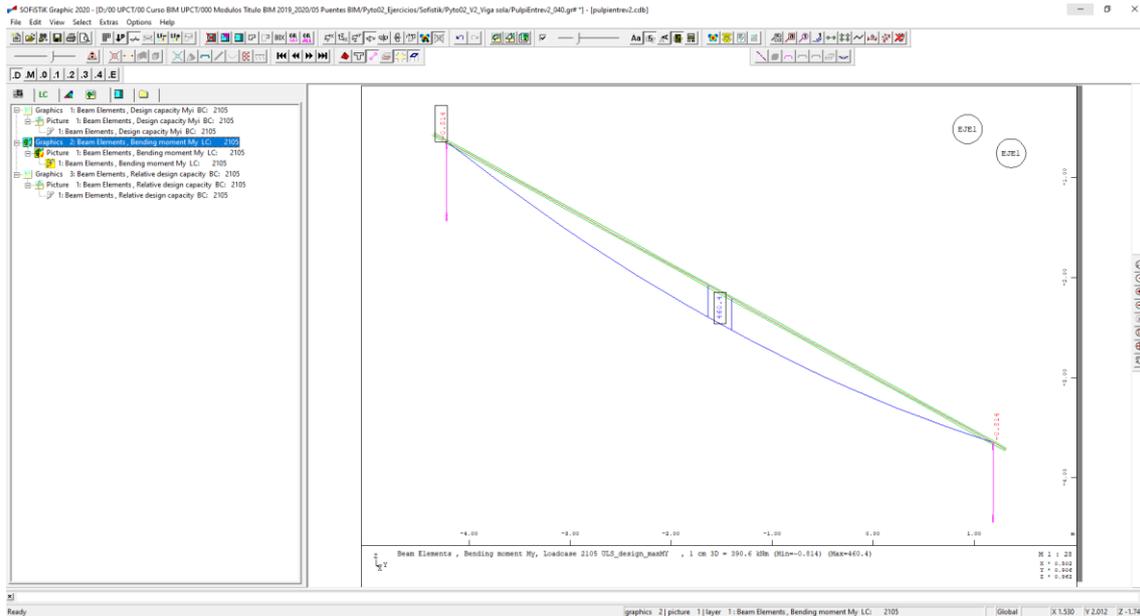


Figura 21.6. M_{yEd} [kN·m]

También podemos consultar el informe de resultados de la tarea *CSM Bridge Design ULTI*. (botón derecho sobre la tarea y *Reports*)

Beam	x[m]	SNO	LC	NRd [kN]	MyRd [kNm]	MzRd [kNm]	ε-1 [o/oo]	ε-2 [o/oo]	γ-c [-]	γ-s [-]	rel [-]	As [cm2]	Lay.
1000013	0.000	3	2105	0.0	1569.81	0.00	-2.88	5.59	1.58	1.15	3.41	1.12	3
				0.0	0.00	0.00		409	230.8	-239.	501.9	1.45	4
				0.0	0.00	0.00		6.53	-34.0	0.00	0.00	26.60	Z
				6	-2.57	4.96		-435.	436.8				
				2	4.12	11.62		844.2	1369.				
			2105	tendon	1			1237.	1369.				
				tendon	2			1237.	1369.				
				tendon	3			1237.	1369.				
				tendon	4			1237.	1369.				
				tendon	5			1237.	1369.				
				tendon	6			1237.	1369.				
				tendon	7			1237.	1369.				
				tendon	8			1237.	1369.				
				tendon	9			1237.	1369.				
				tendon	10			1237.	1369.				
				tendon	11			1237.	1369.				

Figura 21.7. Report de CSM Bridge Design ULTI > Required Reinforcements

Ejercicio 2J

Modelo BIM del puente. IFC y Revit

J. RESOLUCIÓN

J.1. IFC

Abrimos el modelo del ejercicio 10 resuelto. Para exportar el modelo BIM en formato IFC, vamos a **File > IFC Export**.

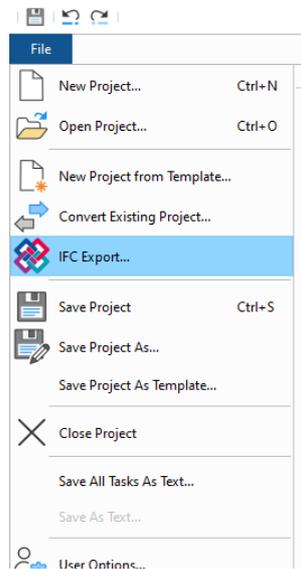


Figura 2J.1. Pasos para exportar el modelo a formato .IFC

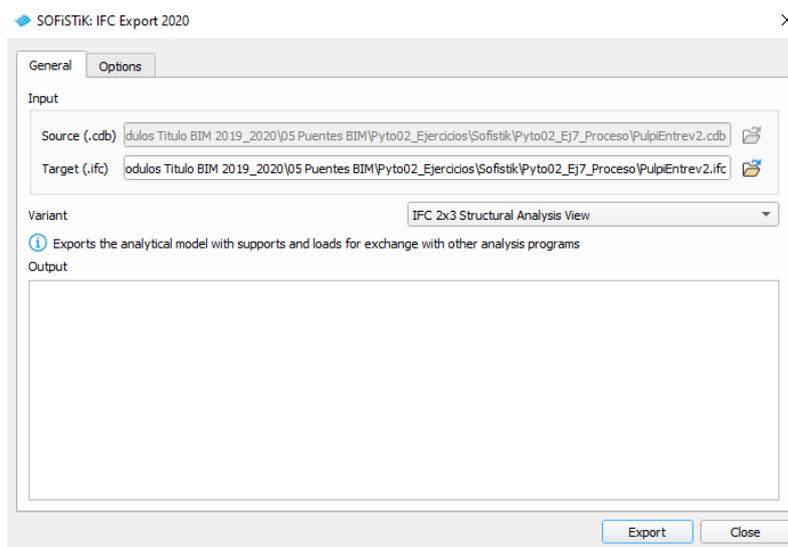


Figura 2J.2. Ventana IFC Export > General. Selección de formato IFC

Exportamos.

El archivo creado lo podemos abrir con BIM Vision para ver el modelo IFC.

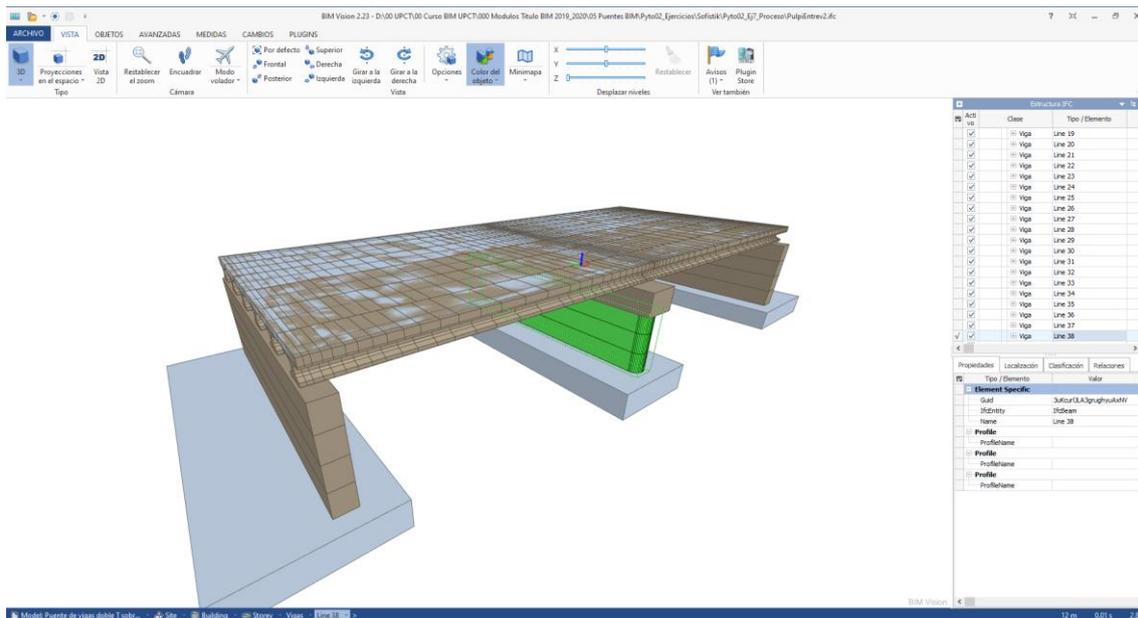


Figura 2J.3. BIM Vision con el IFC del modelo creado

J.2. Revit

Para exportar el modelo BIM de este puente a Revit:

Abrimos Revit 2020.

Creamos un nuevo proyecto con plantilla de proyecto de estructura.

Lo guardamos como en una carpeta de este proyecto 02 Ejercicio 10.

Y a continuación, vamos a la ficha de **SOFiSTiK Bridge Modeler** > **Import SOFiSTiK Model**.

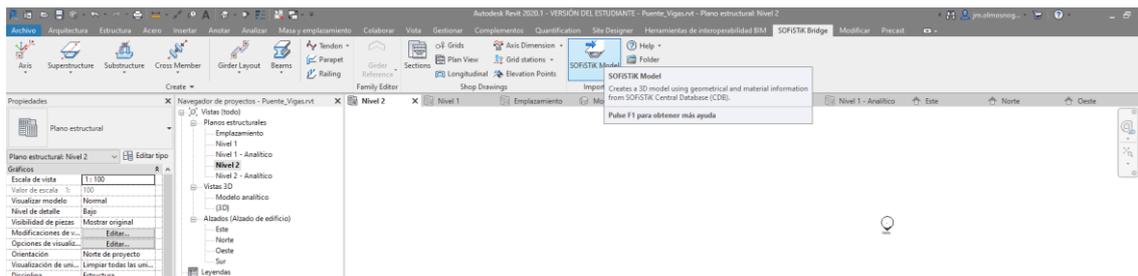


Figura 2J.4. Pasos para importar el modelo IFC

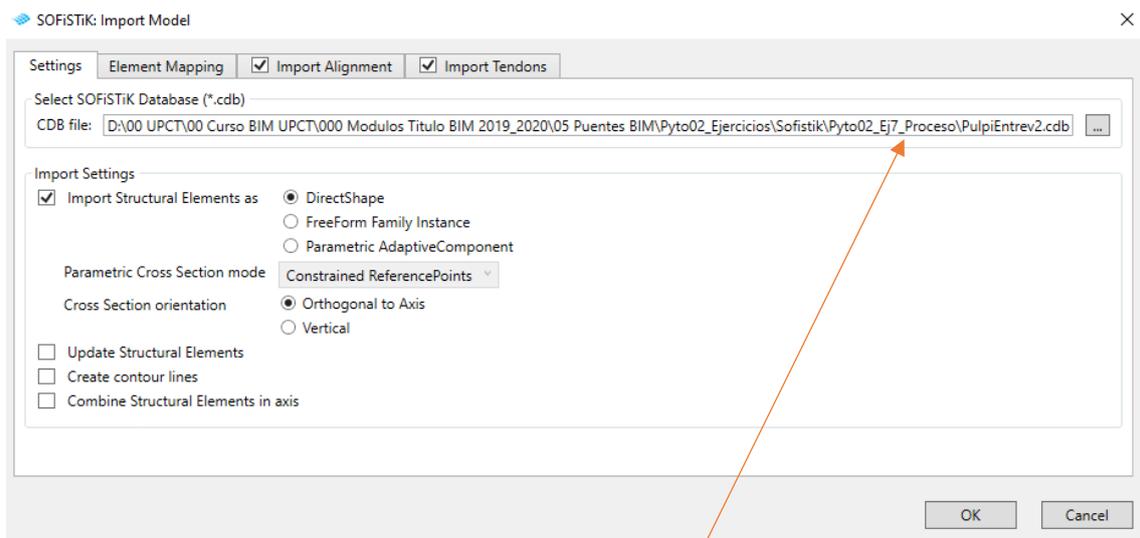


Figura 2J.5. Ventana Import Model > Settings. Selección de archivo

Seleccionamos el archivo de SOFiSTiK con extensión .cdb del ejercicio 6 resuelto o del 7 resuelto una vez que hemos generado el modelo de Elementos Finitos desde SOFiPLUS. De esta forma se crea el archivo .cbd desde el que queremos importar.

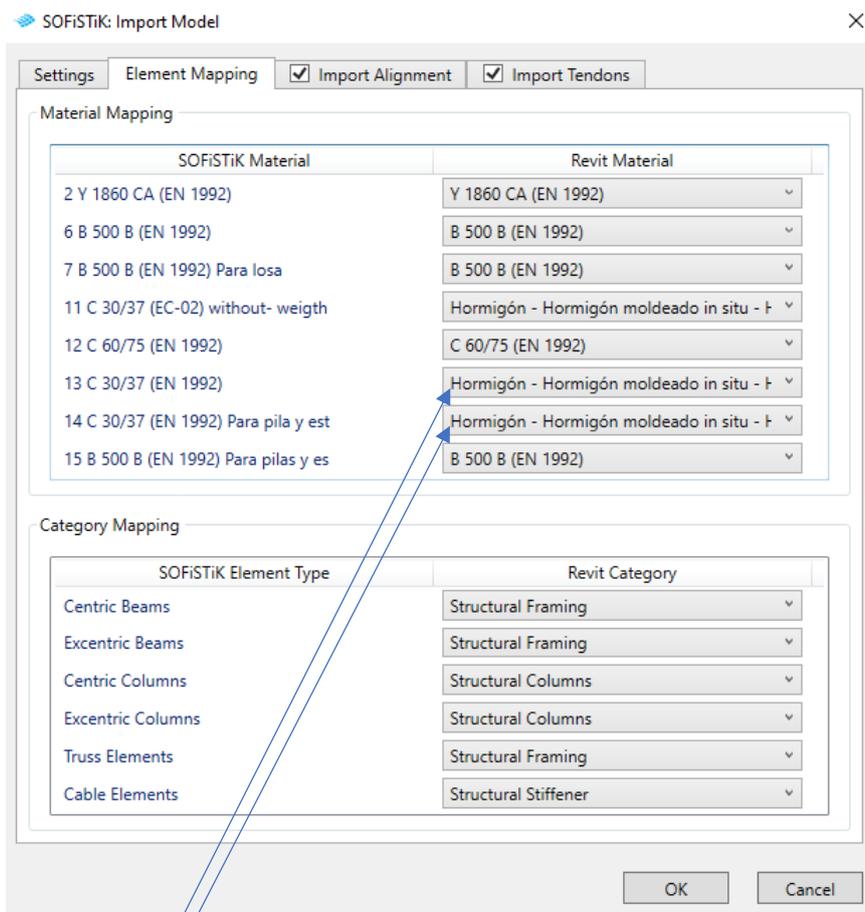


Figura 2J.6. Ventana Import Model > Element Mapping. Selección de material y categoría de Revit

Seleccionar aquí HA-30.

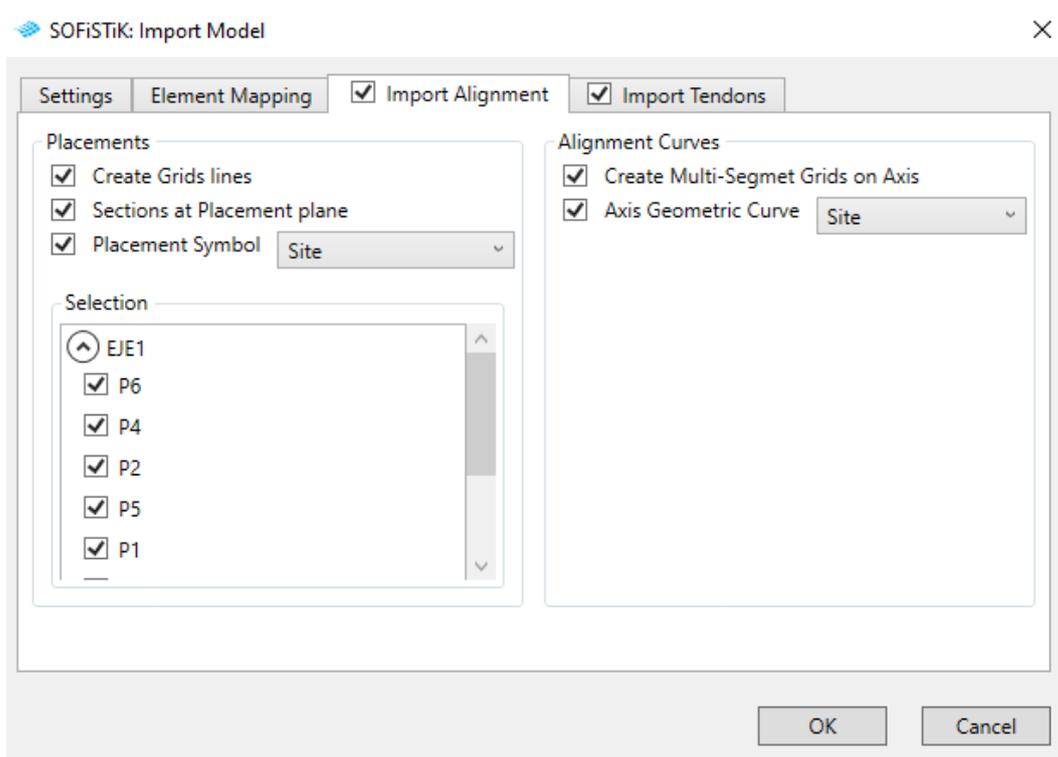


Figura 2J.7. Ventana Import Model > Import Alignment

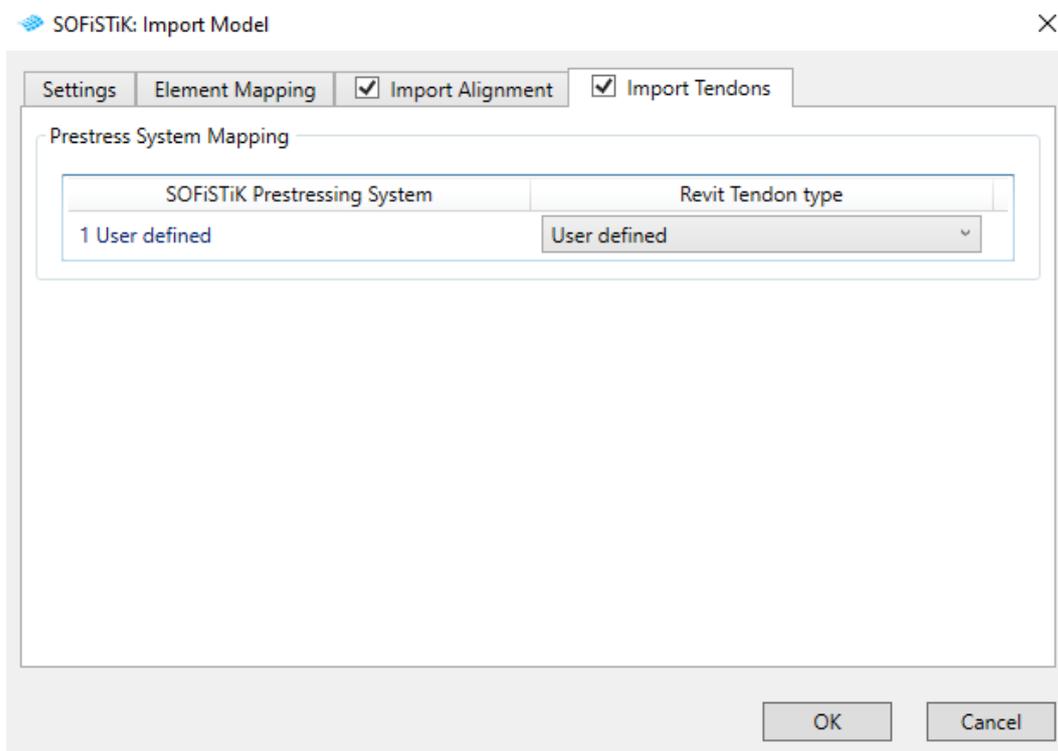


Figura 2J.8. Ventana Import Model > Import Tendons

Aceptamos.

Solo se importan los elementos estructurales Líneas. Las Áreas no se importan.

Vamos a la vista Nivel 1:

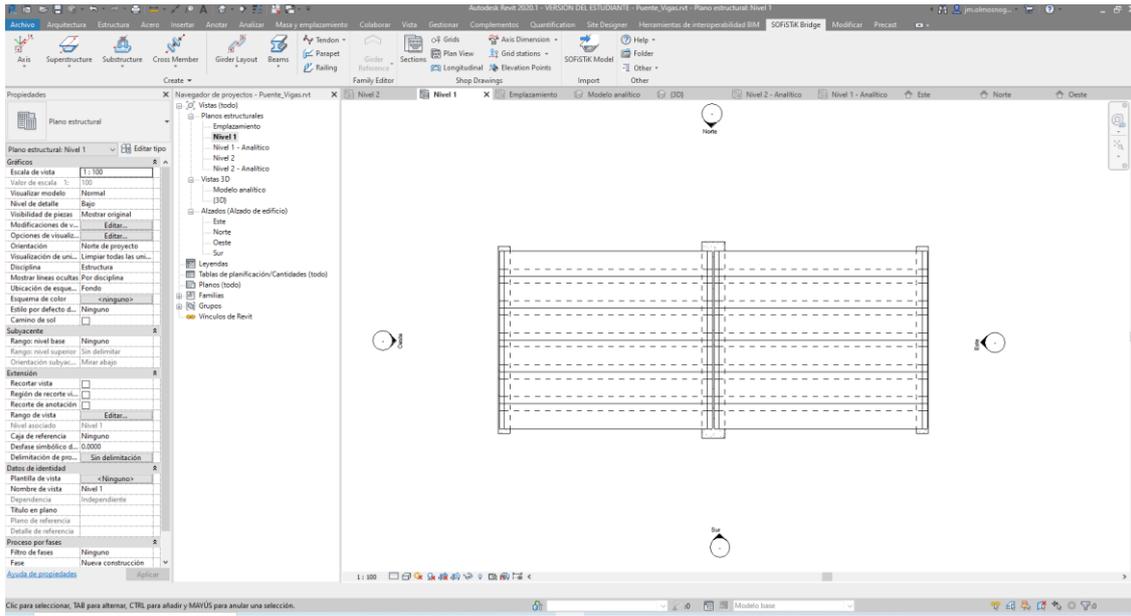


Figura 2J.9. Vista Nivel 1 del modelo

Creamos una nueva vista 3D. Para ello entramos en la pestaña Vista > Vista 3D

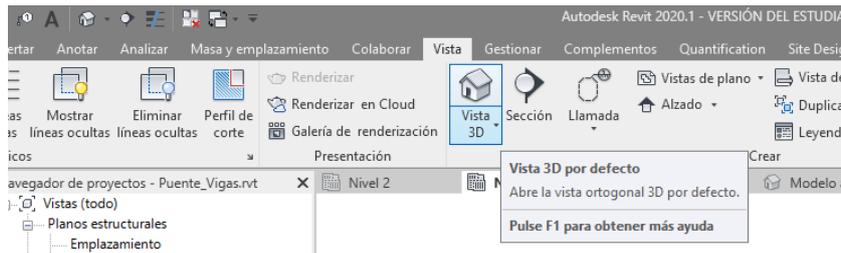


Figura 2J.10. Pasos para crear una vista 3D en Revit

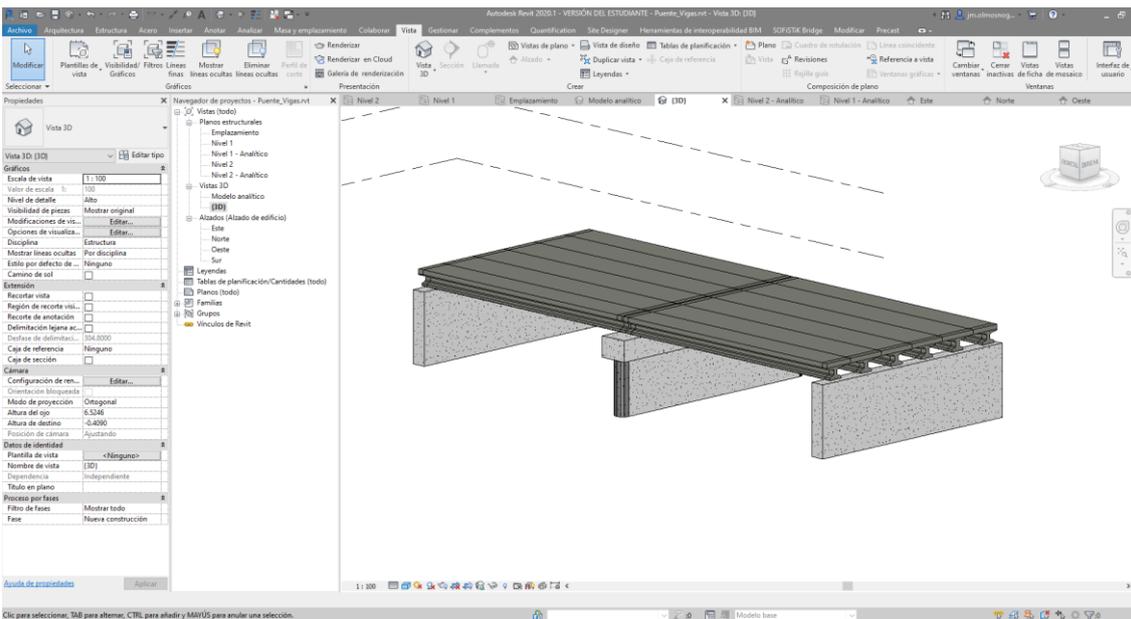


Figura 2J.11. Vista 3D del modelo importado

Como veis, las losas de cimentación no se han importado. Habría que crearlas en Revit.

Podemos seleccionar objetos para consultar sus propiedades de material, por ejemplo, una viga y un tendón. Si seleccionamos un cordón y editamos el tipo, le podemos cambiar el nombre:

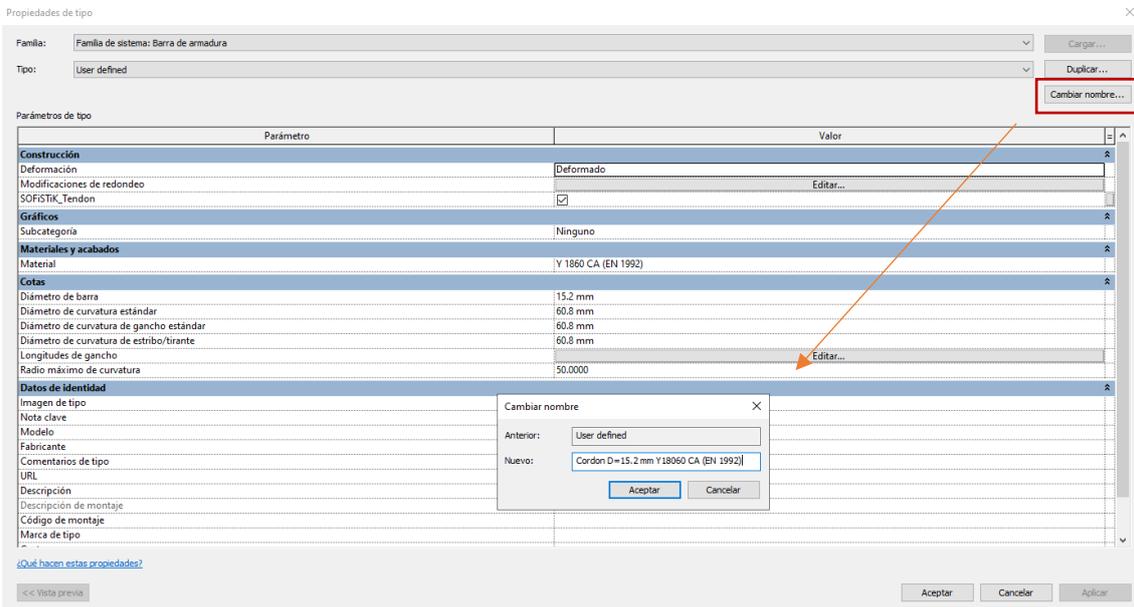


Figura 2J.12. Ventana Propiedades de tipo en Revit. Cambio de nombre a un tendón

Aceptamos y aceptamos.

Ahora si seleccionamos un cordón cualquiera, ya tiene el nombre de la familia cambiado.

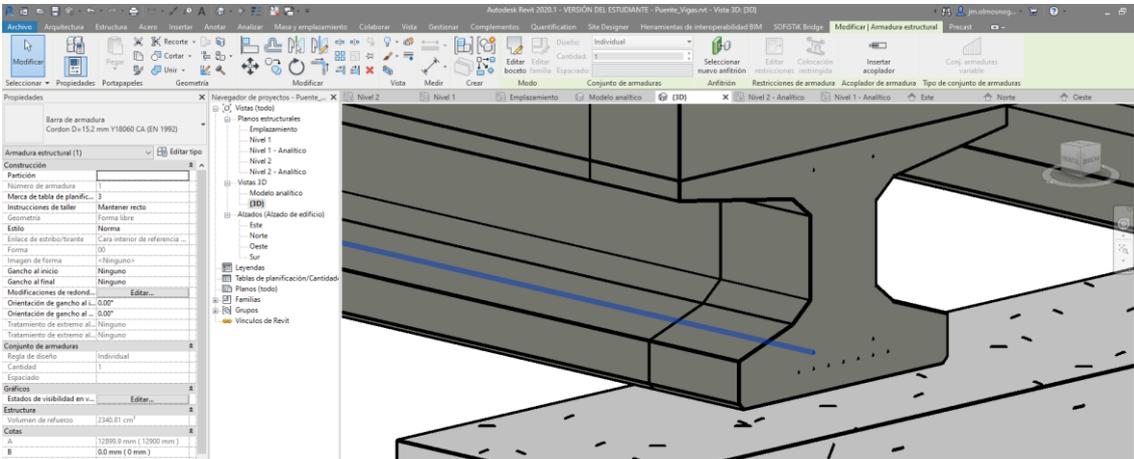


Figura 2J.13. Tendón al que se le cambió el nombre

Ahora modelaremos las zapatas. Vamos a la vista Sur y entramos en la pestaña Estructuras:

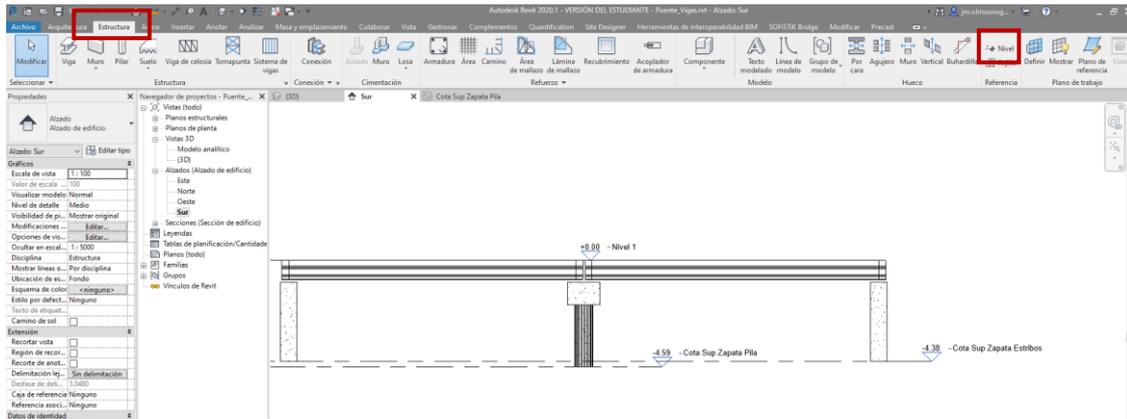


Figura 2J.14. Pasos para insertar referencia de niveles

Desde aquí, en el grupo de comandos **Referencia**, insertamos dos niveles nuevos. Uno a cota -4.59 m, que será la cota Superior de la Zapata de la Pila, y el otro a cota - 4.38 m, que será la cota Superior de la Zapata de los Estribos.

A continuación, vamos a la vista que se ha creado con el nivel introducido de *Cota Sup Zapata Pila*.

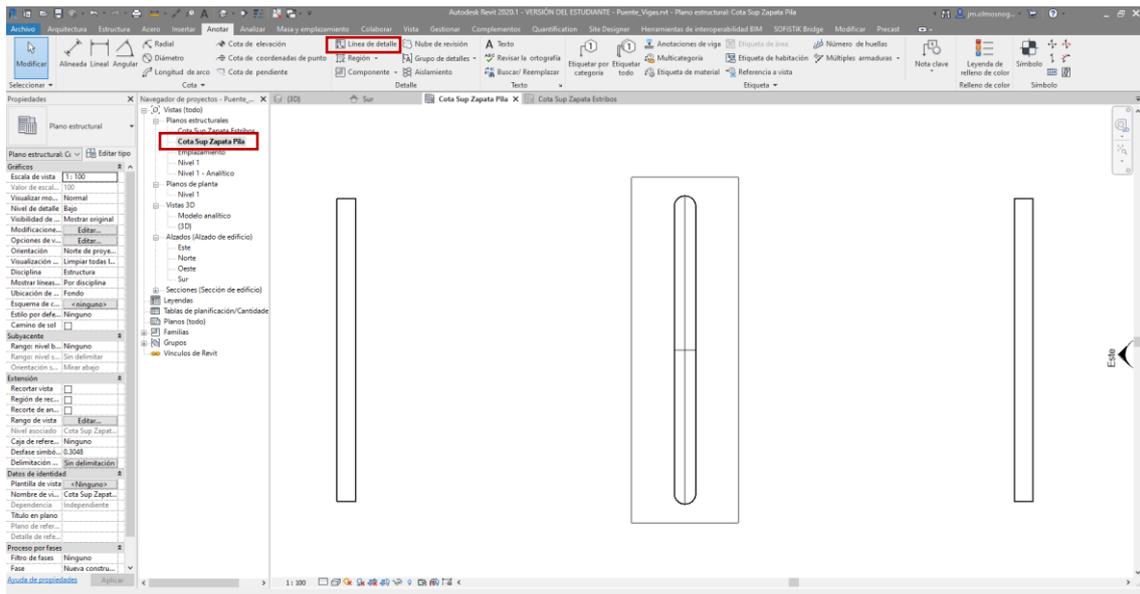


Figura 2J.15. Vista de planos cota sup zapata pila

Con la orden *Línea de detalle* en la ficha **Anotar**, podemos dibujar unas líneas auxiliares que nos servirán de apoyo para colocar la zapata. Con la cinta de opciones se abre cuando le damos a **Línea de detalle**, podemos dibujar la planta de la zapata como lo haríamos en AutoCad.

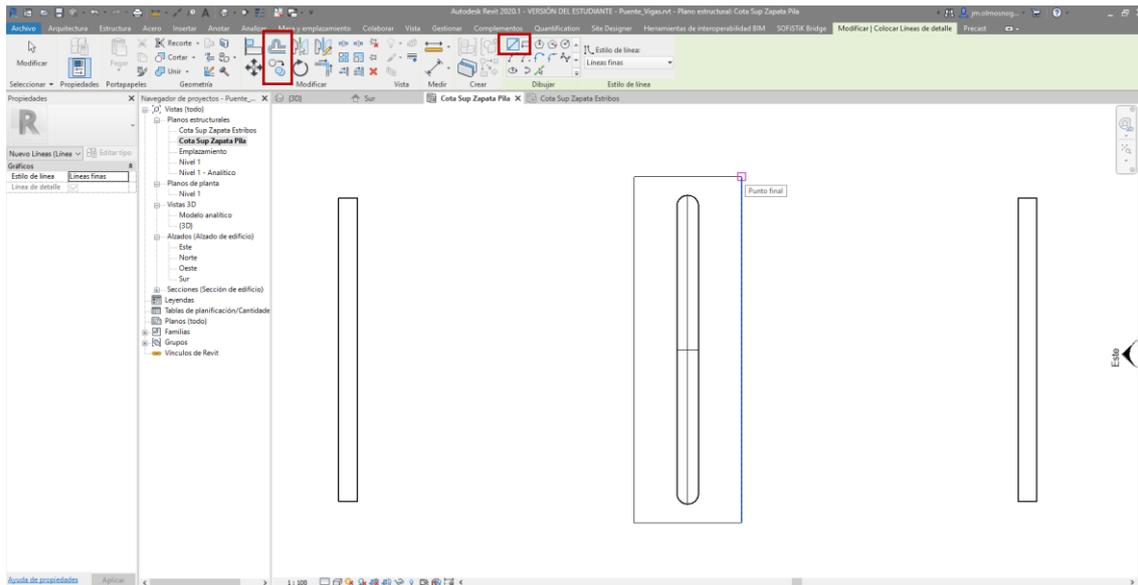


Figura 2J.16. Comandos para dibujar la zapata

Recordemos que las dimensiones en planta de la zapata de la pila son 4.00 x 13.00 m.

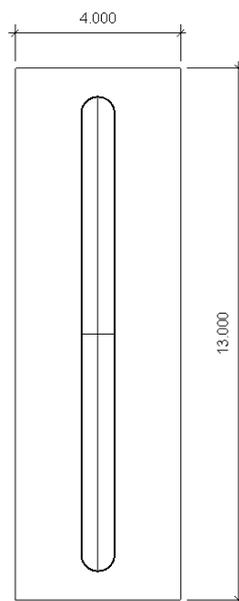


Figura 2J.17. Dimensiones de la zapata de la pila

A continuación, creamos en el modelo la zapata de la pila. Para ello vamos a la ficha **Estructura > Losa**.

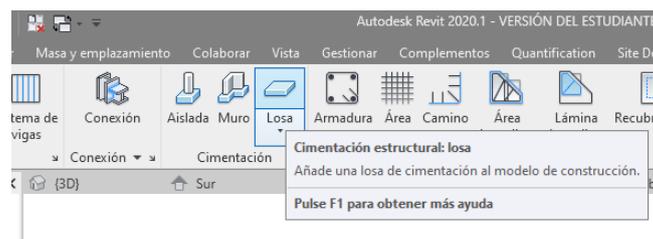


Figura 2J.18. Pasos para introducir la losa

En el panel de propiedades seleccionamos la familia *Losa de Cimentación*, y el tipo *Losa de cimentación estructural 1200 mm*. Si no tenemos este tipo de 1.2 m de canto, seleccionamos otro y en Editor de tipo lo duplicamos y le cambiamos el material (HA-30) y el espesor de la losa.

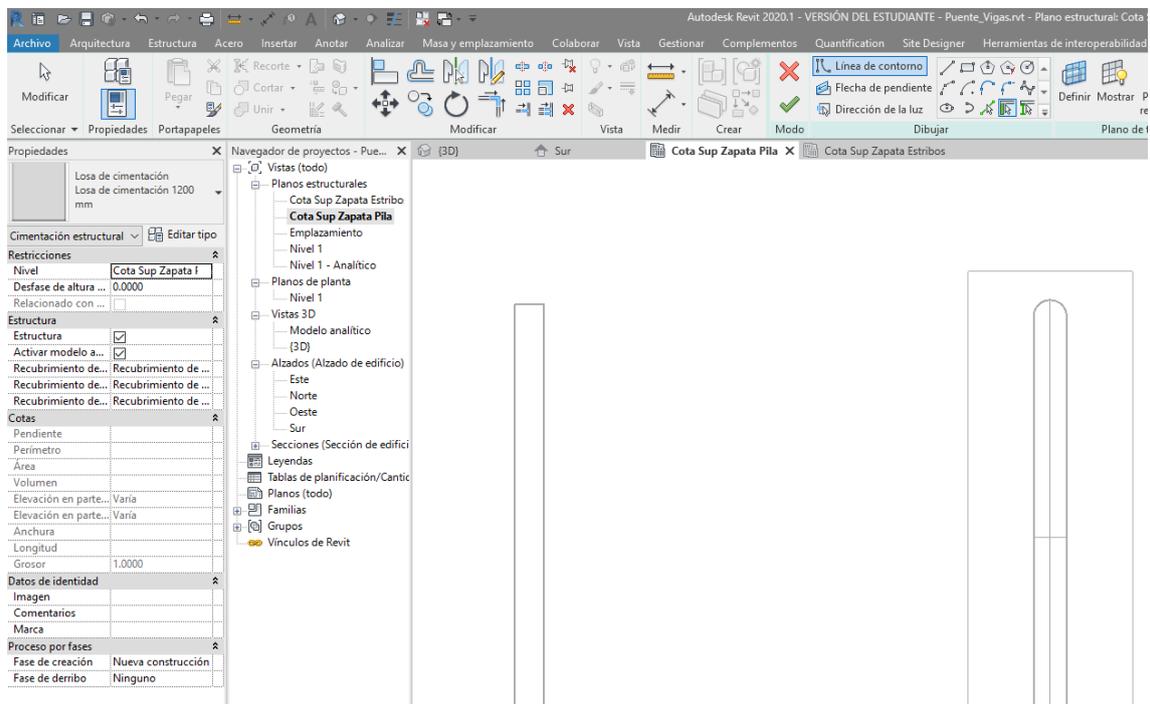


Figura 2J.19. Guía para introducir la losa

A continuación, dibujamos el perímetro de la losa apoyándonos en las líneas que hemos dibujado. El resultado es:

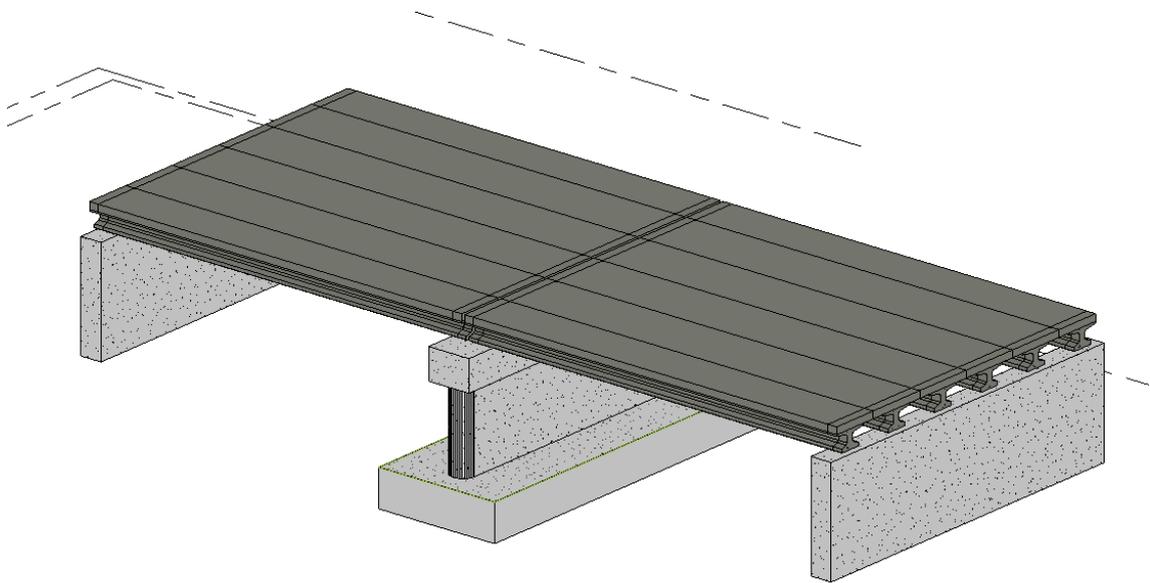


Figura 2J.20. Vista tridimensional del modelo con la zapata de la pila ya introducida

Repetimos el proceso para crear las zapatas de los estribos. Dibujamos líneas auxiliares (**Líneas de detalle**) desde la pestaña *Anotar* en la vista *Cota Sup Zapata Estribos*.

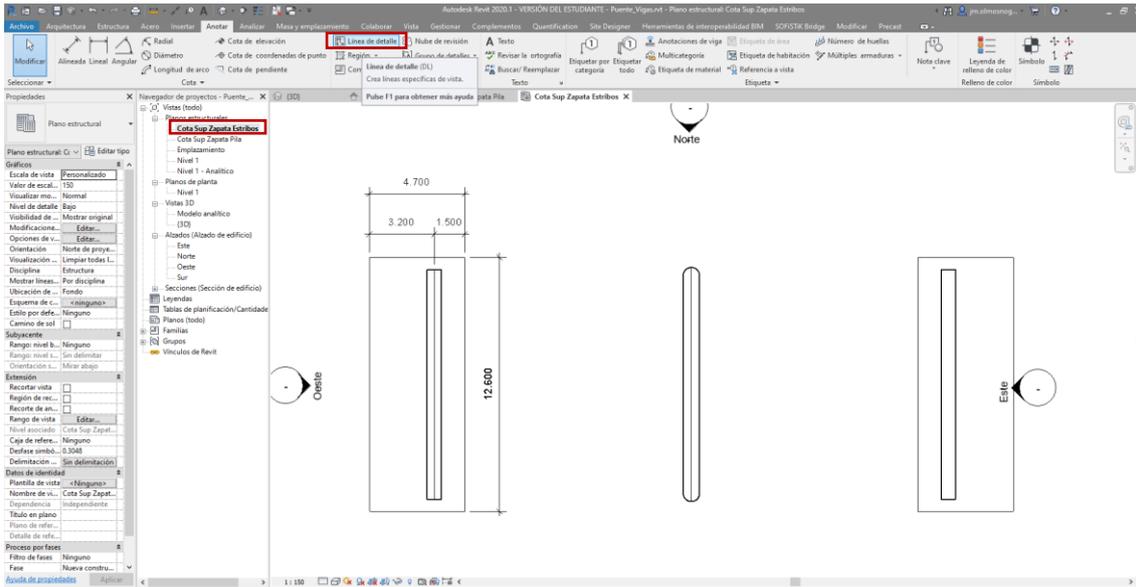


Figura 2J.21. Líneas auxiliares (de detalle) para las zapatas de los estribos

En esta misma lista vamos a **Estructura > Losa**. Esta vez, la seleccionamos de 1000 mm de canto. En editar tipo vemos si el hormigón es HA-30 y si no, lo cambiamos.

Ahora es momento de dibujar el contorno de la zapata.

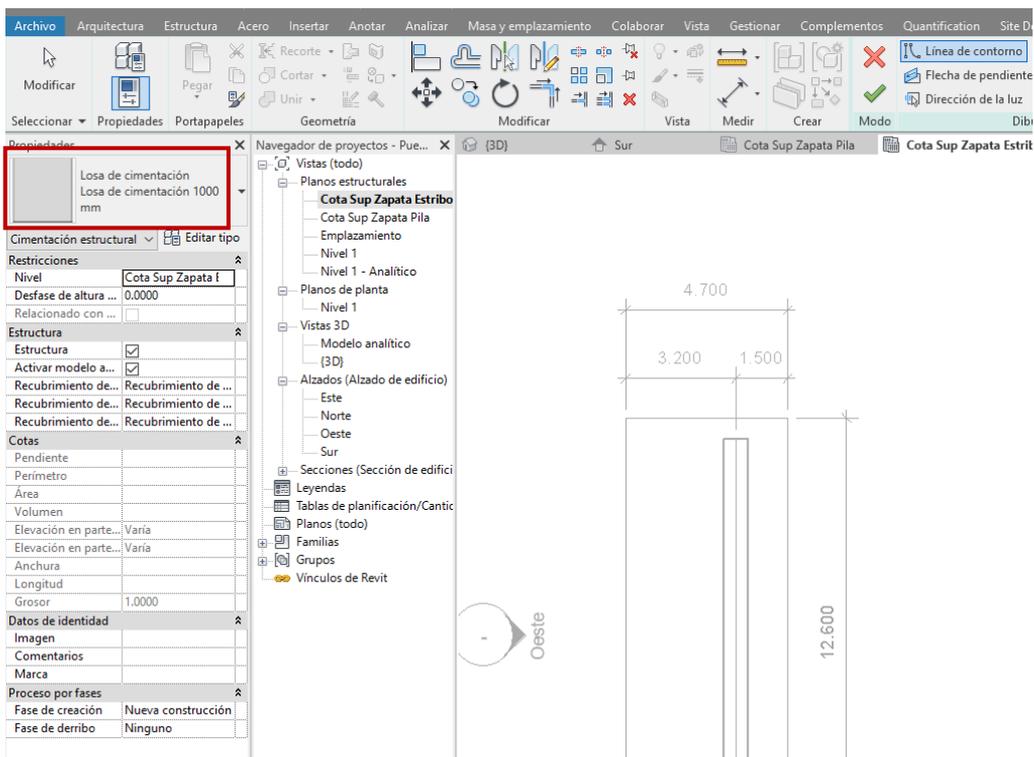


Figura 2J.22. Guía para dibujar las zapatas de los estribos

Para la zapata del otro estribo, ídem. O la seleccionamos en esta vista y le hacemos una simetría.

Ahora tenemos en la vista 3D:

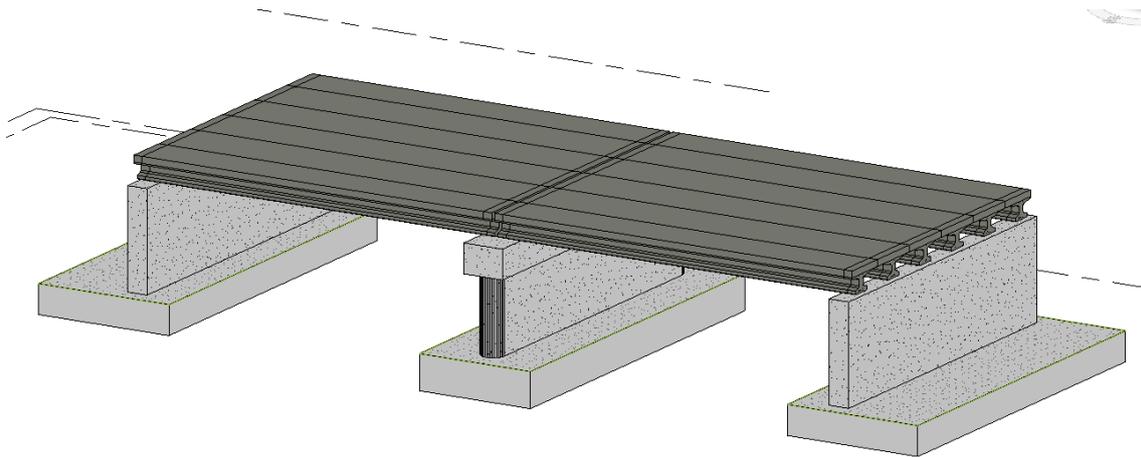


Figura 2J.23. Vista tridimensional del modelo con todas las zapatas introducidas

Vamos ahora a la vista Nivel 1 y a la ficha **SOFiSTiK Bridge** (Figura 2J.9). Le sacaremos partido a este plug-in. Crearemos líneas de referencia y secciones transversales y longitudinales con él. Lo primero es crear un eje: **Create > Axis > Create**:

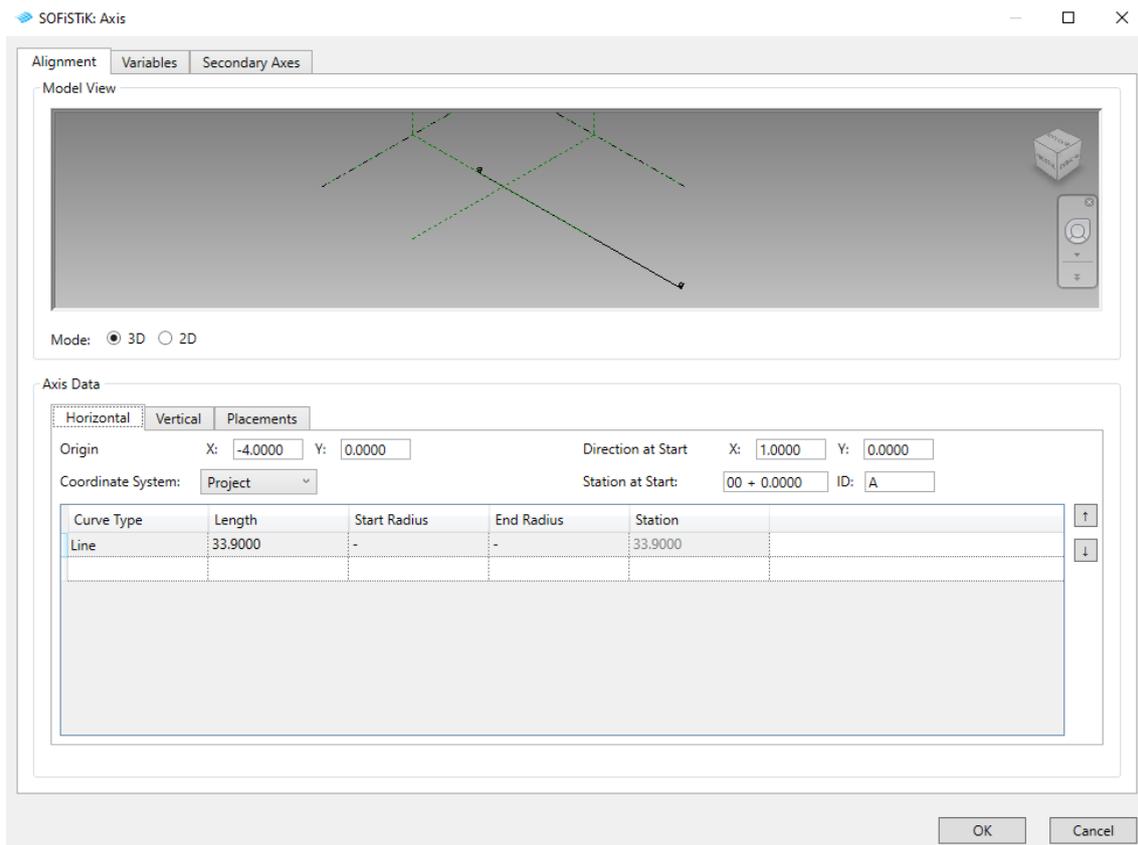


Figura 2J.24. Ventana Axis > Alignment. Parámetros del eje

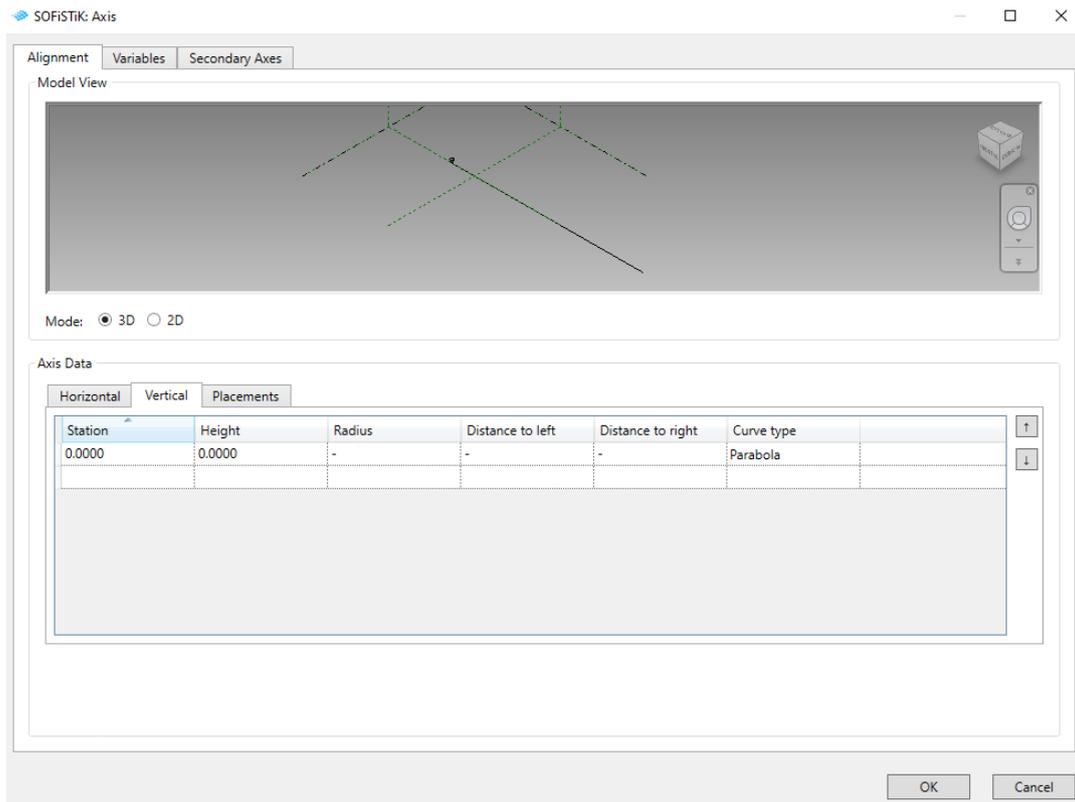


Figura 2J.25. Ventana Axis > Alignment. Trazado del eje

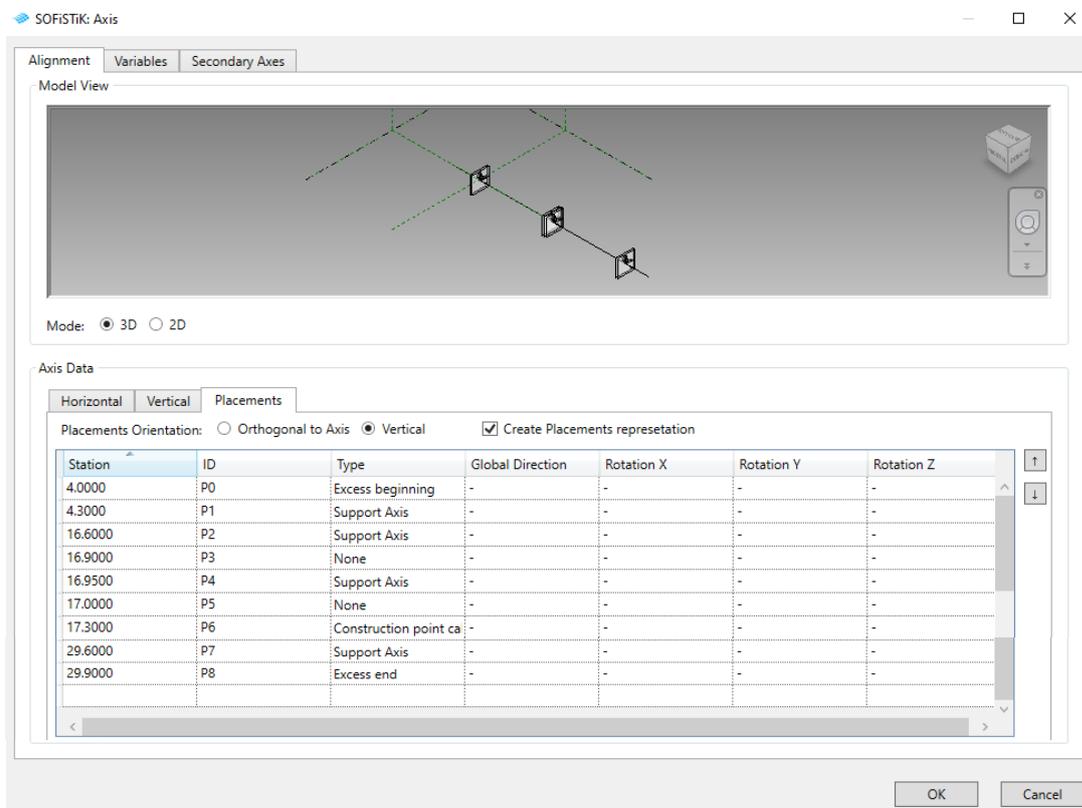


Figura 2J.26. Ventana Axis > Alignment > Placement. Posición de las pilas y/o placements

Aceptamos.

Creamos ahora la imposta: **SOFiTiK Bridge > Create > Parapet.**

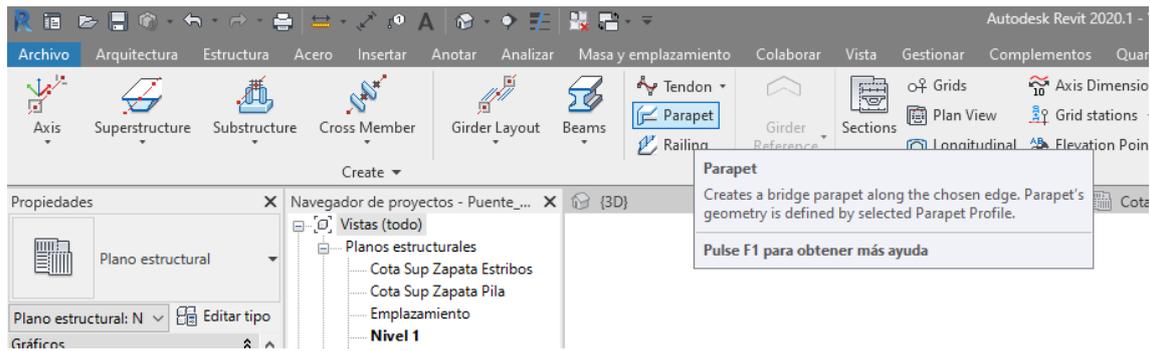


Figura 2J.27. Pasos para la creación de la imposta

Se abre la ventana siguiente:

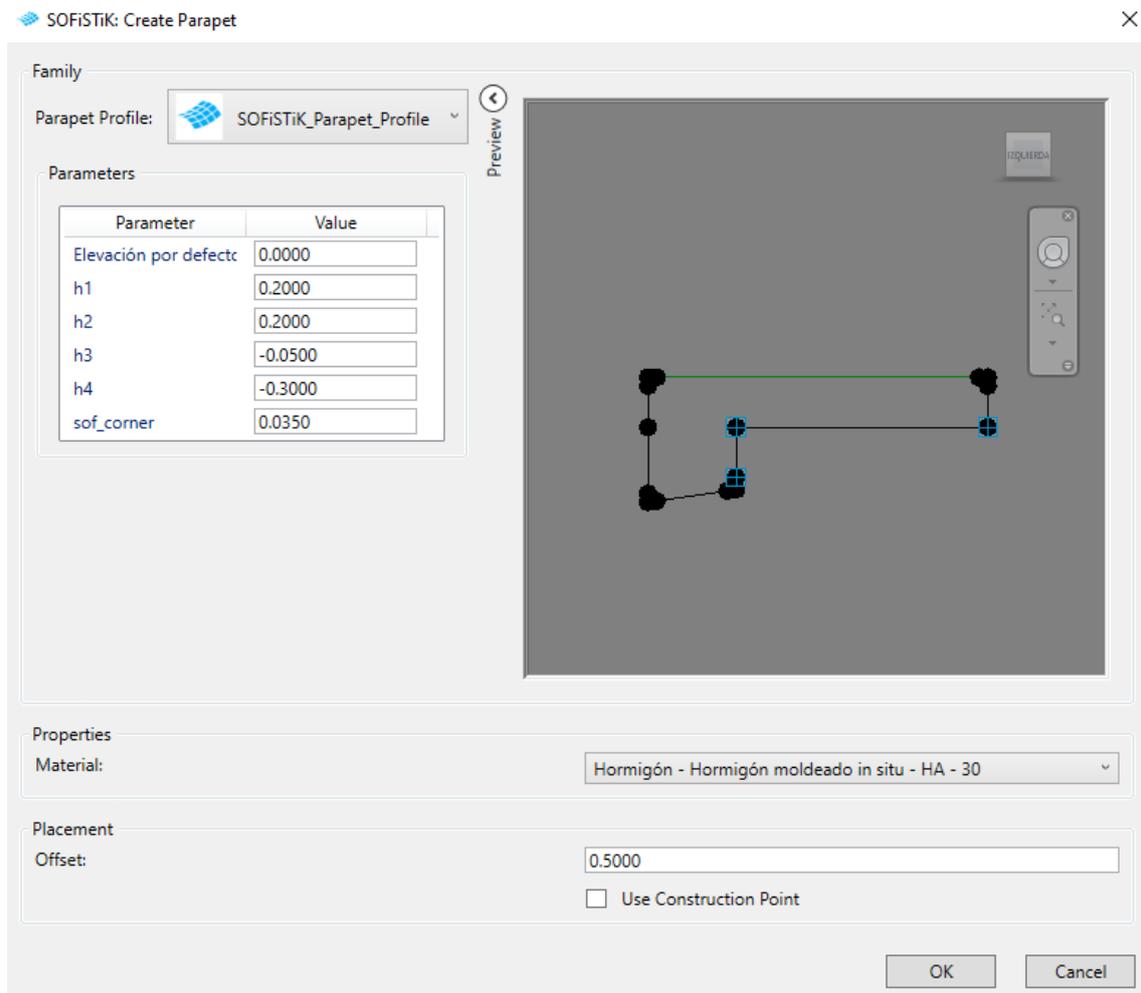


Figura 2J.28. Ventana Create Parapet. Creación de impostas del puente

Aceptamos y seleccionamos *múltiples* líneas de borde del tablero, solo de un vano.

Ahora tenemos:

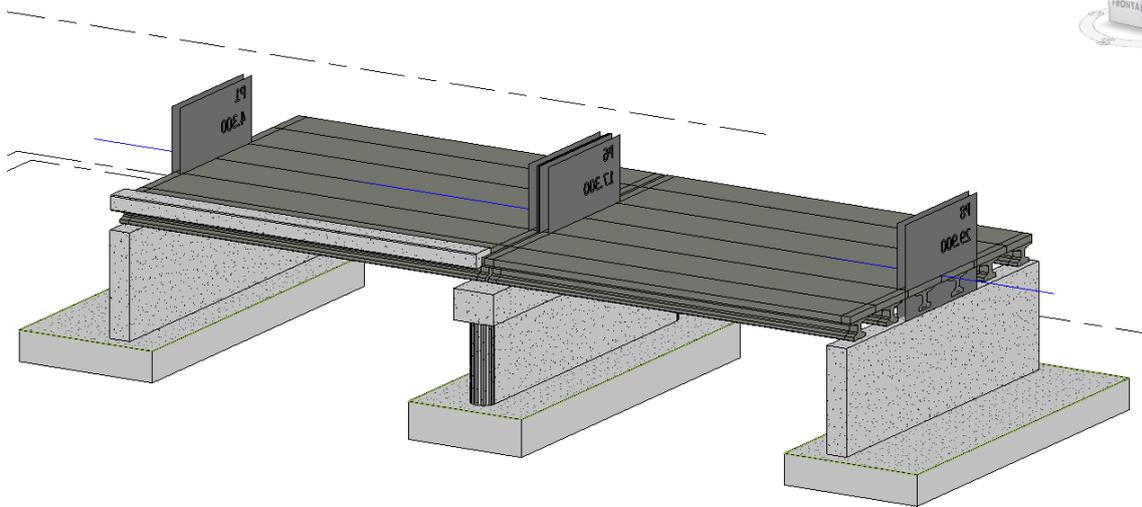


Figura 2J.29. Vista tridimensional del modelo con la imposta del lado derecho en el vano 1

Repetimos 3 veces más para colocar todas las impostas.

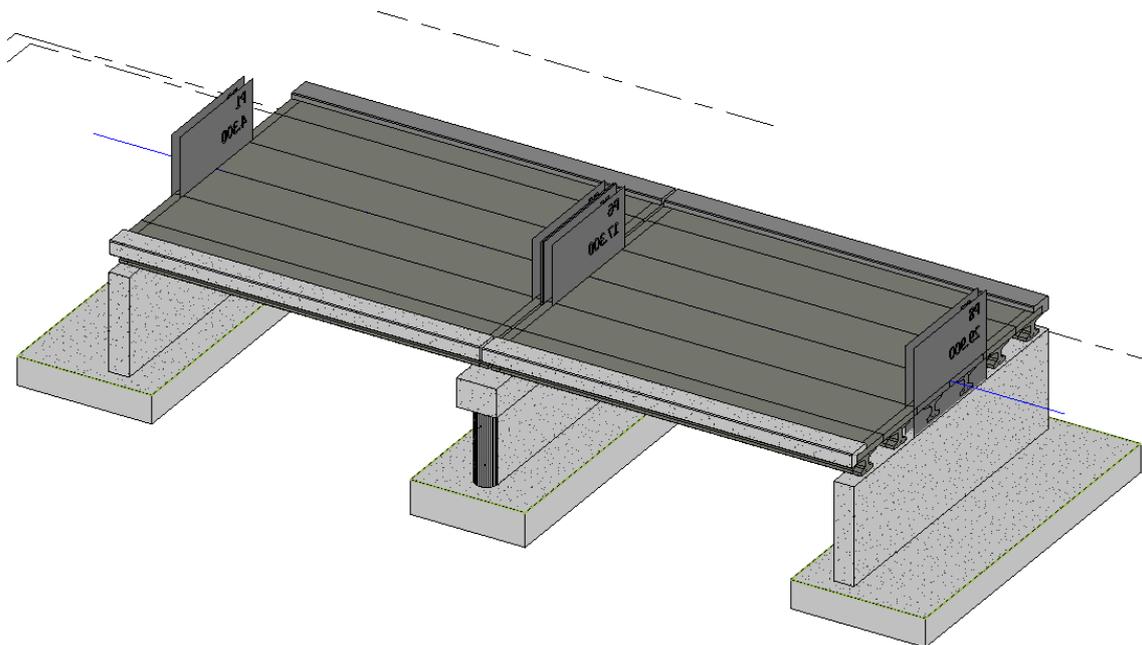


Figura 2J.30. Vista tridimensional del modelo con las impostas

Ahora la barandilla: **SOFiSTiK Bridge > Create > Axis > Railing.**

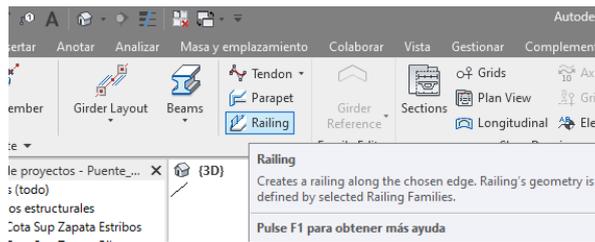


Figura 2J.31. Pasos para introducir las barandillas

En la pestaña de *General*, establecer los siguientes valores:

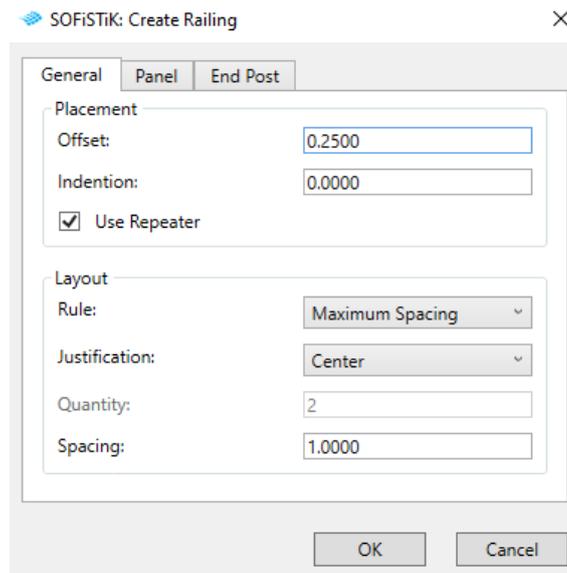


Figura 2J.32. Ventana Create Railing > General

En la pestaña *Panel*:

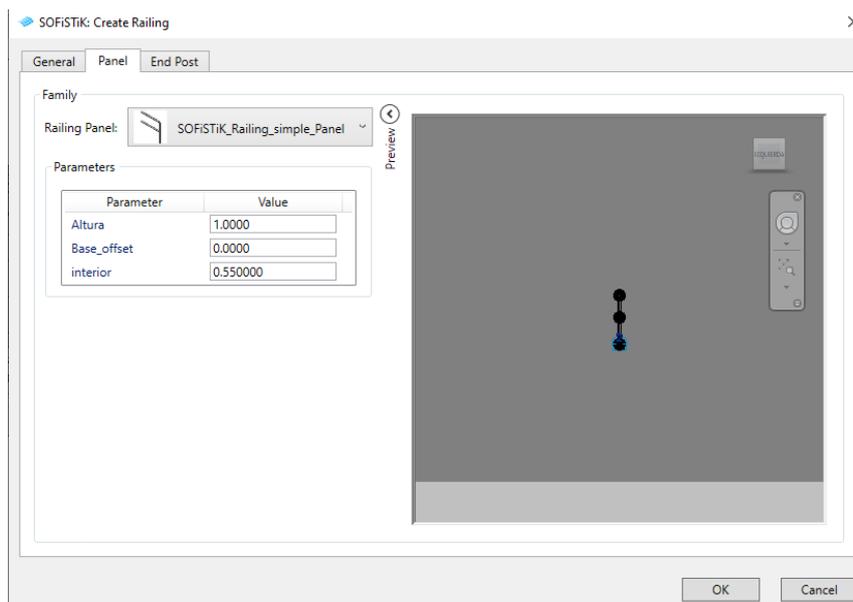


Figura 2J.33. Ventana Create Railing > Panel

En la pestaña *End Post*:

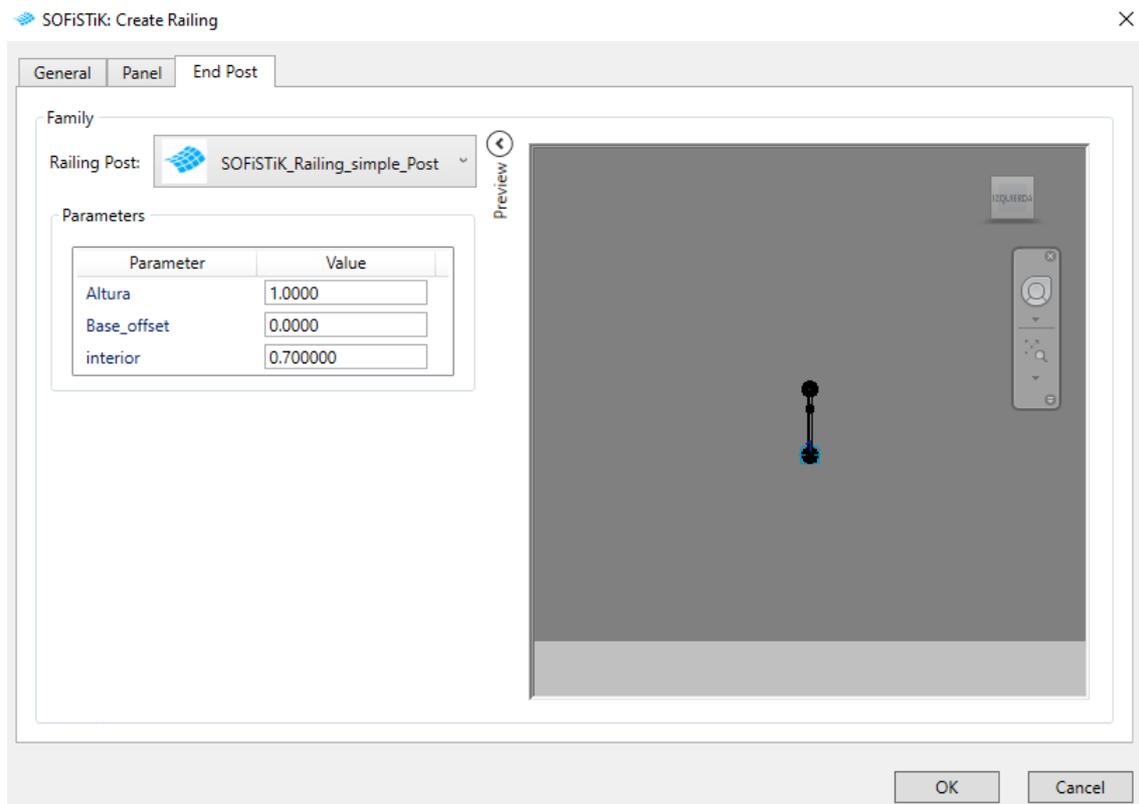


Figura 2J.34. Ventana Create Railing > End Post

Aceptamos y seleccionamos los bordes de la imposta para colocar la barandilla.

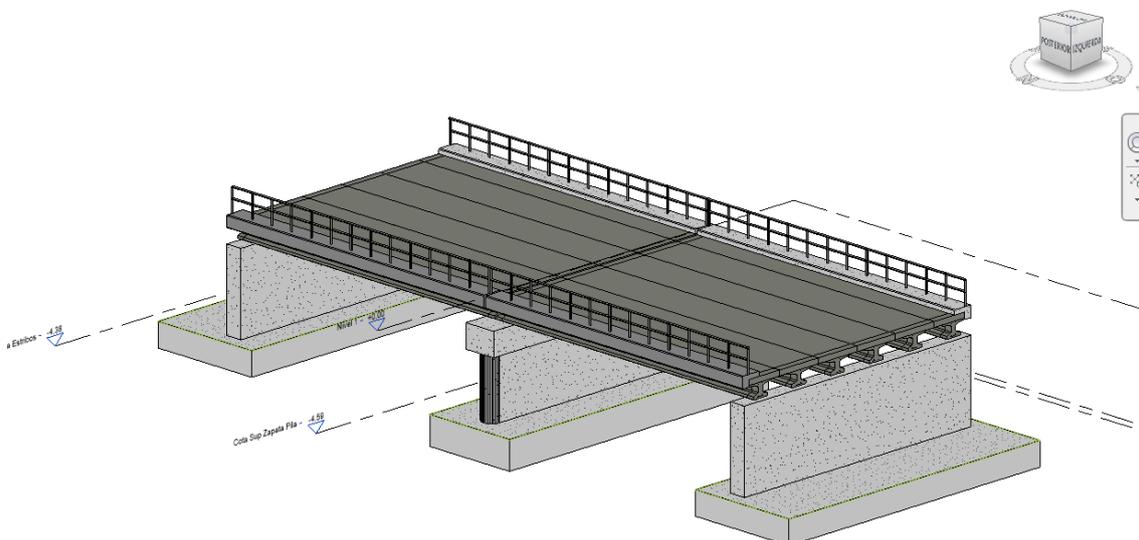


Figura 2J.35. Vista tridimensional del modelo con las barandillas

Es posible que no se nos muestre la barandilla en la vista 3D. Si eso ocurre, pinchamos en el icono *mostrar elementos ocultos* de esta vista 3D. Seleccionamos la barandilla y con botón derecho del ratón vamos a *Mostrar en vista>Categoría*. Pinchamos de nuevo en el mismo icono, ahora para *cerrar mostrar elementos ocultos*.

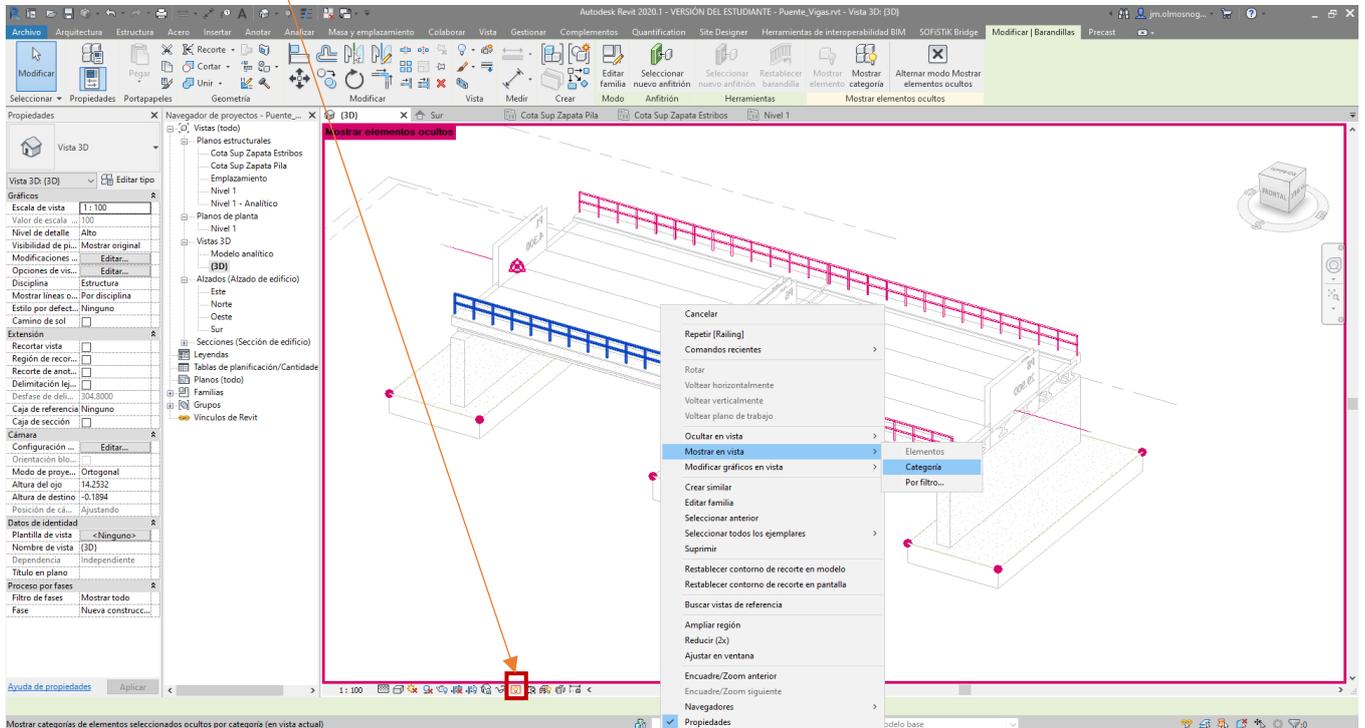


Figura 2J.36. Pasos para mostrar elementos ocultos

Y ya tendríamos la barandilla en la vista 3D (Figura 2J.35).

Ahora sacamos secciones transversales del puente: **SOFiSTiK Bridge > Shop Drawing > Sections**, entonces:

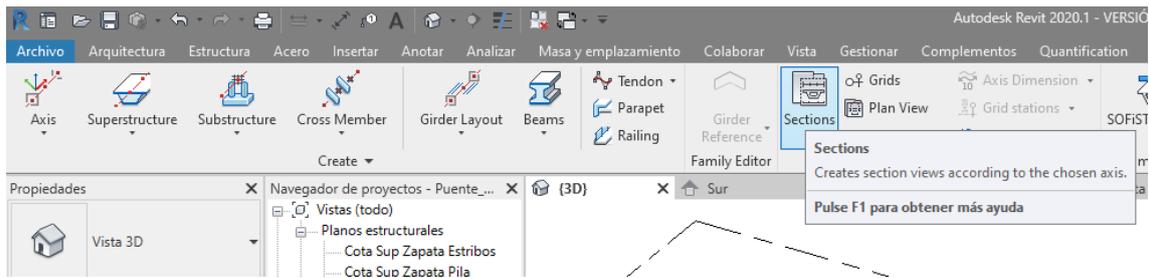


Figura 2J.37. Pasos para crear vistas de secciones

Seleccionamos el eje del puente y:

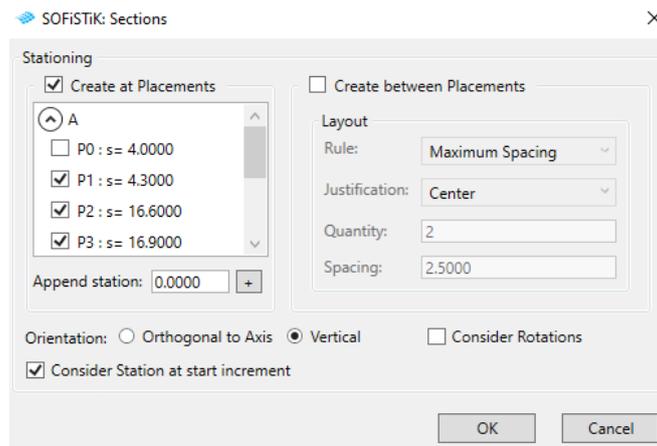


Figura 2J.38. Ventana Grids. Para obtener vistas de secciones

Aceptamos. Consultad en el navegador del proyecto las secciones creadas.

Creamos líneas de referencia: En el mismo grupo **Shop Drawing**, nos dirigimos a **Grids**.

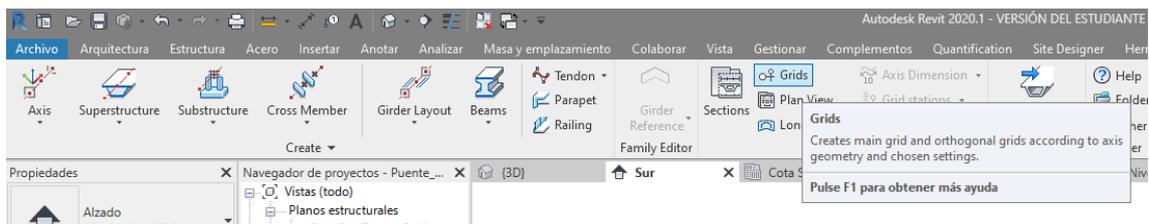


Figura 2J.39. Pasos para crear líneas de referencia

Seleccionamos el eje y:

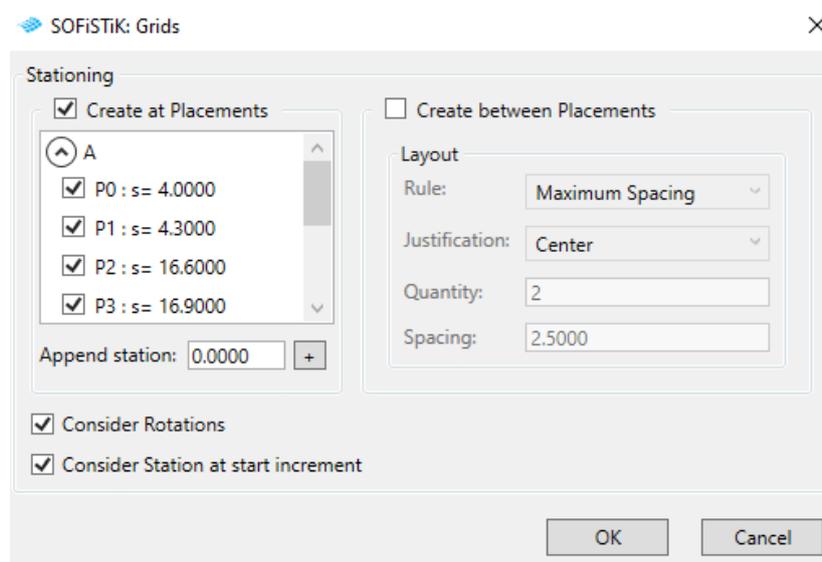


Figura 2J.40. Ventana Grids. Para obtener líneas de referencia

Aceptamos.

Creamos un perfil longitudinal: **SOFiSTiK Bridge > Shop Drawing > Longitudinal** (Figura 2J.41) y seleccionamos el eje Y (Figura 2J.42).

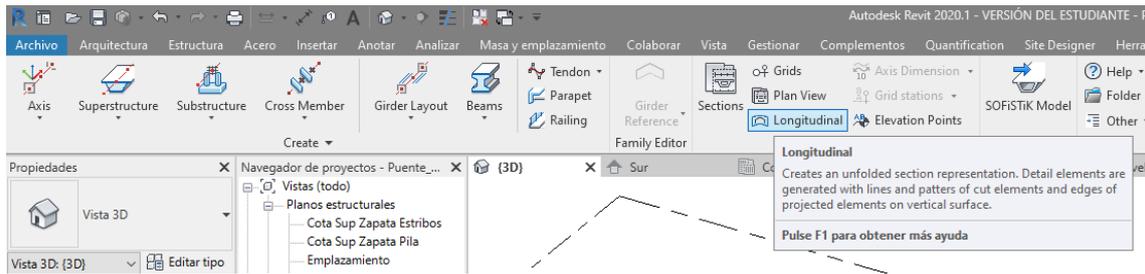


Figura 2J.41. Pasos para crear un perfil longitudinal

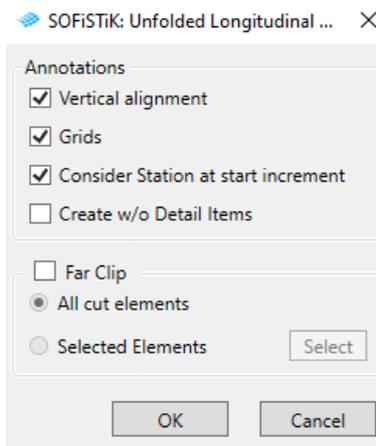


Figura 2J.42. Ventana Unfolded Longitudinal

Aceptamos.

Podemos ver en el navegador del proyecto las secciones longitudinales creadas. Os dejo imágenes de algunas vistas y secciones de esta estructura.

Guardamos el proyecto.

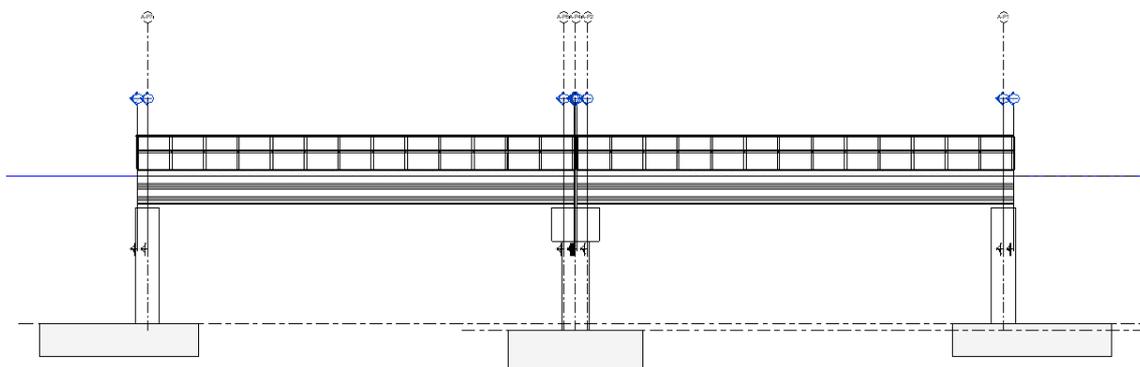


Figura 2J.43. Perfil longitudinal del proyecto

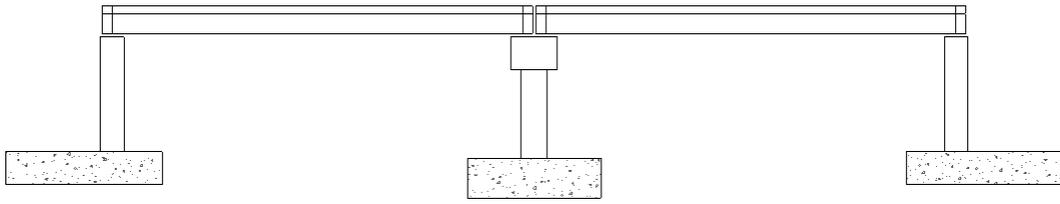


Figura 2J.44. Sección longitudinal

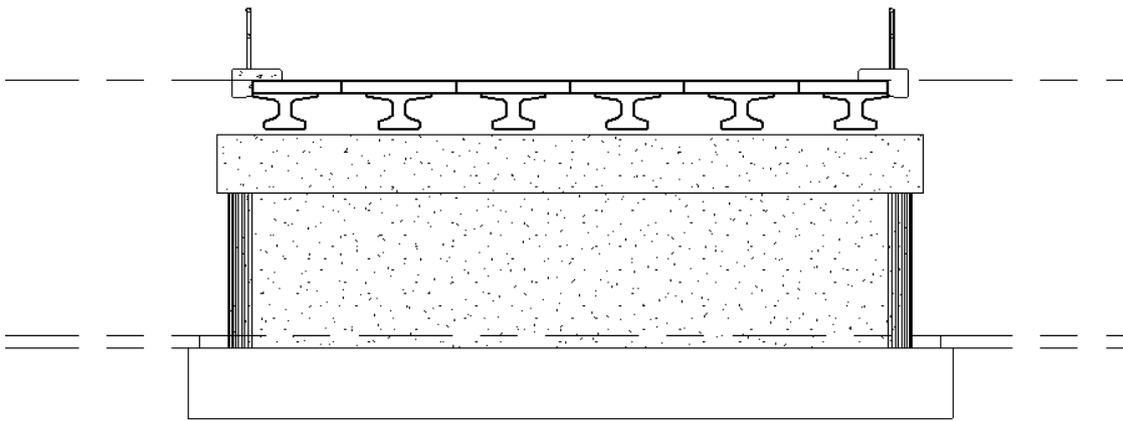


Figura 2J.45. Sección transversal

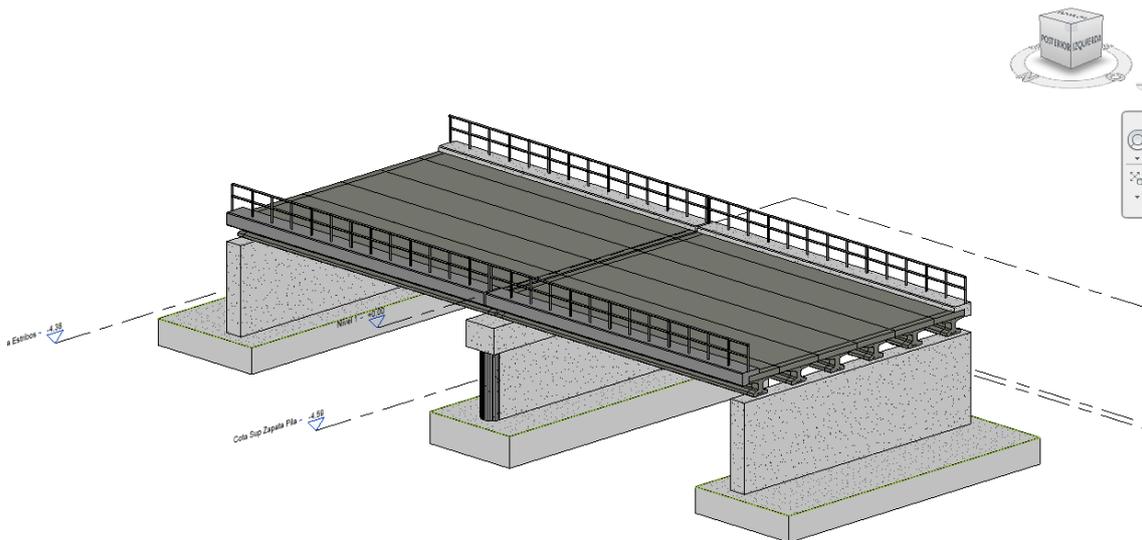


Figura 2J.46. Vista tridimensional

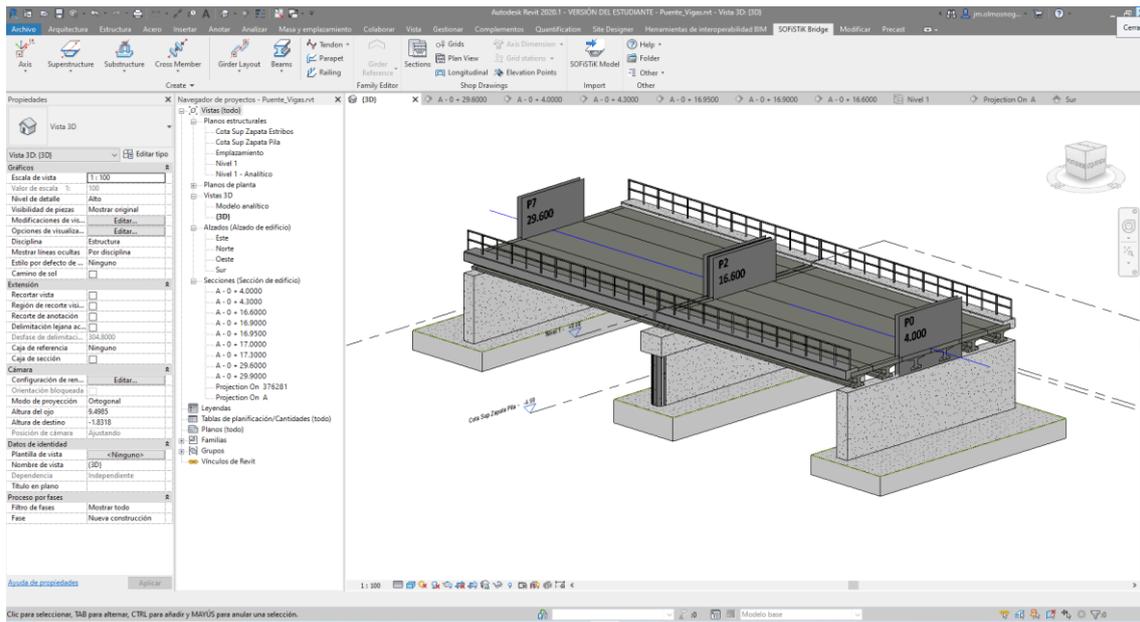


Figura 2J.47. Vista tridimensional con los placements en la interfaz de Revit

Índice

Ejercicio 3. Modelo de cálculo de un paso superior de Autovía. SOFiSTiK	195
3.1. DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA	195
3.1.1. Plano de la estructura	198
3.2. DETERMINAR.....	198
3.3. RESOLUCIÓN.....	198
3.3.1. Grupos en SOFiSTiK	198
3.3.2. Acciones consideradas	199
3.3.3. Esquema de fases constructivas del puente	199
3.3.4. Pretensado	201
3.3.5. Ejemplo de sección variable en SOFiSTiK	203

Ejercicio 3

Modelo de cálculo de un paso superior de Autovía. SOFiSTiK

3.1. DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA

El Paso Superior en estudio consiste en una estructura de tres vanos.

El tablero es una losa de hormigón postesado y tiene tres vanos de luces 20 – 37 m, 50 – 20 m, sin esviaje y de directriz recta. La anchura del tablero es de 10.00 m, repartida en dos carriles de 3.50 metros, arcenes de 1.00 m y barreras de 0.50 m a cada lado. El canto es variable entre 0.90 m en centro luz del vano central y 1.70 m sobre pilas.

Las pilas, se componen de un fuste de sección circular de 1.20 m de diámetro, con una altura máxima de 9.364 m hasta zapata. Se cimentan directamente en el terreno a 2.70 kp/cm² con una zapata de dimensiones 7.20 m x 7.20 m y 1.60 m de canto.

Los estribos son abiertos, cimentados de forma directa mediante zapatas de dimensiones 8.50 x 10.00 m. La tensión admisible considerada es de 2.85 kp/cm².

La estructura objeto de cálculo se describe en las perspectivas adjuntas.

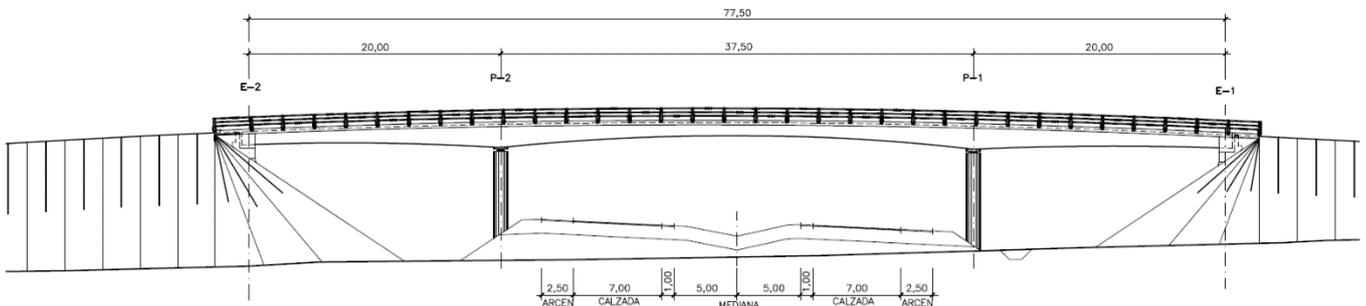


Figura 3.1. Perfil longitudinal de la estructura

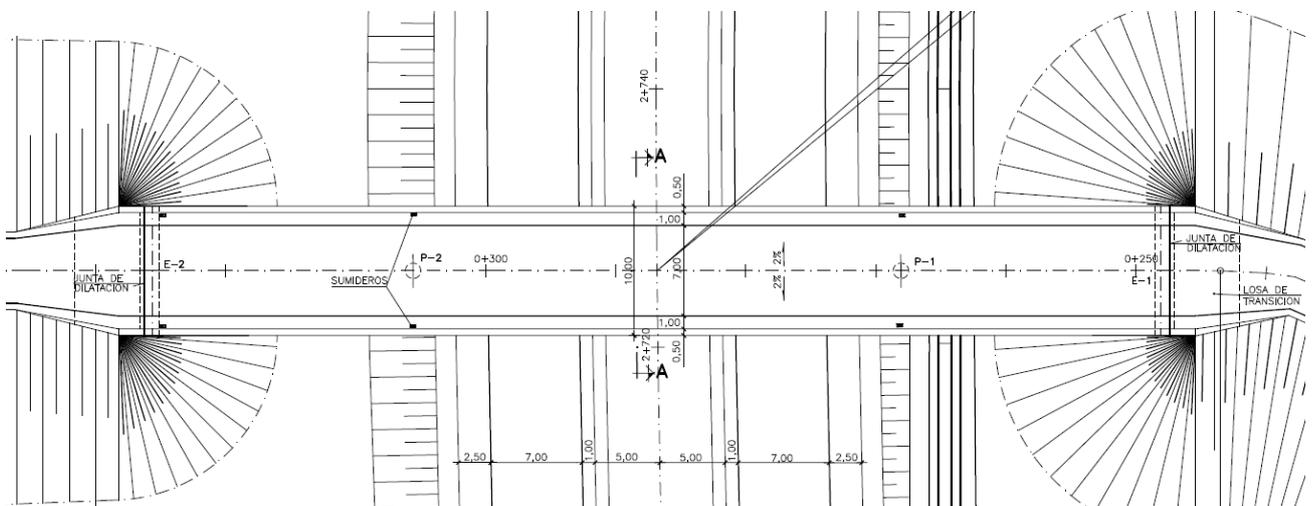
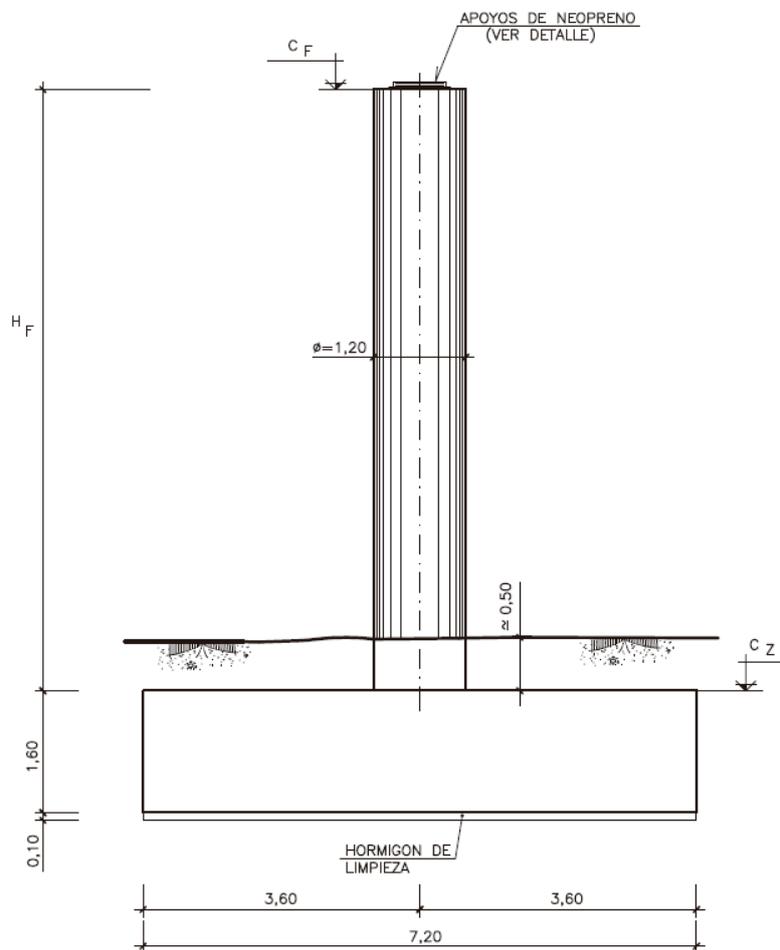
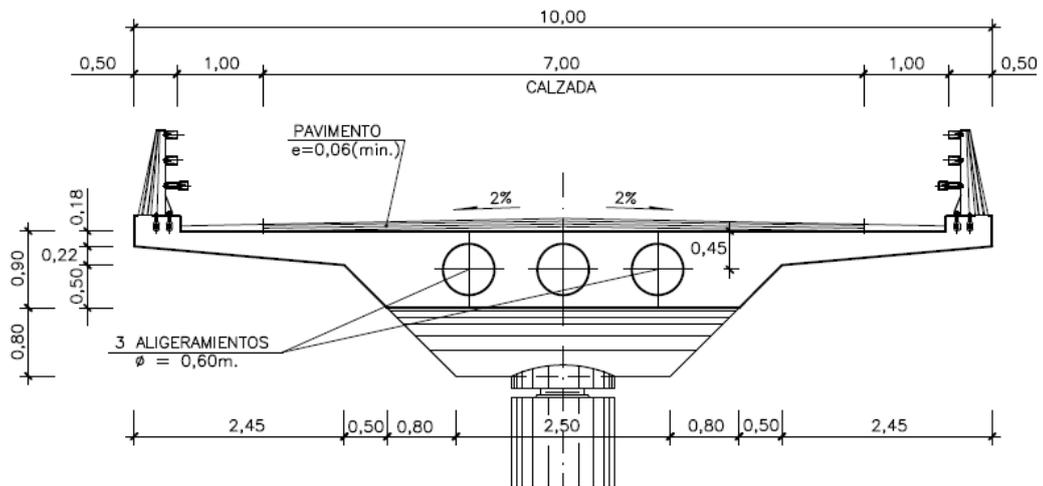


Figura 3.2. Planta de la estructura



3.1.1. Planos de la estructura

Con este ejercicio se proporciona el archivo *Planos_Puente_Losa_Ejercicio1.pdf*. Con los planos que definen completamente de la estructura.

También se adjunta el archivo *PlanoGeneral_Puente_Losa_Ej_1.dwg* para obtener el trazado en alzado de la rasante de la estructura y las secciones transversales tipo.

3.2. DETERMINAR

- Construcción del modelo de análisis con SOFiSTiK
 - Eje, variables, materiales, secciones, elementos líneas, cimentaciones.
- Acciones y combinación de acciones en SOFiPLUS
- Generación del modelo de elementos finitos
- Análisis de los casos de carga.
- CSM definición de las fases constructivas del puente.
- Traffic loader.
- CSM bridge design - superpositioning.
- CSM bridge design – beam. (comprobaciones tablero)

3.3. RESOLUCIÓN

3.3.1. Grupos en SOFiSTiK

Grupo 10: Elementos estructurales de cimentaciones, pilas y estribos.

Grupo 20: Tablero.

3.3.2. Acciones consideradas

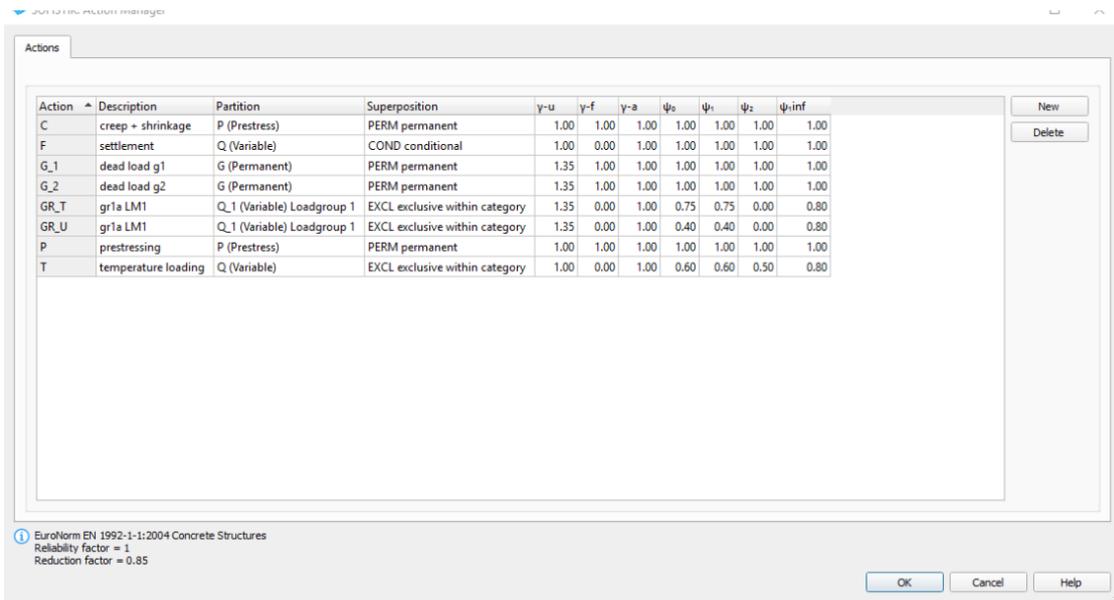


Figura 3.7. Ventana Action Manager. Acciones consideradas

Los casos de carga, solamente:

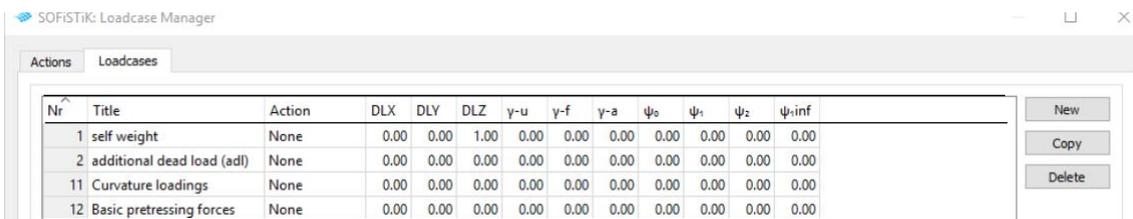


Figura 3.8. Ventana Loadcase Manager > Loadcases. Casos de cargas considerados

3.3.3. Esquema de fases constructivas del puente

Para resolver el ejercicio se utilizará el siguiente esquema de fases constructivas.

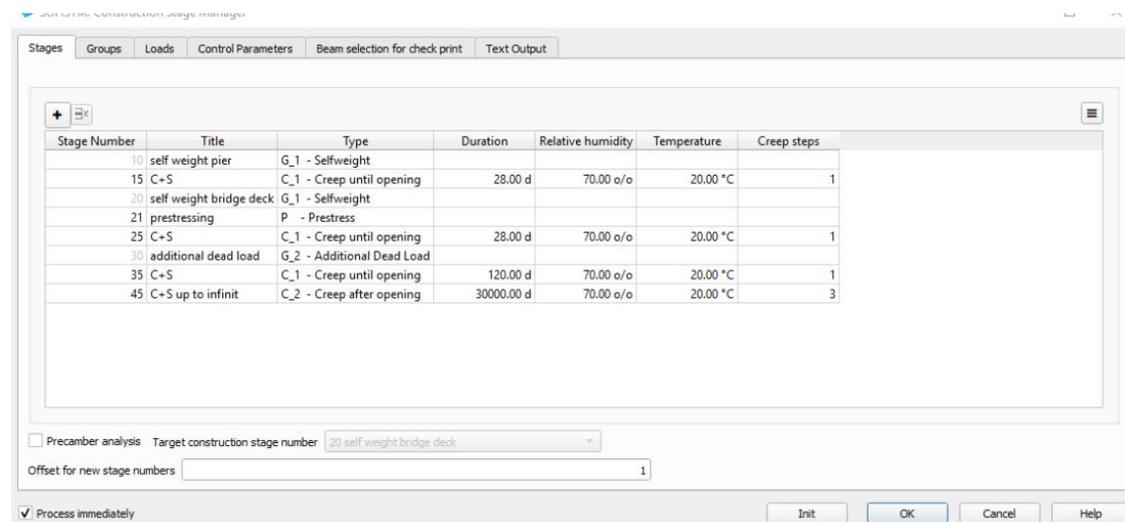


Figura 3.9. Ventana Construction Stage Manager > Stages

Asignación de grupos (de elementos estructurales) a las fases constructivas:

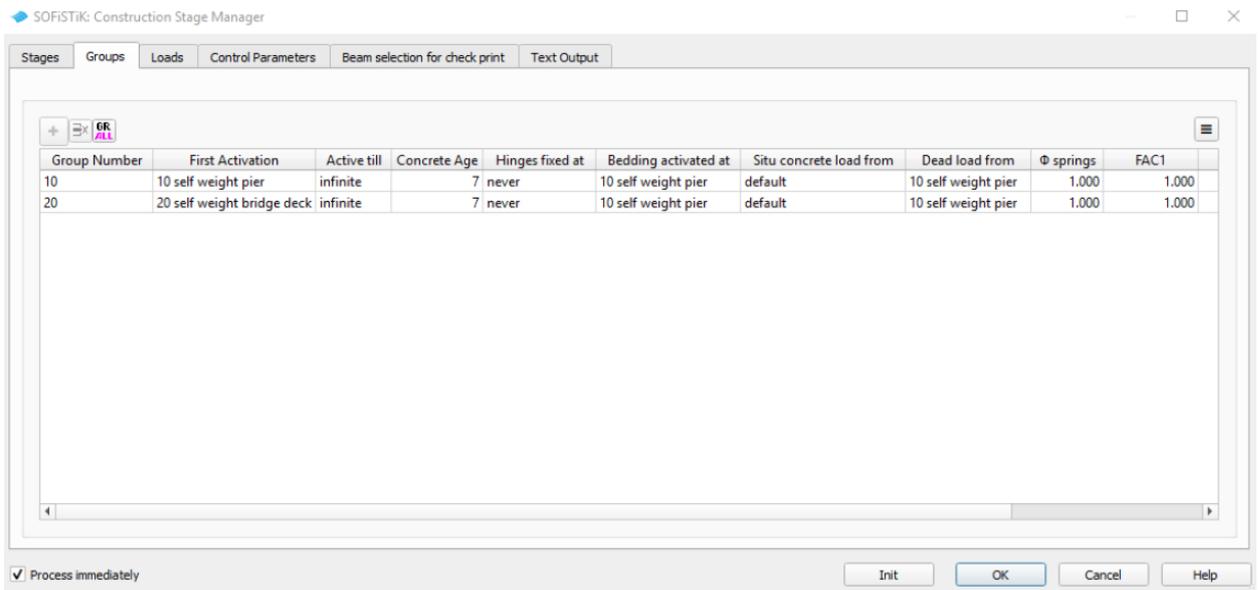


Figura 3.10. Ventana Construction Stage Manager > Groups

Asignación de casos de carga muerta a la fase constructiva correspondiente:

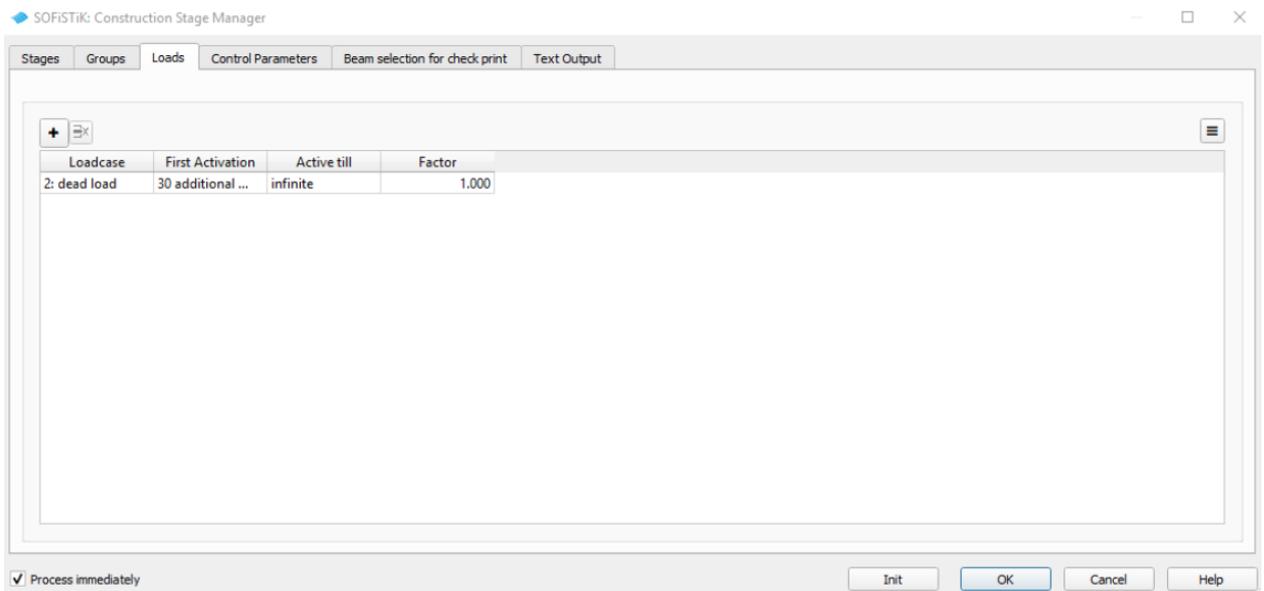


Figura 3.11. Ventana Construction Stage Manager > Loads

3.3.4. Pretensado

Datos:

NOTA DE PRETENSADO

A) DESIGNACION DE LOS ACEROS

- Para armar B-500 SD (EHE)
- Para pretensar Y 1860 S7 ($\phi = 15,2$ mm)
 $f_{max,k} = 1860$ N/mm², baja relajación

B) ARMADURA ACTIVA

- 10 tendones de 19 ϕ 15.24 mm, cada uno.
- Cada tendón, con anclaje activo en ambos extremos.
- Diámetro vaina $\phi = 100$ mm.

C) FASES DE TESADO

- 1ª Fase (Para soportar exclusivamente peso propio del tablero)
 - Resistencia característica del hormigón, 22,5 N/mm²
 - Fuerza de tesado en cada anclaje, 2229 kN.
- 2ª Fase (Tesado definitivo)
 - Resistencia característica del hormigón, 40,0 N/mm²
 - **Fuerza de tesado en cada anclaje, 3710 kN/mm²**
 - Cada tendón se tesará por ambos extremos.

ORDEN DE TESADO:

En cada fase, el orden de puesta en tensión de los tendones será:

5-6-7-4-3-8-9-2-1-10

D) VALORES PREVISTOS EN EL PROYECTO

- Penetración de cuñas 5 mm.
- Coeficiente rozamiento parásito por ml. (k) = 0.0015
- Coeficiente rozamiento en curva (μ) = 0.21
- Módulo elástico armadura activa E = 1.900.000 Kp/cm²

E) ALARGAMIENTOS TEORICOS DE TENDONES

- Valores totales (Suma 1ª + 2ª fase):
- Tesado + retesado : 53,5 cm.

(Nota.- En estos valores se ha tenido en cuenta una introducción de cuñas en anclajes igual a 5 mm.)

Sistema de pretensado en SOFiSTiK:

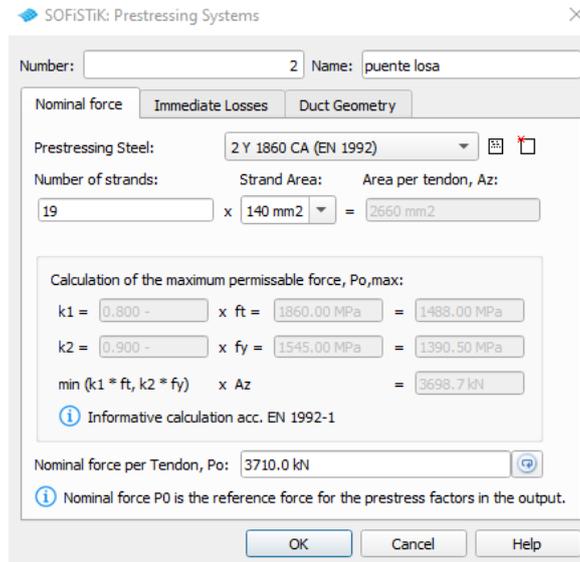


Figura 3.12. Ventana Prestressing Systems > Nominal force

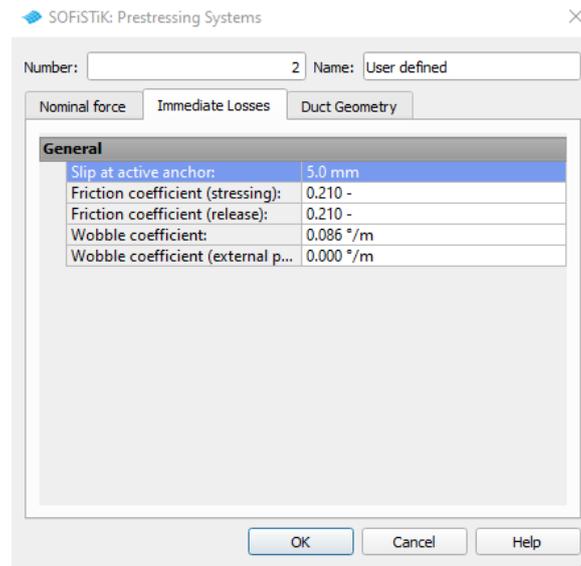


Figura 3.13. Ventana Prestressing Systems > Immediate Losses. Parámetros de pérdidas

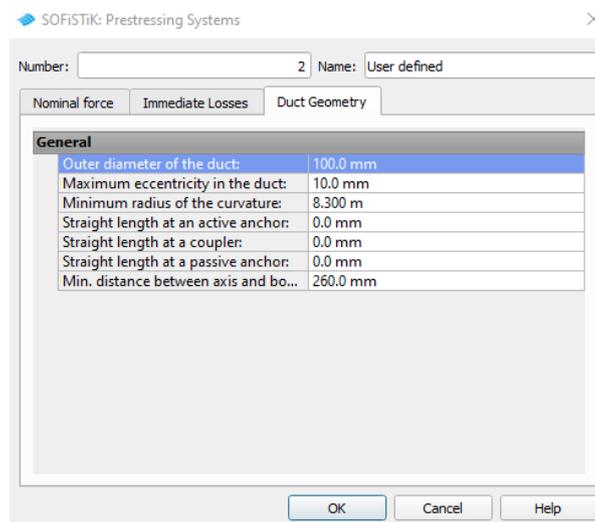


Figura 3.14. Ventana Prestressing Systems > Duct Geometry

El trazado de los tendones viene en los planos, 10 tendones con el mismo trazado en alzado, en:

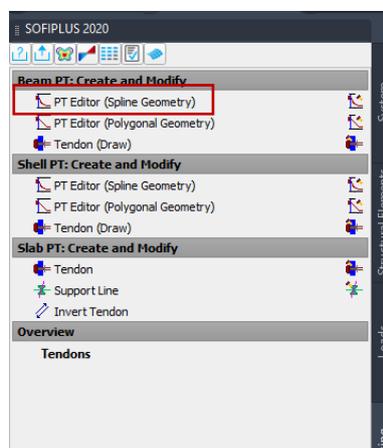


Figura 3.15. Pasos para editar geometría del pretensado

En el editor de pretensado, en *Edit Tendons*:

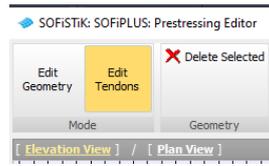
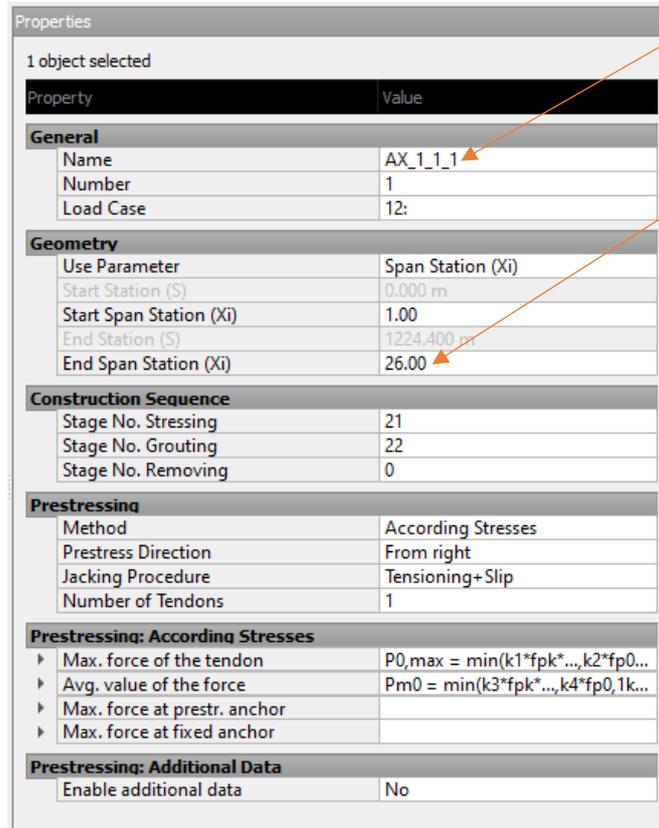


Figura 3.16. Ventana *Prestressing Editor* > *Edit Tendons*



Aquí el eje del tablero

Aquí la *Station* final según la numeración que se introduzca al definir el eje del tablero.

Figura 3.17. Ventana *Properties*

3.3.5. Ejemplo de sección variable en SOFiSTiK

Como ejemplo de tablero de canto variable en SOFiSTiK tenéis el proyecto 4.

Si entramos en SOFIPLUS, en ese proyecto y abrimos la sección llamada *Tablero*, se abre el editor de secciones:

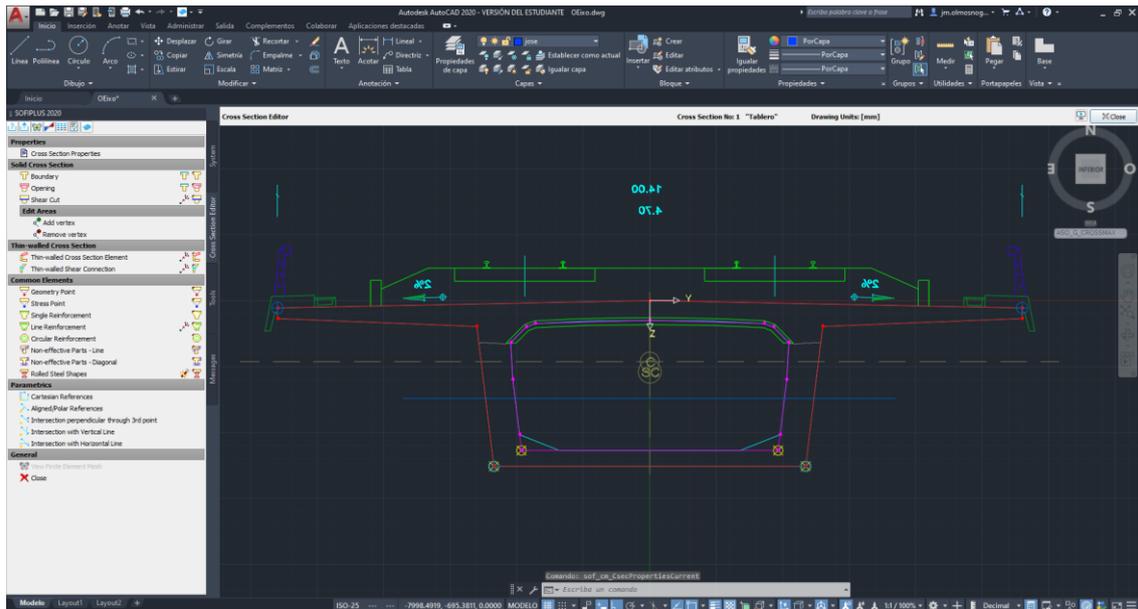


Figura 3.18. Apariencia de SOFiPLUS(-X)

Lo primero que tendríamos que hacer una vez definidos los materiales de la sección (en *cross section properties*), el borde exterior (perímetro de hormigón – *boundary*-rojo) y el hueco (opening-magenta), es ir a *Cross section properties > Variables* e importamos las variables H y B que hemos definido con el eje del tablero.

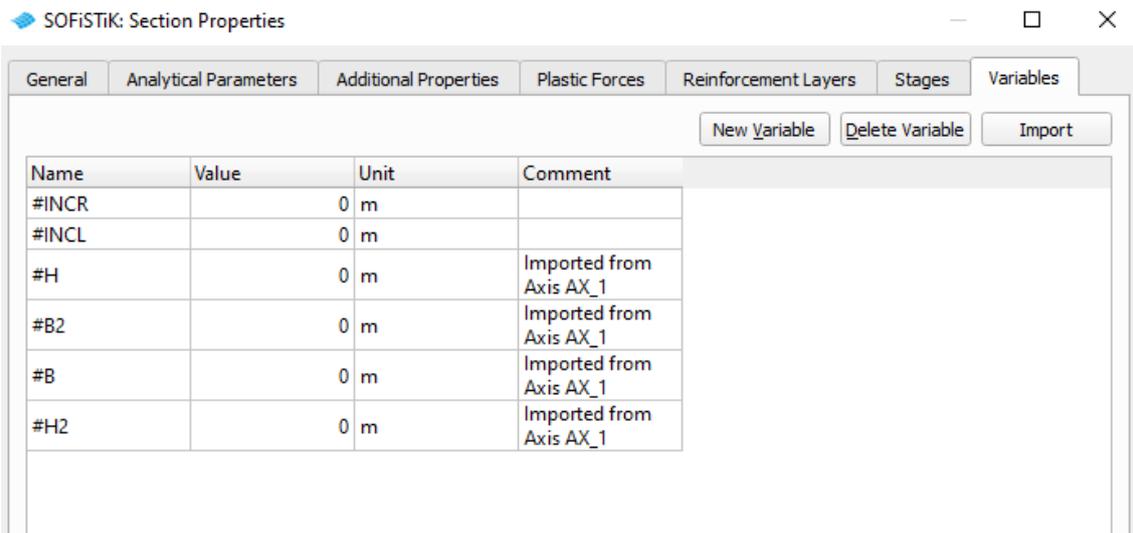


Figura 3.19. Ventana Section Properties > Variables

Posteriormente indicamos que la distancia horizontal y vertical entre dos puntos de la sección varían a lo largo del eje del puente. Para esto vamos a *Cartesian References*:

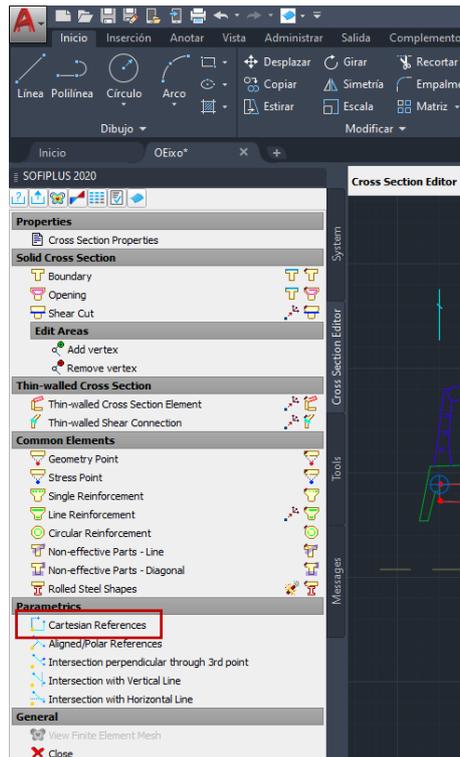


Figura 3.20. Ubicación de Cartesian References

Y a continuación, pinchamos en los dos puntos de la sección que nos interesa. El primer punto es el de referencia y no se mueve. El segundo punto se mueve.

Luego, introducimos el nombre de la variable en el texto de la acotación precedida de un #, como se muestra en la siguiente figura.

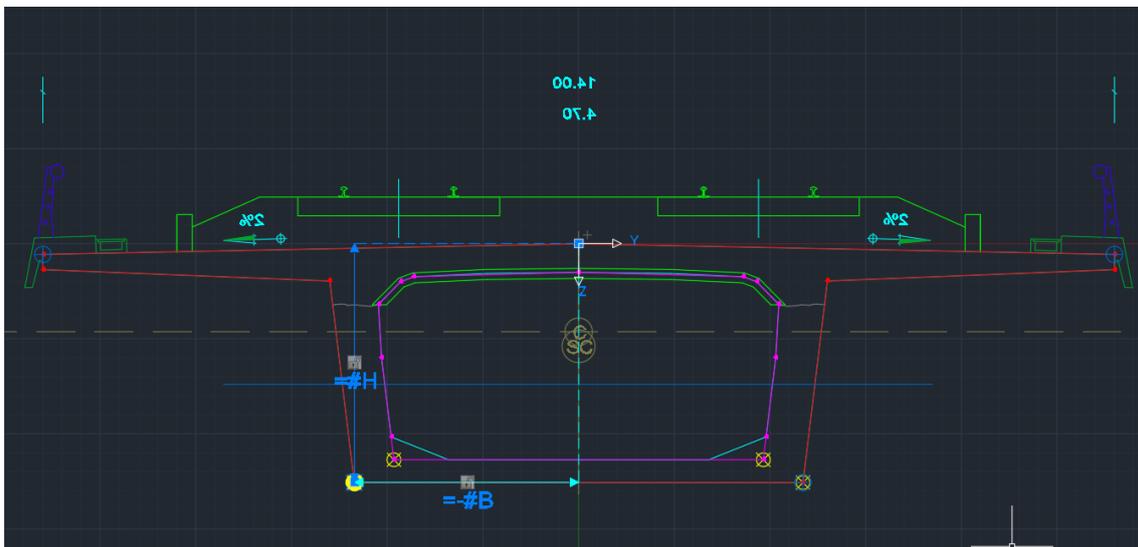


Figura 3.21. Definiendo punto fijo y variable en la sección transversal del tablero

Tendríamos que hacer lo mismo con el punto simétrico de la sección para conseguir el canto variable.

Índice

Ejercicio 4. Análisis dinámico de un Viaducto de AVE. SOFiSTiK.....	207
4.1. DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA	207
4.2. DETALLES DEL PROBLEMA.....	208
4.2.1. Planos de la estructura.....	209
4.3. SE PIDE.....	210
4.4. RESOLUCIÓN.....	211
4.4.1. Análisis modal de la estructura	212
4.4.2. Análisis dinámico mediante integración directa en el tiempo con cargas móviles	217
4.4.3. Resultados del análisis dinámico.....	222

Ejercicio 4

Análisis dinámico de un Viaducto de AVE.

SOFiSTiK

4.1. DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA

El viaducto O'Eixo está situado en el eje ferroviario Orense-Santiago dentro del corredor de alta velocidad Noroeste Madrid-Galicia. Se trata de un puente alto de tablero continuo de sección en cajón de hormigón pretensado. Su longitud es de 1,224 m. Consta de 20 vanos de luces 42.5+23 x 50 +31.9 m. El tablero es de canto variable. Este canto es de 3.14 m en secciones centrales de vano y de 4.64 m en apoyo en pilas. La variación del canto se produce en un entorno de 10.5 m a cada lado de la sección de apoyo en pilas.



Figura 4.1. Viaducto O'Eixo

El punto fijo del tablero, está situado sobre un arco ojival formado por dos puntales. Los puntales son arcos de circunferencia con flechas de 1.7 m aproximadamente. Los puntales tienen su arranque en la cimentación de las pilas contiguas y su fin en la clave del arco que corresponde al apoyo intermedio número 12 del tablero. La sección de los puntales es un cajón rectangular de anchuras 5.5 y 4 m en dirección transversal y longitudinal del puente respectivamente. La pared de este cajón tiene 0.50 m de espesor. En el apoyo del tablero en el arco se ha impedido, en el modelo, el giro relativo de eje vertical entre tablero y cabeza del arco.

Este viaducto tiene una altura máxima de la rasante sobre el terreno de unos 87 m sobre la pila número 9.

El comportamiento dinámico de este puente ha sido estudiado por varios autores. Citamos algunas referencias: [6], [7].

4.2. DETALLES DEL PROBLEMA

La estructura objeto de cálculo se describe en las figuras adjuntas.

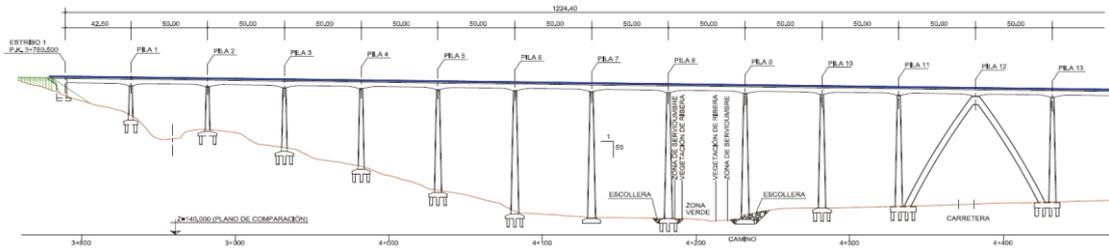


Figura 4.2. Perfil longitudinal (1/2)

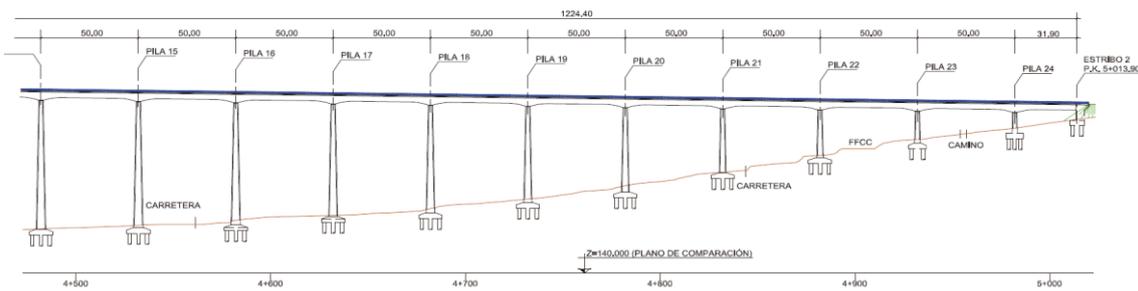


Figura 4.3. Perfil longitudinal (2/2)

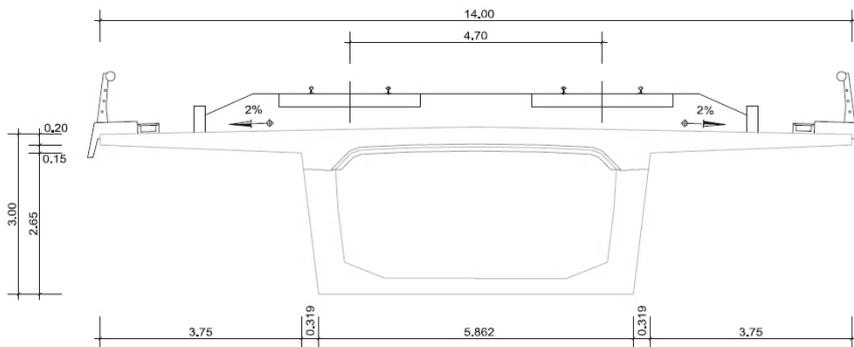


Figura 4.4. Sección tablero en centro de vano

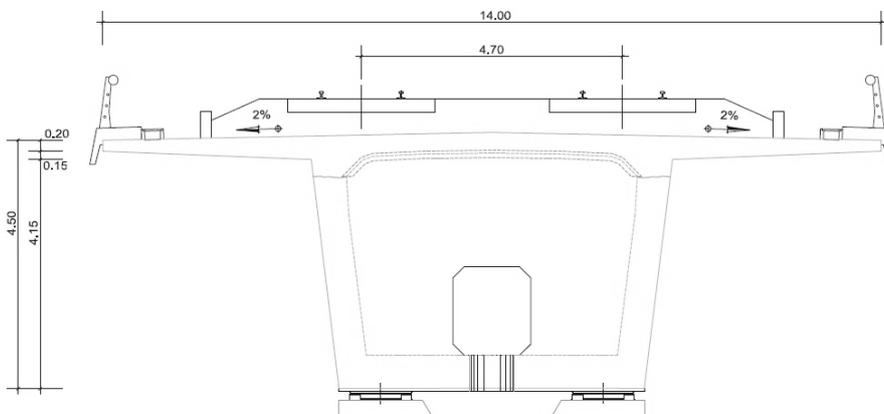


Figura 4.5. Sección tablero en apoyos

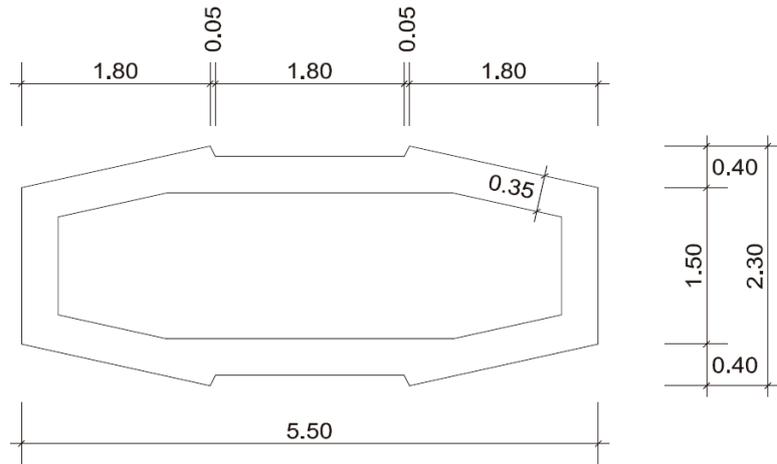


Figura 4.6. Sección transversal de cabeza de pila

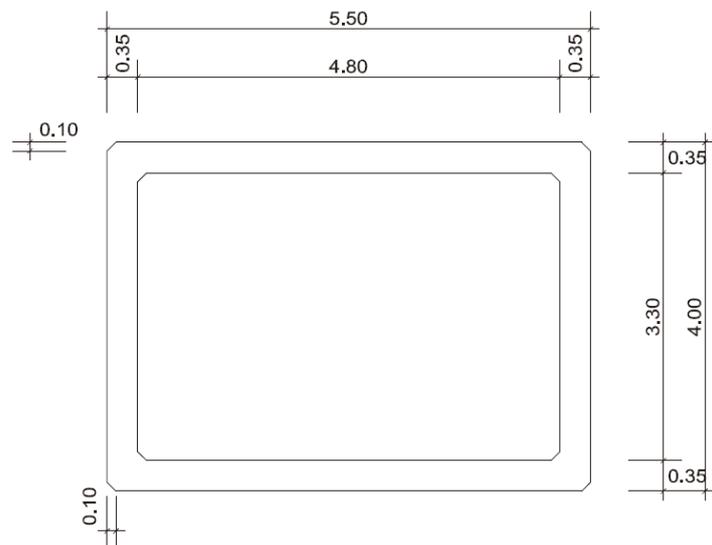


Figura 4.7. Sección transversal de arco

4.2.1. Planos de la estructura

Con este ejercicio se proporciona dos PDFs de planos de la estructura. También se adjuntan los archivos de SOFiSTiK del modelo de este Viaducto.

4.3. SE PIDE

- Realizar un análisis modal de la estructura. Averiguar las frecuencias propias y formas modales de los primeros 100 modos de vibración.
- Realizar un análisis en el tiempo (time history analysis) del viaducto sometido al paso del tren HSLM-A1 del Eurocódigo EN 1991-2 6.4.6 [1]

Este tren tiene las siguientes características:

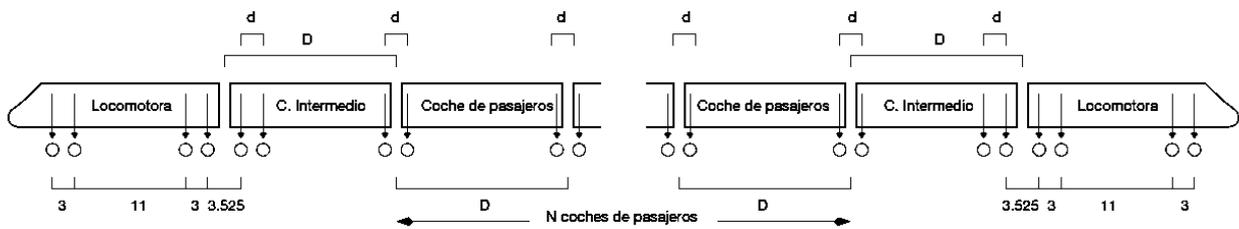


Figura 4.8. Características del tren [8]

Con $D = 18 \text{ m}$; $d = 2 \text{ m}$; 18 vehículos de pasajeros y 2 locomotoras; la carga por eje 170 kN .

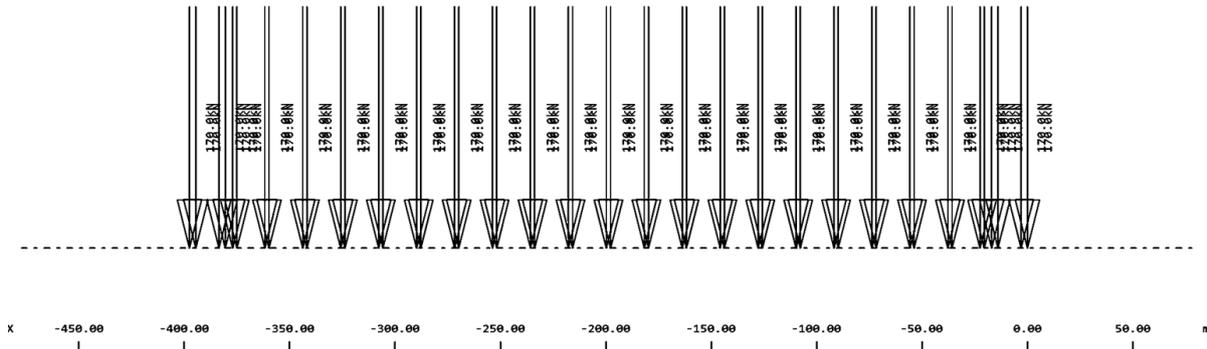


Figura 4.9. Cargas por eje

Para este análisis, utilizar un ratio de amortiguamiento del 1.5 % respecto al crítico para el primer modo de vibración y para el modo número 100.

- Obtener gráficas de desplazamiento (U_z , U_y), de aceleraciones (A_z , A_y), y de momentos flectores M_y de dos puntos (secciones) del tablero en función del tiempo. Los dos puntos del tablero a analizar corresponden a:
 - Sección de centro de vano del vano 7
 - Sección de apoyo en pila del vano 7

4.4. RESOLUCIÓN

Para considerar los efectos dinámicos en el proyecto de un puente de ferrocarril se utiliza el coeficiente de impacto. Este coeficiente aplicado a la componente vertical de las sobrecargas de uso nos proporciona unas cargas estáticas equivalentes con las que poder realizar un análisis estático y obtener resultados de esfuerzos y desplazamientos máximos en cada elemento del puente que son una estimación de la respuesta dinámica de los elementos estructurales de dicho puente.

Este coeficiente de impacto para cada elemento estructural del puente se define como:

$$\Phi = \frac{\max S_{din_real}}{S_{est,tipo}} \quad (\text{con } \Phi \geq 1)$$

donde:

$\max S_{din,real}$: Solicitación dinámica máxima (esfuerzos o desplazamientos) debida a todos los posibles trenes y velocidades de circulación.

$S_{est,tipo}$: Solicitación estática (esfuerzos o desplazamientos) debida al tren tipo UIC 71 (multiplicando sus cargas por un factor $\alpha = 0.21$), situado en la posición más desfavorable.

Las cargas verticales del tren tipo UIC 71 de la norma IAPF-07 que se aplican en el eje de la vía son las siguientes:

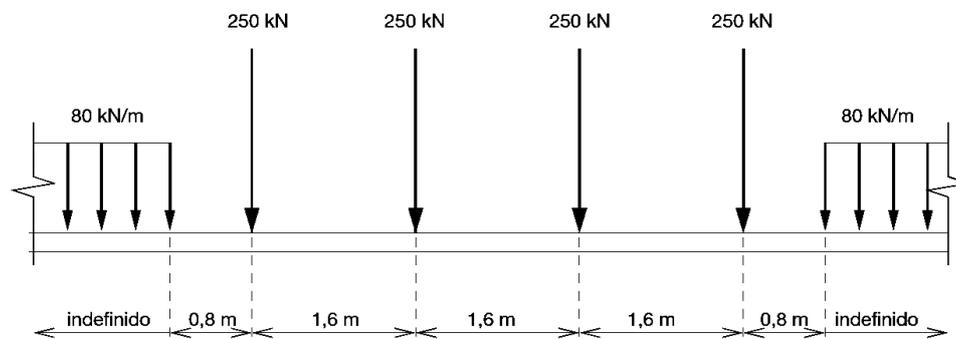


Figura 4.10. Tren tipo UIC 71.[8], [1]

Para obtener el coeficiente de impacto para los elementos de un puente, necesario para poder tener en cuenta los efectos dinámicos en un cálculo estático, existen varios métodos dependiendo de la velocidad de circulación del tren en el tramo de línea donde esté situado el puente y de la tipología del puente. En el caso de puentes por los que van a circular trenes a más de 220 km/h, esto es en líneas de alta velocidad, el coeficiente de impacto de los elementos estructurales ha de evaluarse, para puentes no isostáticos como este, mediante análisis dinámicos mediante integración directa en el tiempo con cargas móviles. En estos análisis dinámicos, para el caso de nuestro puente de tablero continuo, se pasarán los modelos de cargas móviles de la familia de los trenes HSLM-A1, que son 10 trenes, a varias velocidades. Los modelos de cartas móviles de estos trenes se encuentran en el Anejo C de la IAPF-07 y en el Eurocódigo EN 1991-2 6.4.6.

Por todo lo explicado, se puede afirmar que es necesario realizar análisis dinámicos mediante integración directa con cargas móviles para el proyecto de puentes de líneas de alta velocidad.

Con este tipo de análisis dinámico también se pueden obtener aceleraciones verticales del tablero para evaluar el confort de los viajeros que es un ELS de las normas española [8] y europea [9]. Para una evaluación más fina del confort de los viajeros se puede consultar la Ref. [6].

En el presente ejercicio vamos a realizar el análisis dinámico de este puente solo para el paso de uno de los trenes HSLM A1, el indicado en la Figura 4.9, circulando a 360 km/h.

4.4.1. Análisis modal de la estructura

Para realizar el análisis modal y determinar las frecuencias propias de la estructura de los 100 primeros modos de vibración seguiremos los siguientes pasos.

Abrimos el archivo *OEixo.sofistik* en SSD, nos dirigimos a SOFiPLUS

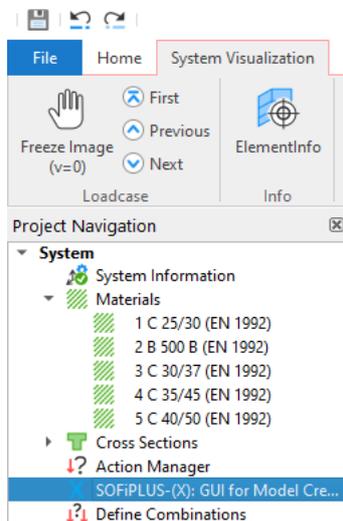


Figura 4.10. Pasos para abrir SOFiPLUS-(X)

En SOFiPLUS pinchamos en las secciones para calcularlas con el botón derecho del ratón.

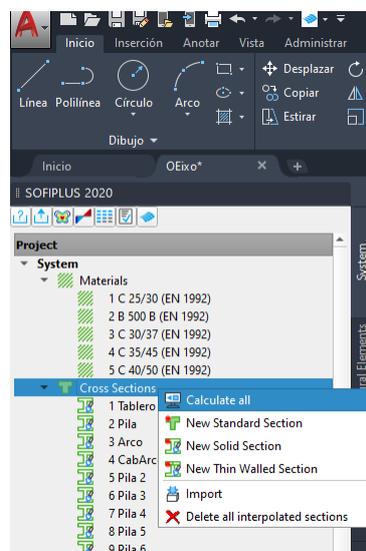


Figura 4.11. Pasos para calcular las secciones en SOFiPLUS-(X)

Una vez hecho esto, generamos el modelo de elementos finitos pinchando en el ícono señalado en la Figura 4.12.

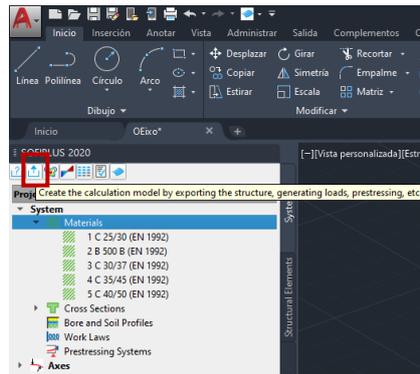


Figura 4.12. Ícono para generar el modelo de elementos finitos

Volvemos a SSD y comprobamos que se ha generado el modelo de EF.

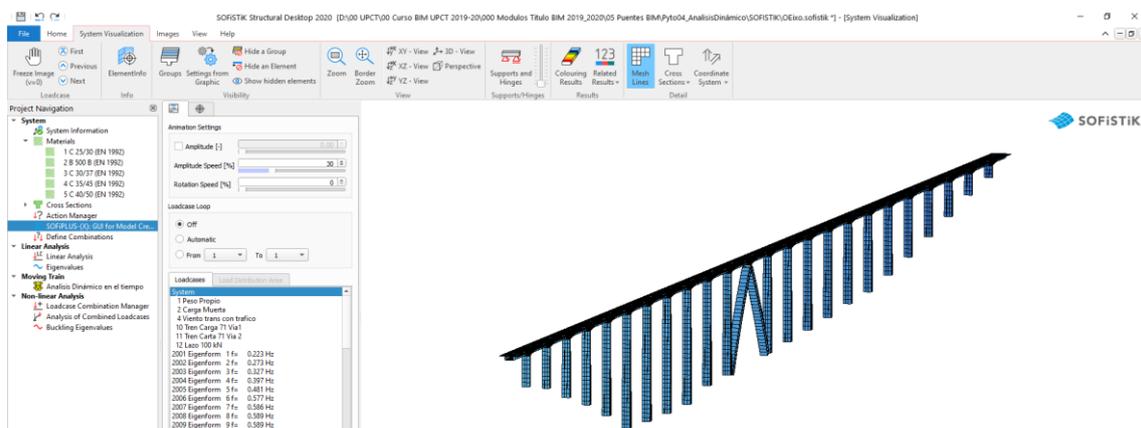


Figura 4.13. Generación del modelo de EF en SSD

Entramos en la tarea *Linear Analysis* en el navegador de proyecto.

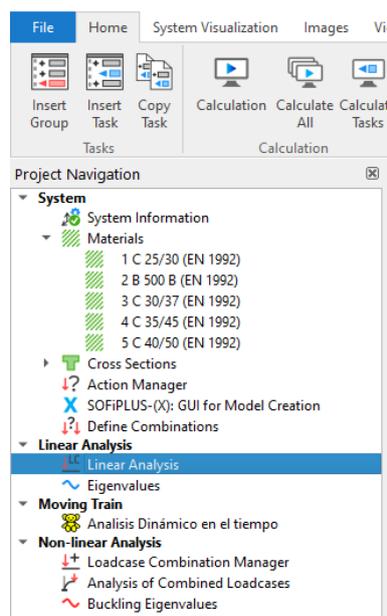


Figura 4.14. Tarea Linear Análisis en el navegador de proyectos de SSD

Dejamos los valores por defecto y aceptamos para que se realice el análisis lineal de los casos de carga.

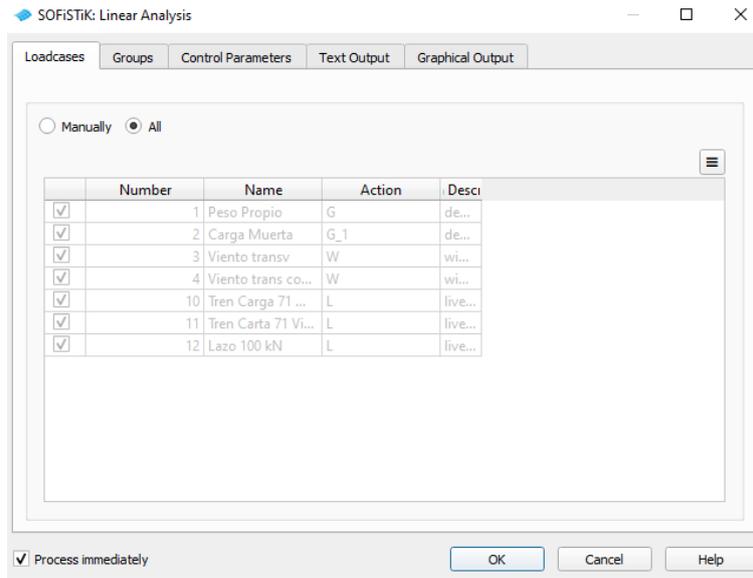


Figura 4.15. Tarea Linear Análisis

A continuación, entramos en la tarea *Eigenvalues* en el navegador del proyecto para configurar el análisis modal del puente.

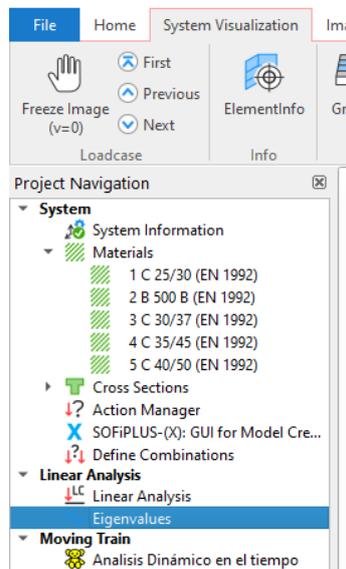


Figura 4.16. Tarea Eigenvalues en el navegador de proyectos de SSD

Seleccionamos las opciones siguientes en la ventana de *Eigenvalues*.

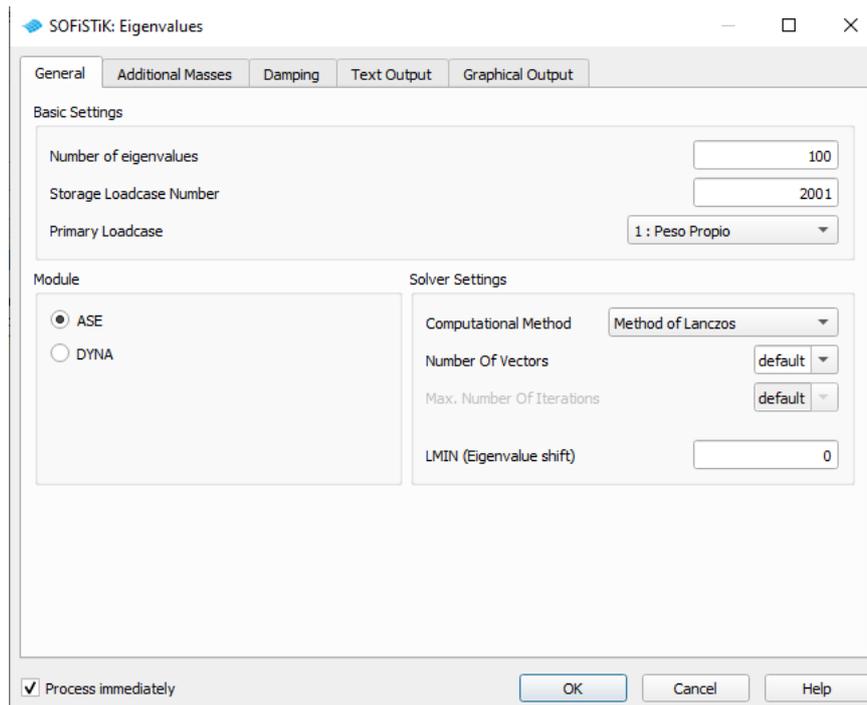


Figura 4.17 Ventana *Eigenvalues* > *General*

Dentro de esta ventana vamos a la pestaña de *Additional Masses* y activamos el caso de carga 2 que corresponde a la carga muerta (balasto y vías):

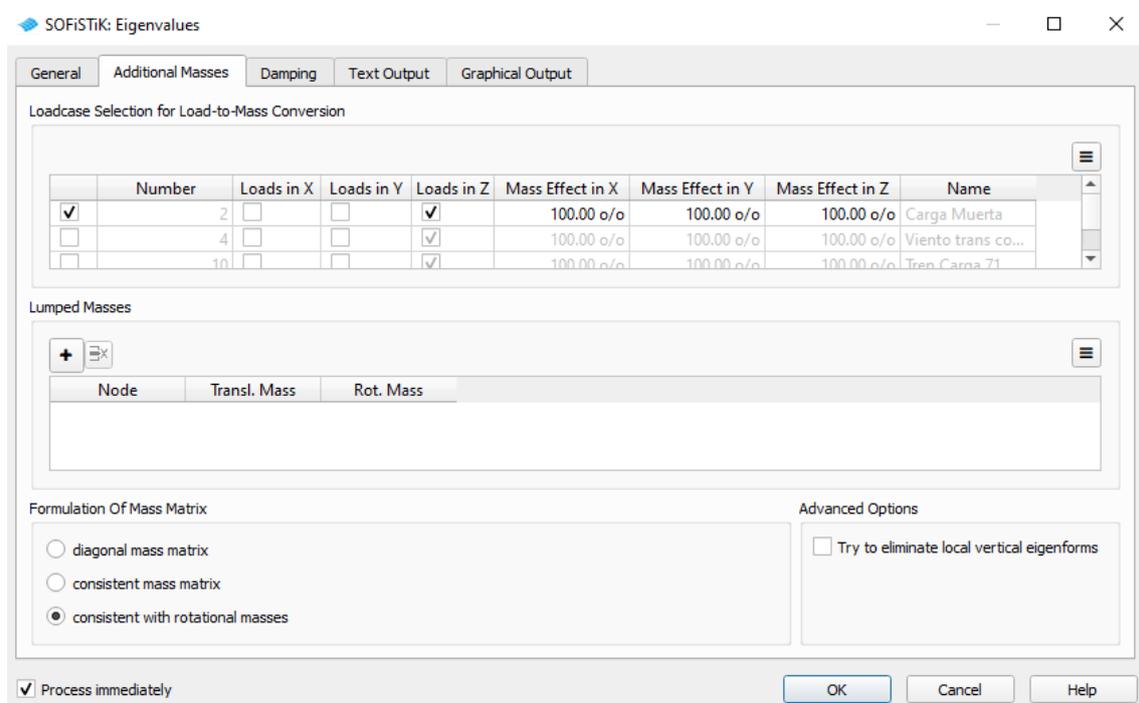


Figura 4.18. Ventana *Eigenvalues* > *Additional Masses*

Aceptamos (OK) y se realizará el análisis.

En el área de trabajo de SSD se visualizarán los *loadcases* que corresponden en este caso a los modos de vibración:

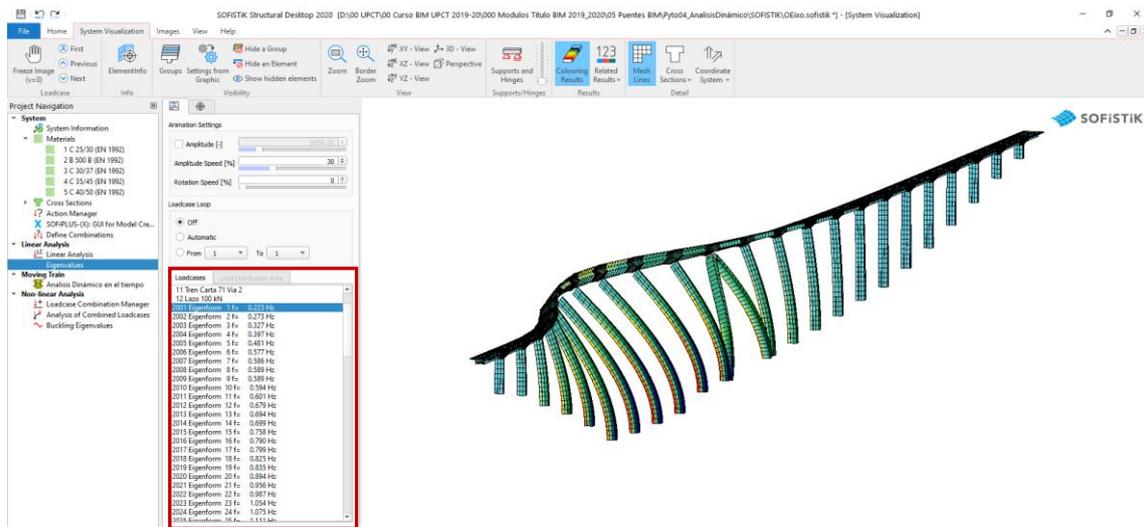


Figura 4.19. Modo 1. Frecuencia 0.223 Hz

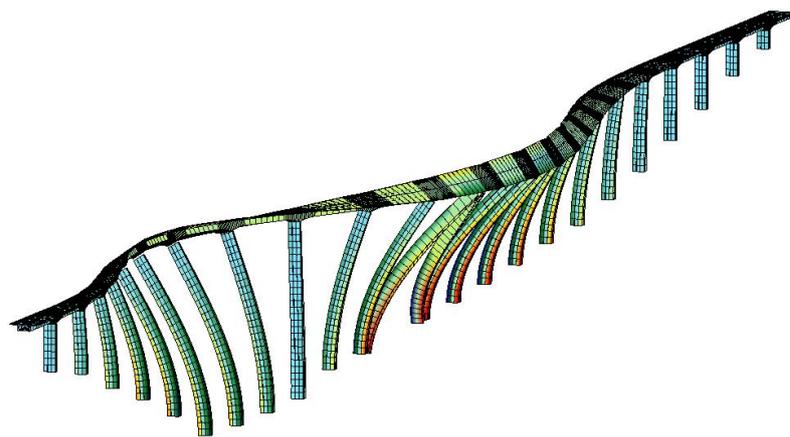


Figura 4.20. Modo 2. Frecuencia 0.273 Hz

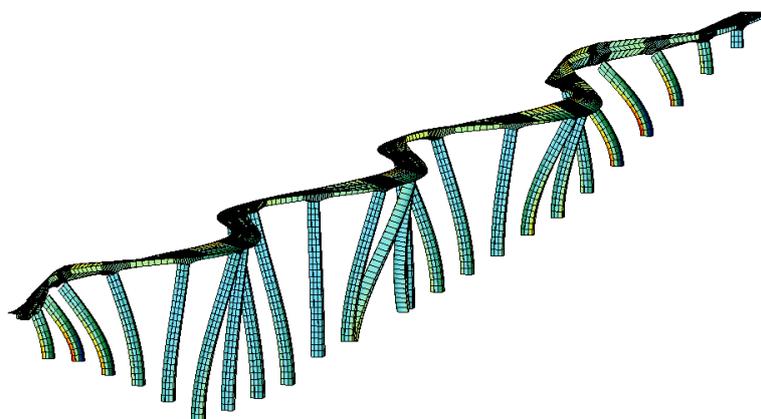


Figura 4.21. Modo 13. Frecuencia 0.694 Hz

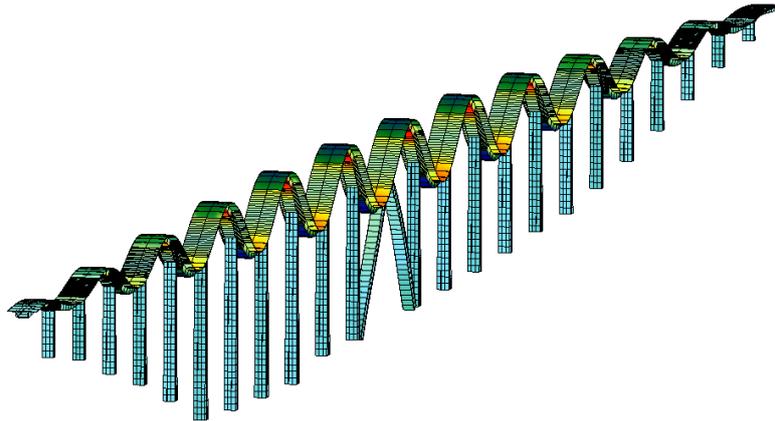


Figura 4.22. Modo 35. Frecuencia 1.861 Hz

4.4.2. Análisis dinámico mediante integración directa en el tiempo con cargas móviles

Para realizar el análisis que se pide en este apartado hay que calcular (o ejecutar) el script de la tarea: *Análisis Dinámico en el tiempo*, que se encuentra en el navegador de nuestro proyecto.

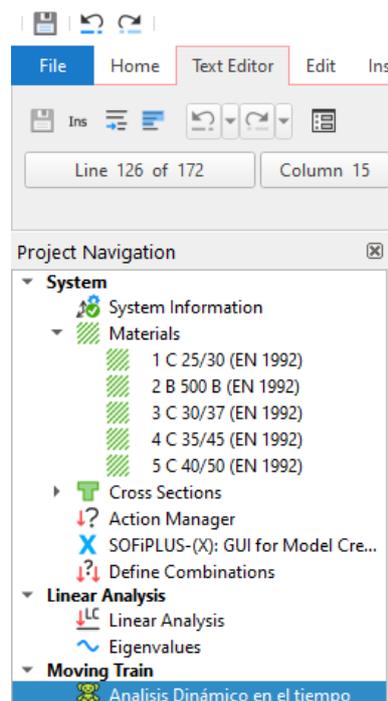


Figura 4.23. Tarea Análisis Dinámico en el tiempo

Si pinchamos en esta tarea se mostrará el script siguiente con el editor de texto *Teddy*.

```
!#!Chapter Loads
+prog sofiload urs:3
head Load Train

!#!Label Definition Actions
ACT G GAMU 1.35 GAMF 1 PSI0 1 PSI1 1 PSI2 1 PS1S 1 GAMA 1
```

```

ACT L

!!Label Definition Load Cases
$$LC 1 type G titl 'self weight' facd 1.0

!!Label Definition Load Trains
$ Define all HSLM Trains according code
let#1 1
LOOP 1 $$10                                <-- manual input (número de trenes a pasar)
  LC 100+#1 TITL 'Load Train' TYPE none
  TRAI TYPE HSLM P1 "A#1"                  <-- manual input (tipo de trenes a utilizar)
  let#1 #1+1
ENDLOOP

end

$+prog ase urs:7
$head 'Self weight'
$$LC 1
$end

!#!Chapter Dynamic Train Passing
+prog dyna urs:4
HEAD EIGENVALUES OF BRIDGE
sto#xsi 0.015    $ Lehr's damping           <-- manual input
sto#f1 0.22     $ 1st Eigenform manual input necessary !! <-- manual input
sto#f2 4.51     $ 100th Eigenform         <-- manual input
sto#a #xsi*4*#PI*#f1*#f2/(#f1+#f2)
sto#b #xsi/#PI/(#f1+#f2)

EIGE 100 LANC LC 2001                       <-- manual input
GRP - RADA #a RADB #B $ Check if assumptions for damping parameters are OK
END

+prog template urs:9
head Definition of Analysis Parameters

<TEXT> Damping

How to calculate Mass proportional damping and Stiffness proportional factor is
described manual DYNA chapter 3.10.
The mean modal damping for concrete  $\xi = \#(\#xsi*100,7.1)\%$ 
The minimum frequency  $f1 = \#(\#f1,7.3)$  Hz
The maximum frequency  $f2 = \#(\#f2,7.3)$  Hz
Mass proportional damping factor  $A = \xi*4\pi*f1*f2/(f1 + f2) = \#(\#a,13.6)$ 
Stiffness proportional damping factor  $B = \xi/\pi/(f1 + f2) = \#(\#b,13.6)$ 

</TEXT>

$ Values of Speedparameter
sto#SPEEDPAR 360,360,20 $ min. speed, max. speed ,increment <-- manual input
loop#speed (#SPEEDPAR(1)-#SPEEDPAR(0))/#SPEEDPAR(2)+1
LET#V1 #SPEEDPAR(0)+#SPEED*#SPEEDPAR(2) $ SPEED in km/h
LET#V #V1/3.6 $ SPEED in m/sec from km/h
sto#lb 1224.4 $ length of bridge <-- manual input
sto#lt 400 $ length of load train <-- manual input
LET#TT 1.0*(#lb+#lt)/#V $ => total time is 1.5(lb..length bridge+lt..length load
train)/#v
sto#STEP 0.22/20 $ time step lowest period/20 <-- manual input
<TEXT> <U>Variable Time Step Analysis #(#speed+1,2)</U>
Speed of train passing  $v = \#(\#v*3.6,10.2)$  km/h
Speed of train passing  $v = \#(\#v,10.2)$  m/s
Travelling time over bridge  $tt = 1.0*(lb+lt)/v = \#(\#tt,10.2)$  s
Length of bridge  $lb = \#(\#lb,10.2)$  m
Length of load train  $lt = \#(\#lt,10.2)$  m
Time step  $step = \#(\#step,10.5)$  s
</TEXT>
endloop

end

```

```

+prog dyna urs:5
head DYNAMIC PASSING OF LOADS OF TRAINS
LOOP#TRAIN 1
LOOP#SPEED (#SPEEDPAR(1)-#SPEEDPAR(0))/#SPEEDPAR(2)+1
  ctrl solv 3
  LET#V1 #SPEEDPAR(0)+#SPEED*#SPEEDPAR(2) $ SPEED in km/h
  LET#V #V1/3.6 $ SPEED in m/sec from km/h
  LET#TT 1.0*(#lb+#lt)/#V $ => total time is 1.5(lb..length
bridge+lt..length load train)/#v
$ process analysis
STEP N #TT/#STEP DT #STEP A #a B #b $ Time step integration
LC 101+#TRAIN $ LOAD TRAIN ALONG EDGE 1 WITH AUTOMATIC TIME VALUES
$$CONT NR 1 V #V YEX 0.0 $ AUTOMATIC TIMEVALUES IN NODES FROM BEAMS
CONT NR 200 V #V YEX 2.3 TMIN 0.0 <-- manual input
$ Save results for plots
LET#LC 1000+100*#TRAIN+2*#SPEED
#define LC1=#LC $print results save results in file.txt
HIST U-Z 1214 LCST #LC $resu prin dump node_1010_uz-$(LC1).txt
HIST U-Y 1214 LCST #LC $resu prin dump node_1010_uz-$(LC1).txt
HIST A-Z 1214 LCST #LC $resu prin dump node_1010_az-$(LC1).txt
HIST A-Y 1214 LCST #LC $resu prin dump node_1010_az-$(LC1).txt
HIST MY 10207 LCST #LC $resu prin dump beam_1010_MY-$(LC1).txt .
HIST U-Z 60 LCST #LC $resu prin dump node_1010_uz-$(LC1).txt
HIST U-Y 60 LCST #LC $resu prin dump node_1010_uz-$(LC1).txt
HIST A-Z 60 LCST #LC $resu prin dump node_1010_az-$(LC1).txt
HIST A-Y 60 LCST #LC $resu prin dump node_1010_az-$(LC1).txt
HIST MY 10222 LCST #LC $resu prin dump beam_1010_MY-$(LC1).txt
$ save results in database
extr u max #lc min #lc+1 ACT L
extr a max #lc min #lc+1 ACT L
extr MY max #lc min #lc+1 ACT L
END
ENDLOOP
ENDLOOP
END

+prog dynr urs:6
head Plot Results
LOOP#TRAIN 1 <-- manual input (número de trenes a pasar)
LOOP#SPEED (#SPEEDPAR(1)-#SPEEDPAR(0))/#SPEEDPAR(2)+1
  LET#LC 1000+100*#TRAIN+2*#SPEED
  LET#V #SPEEDPAR(0)+#SPEED*#SPEEDPAR(2) $ SPEED in km/h
  hist LCS #LC type u-z 1214 titl 'RESULTS FOR TRAIN #TRAIN SPEED #V lc #lc'
  hist LCS #LC type u-y 1214 titl 'RESULTS FOR TRAIN #TRAIN SPEED #V lc #lc'
  hist LCS #LC type a-z 1214 titl 'RESULTS FOR TRAIN #TRAIN SPEED #V lc #lc'
  hist LCS #LC type a-y 1214 titl 'RESULTS FOR TRAIN #TRAIN SPEED #V lc #lc'
  hist LCS #LC type my 10207 titl 'RESULTS FOR TRAIN #TRAIN SPEED #V lc #lc'
  hist LCS #LC type u-z 60 titl 'RESULTS FOR TRAIN #TRAIN SPEED #V lc #lc'
  hist LCS #LC type u-y 60 titl 'RESULTS FOR TRAIN #TRAIN SPEED #V lc #lc'
  hist LCS #LC type a-z 60 titl 'RESULTS FOR TRAIN #TRAIN SPEED #V lc #lc'
  hist LCS #LC type a-y 60 titl 'RESULTS FOR TRAIN #TRAIN SPEED #V lc #lc'
  hist LCS #LC type my 10222 titl 'RESULTS FOR TRAIN #TRAIN SPEED #V lc #lc'
ENDLOOP
ENDLOOP
end

```

El script aquí mostrado es una adaptación de la plantilla suministrada en el tutorial *Rolling stock analysis*, ejemplos 1 y 2, que se puede encontrar en el siguiente link de la página de web de SOFiSTiK.

<https://www.sofistik.de/documentation/2020/en/tutorials/dynamics/rolling-stock/rolling-stock.html>

Este script, como otros que utiliza SOFiSTiK, está en lenguaje CADINP. Este lenguaje constituye una de las vías de entrada de datos que los programas que forman SOFiSTiK utilizan como Inputs

para sus cálculos. Siendo esta una entrada paramétrica que se puede modificar según se necesite para repetir los cálculos.

En el script mostrado más arriba, están indicadas las líneas que requiere inputs manuales. Es decir, las líneas donde *tenemos* que introducir los parámetros de nuestro problema. Estos parámetros son:

- `#xsi 0.15` ratio de amortiguamiento respecto al crítico.
- `#f1 0.22` frecuencia más baja con en Hz para el #xsi adoptado.
- `#f2 4.5` frecuencia más alta en la que se adopta el #xsi
- `EIGE 100` número de modos de vibración en los que calcular el ratio de amortiguamiento respecto al crítico (con los parámetros anteriores introducidos)
- `#SPEEDPAR 360,360,20` velocidades mínima, máxima e incremento en km/h. Esto determina el número de viajes del tren por el puente y las velocidades de esos viajes.
- `#lb 1224.4` longitud del puente en metros
- `#lt 400` longitud del tren en metros
- `#STEP 0.22/20` incremento o paso de tiempo para la integración directa en el tiempo. Se debe introducir el periodo en segundos más pequeño considerado dividido por 20. Este periodo corresponde al periodo del último modo considerado en el análisis. Es decir, $0.22 = (1/4.5)$. Siendo 4.5 Hz la frecuencia del modo de vibración número 100.
- `CONT NR 200 V #V YEX 2.3 TMIN 0.0`. El número 200 aquí es el número de la *structural line* sin sección transversal que hemos introducido previamente en SOFiPLUS como recorrido de los trenes. El parámetro `YEX 2.3` corresponde a la excentricidad en m en dirección Y del recorrido de los trenes respecto a la structural line mencionada.

El camino de los trenes se introduce en el programa como una *structural line* sin sección.

En las siguientes figuras se muestra como introducir la mencionada *structural line* en SOFiPLUS. En la pestaña *Structural Elements* de SOFiPLUS pinchamos en Line.

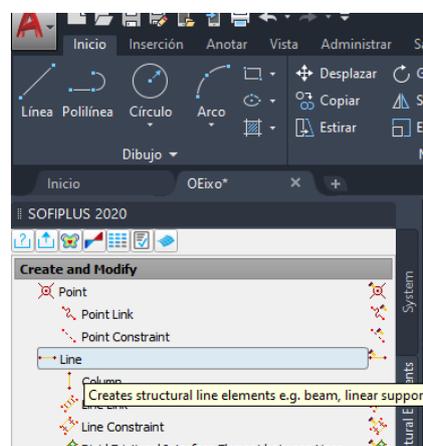


Figura 4.24. Pasos para introducir structural line elements

A continuación, completamos los dos formularios siguientes:

Figura 4.25. Ventana Structural Line > General (Grupo 200), elemento sin sección

Es importante que el número de esta *structural line* sin sección sea 200, que es el número que hemos introducido en el parámetro `CONT NR` del script.

Figura 4.26. Ventana Structural Line > Beam/Cable (Grupo 200), elemento sin sección

Y dibujamos ahora la línea de principio a fin sobre el eje de nuestro tablero.

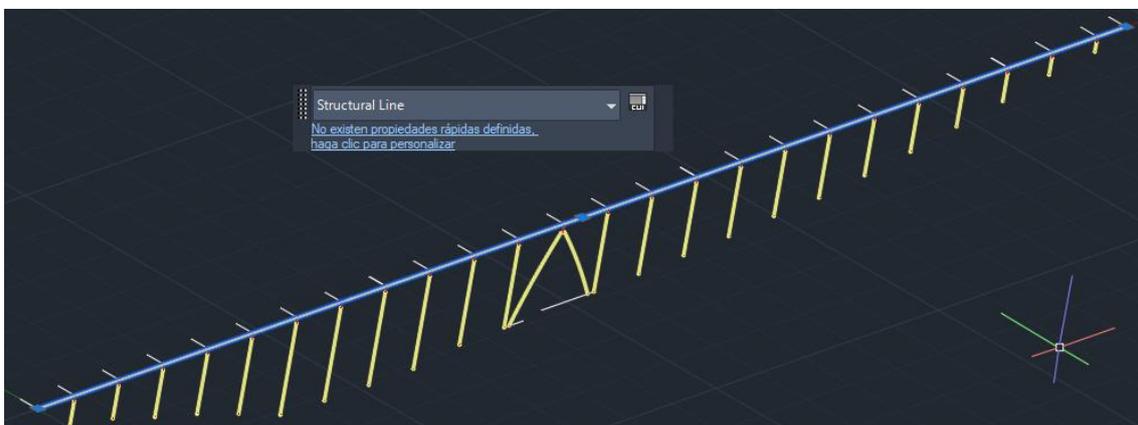


Figura 4.27. Vista 3D de la structural line ya introducida

Una vez que hemos hecho introducido el camino de los trenes en el modelo, tenemos que volver a generar el modelo de EF, puesto que hemos cambiado la estructura. También, debemos recalcular la tarea de *eigenvalues* desde SSD antes de calcular el script del análisis dinámico en el tiempo.

Corremos ahora el script “Análisis Dinámico en el tiempo” pinchando con el botón derecho del ratón en esta tarea del navegador del proyecto en SSD.

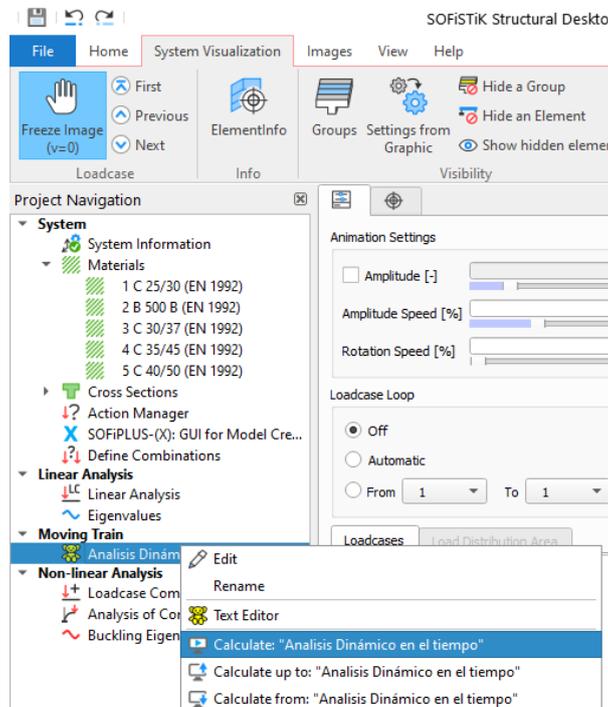


Figura 4.28. Pasos para calcular la tarea *Análisis Dinámico en el tiempo*

4.4.3. Resultados del análisis dinámico

Ya podemos consultar los resultados. Vamos a esta tarea de nuevo y con el botón derecho seleccionamos *report*.

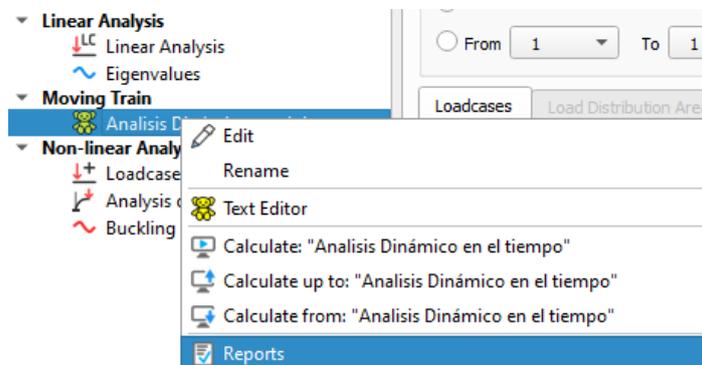


Figura 4.29. Pasos para consultar los resultados de la tarea calculada “Análisis Dinámico en el tiempo”

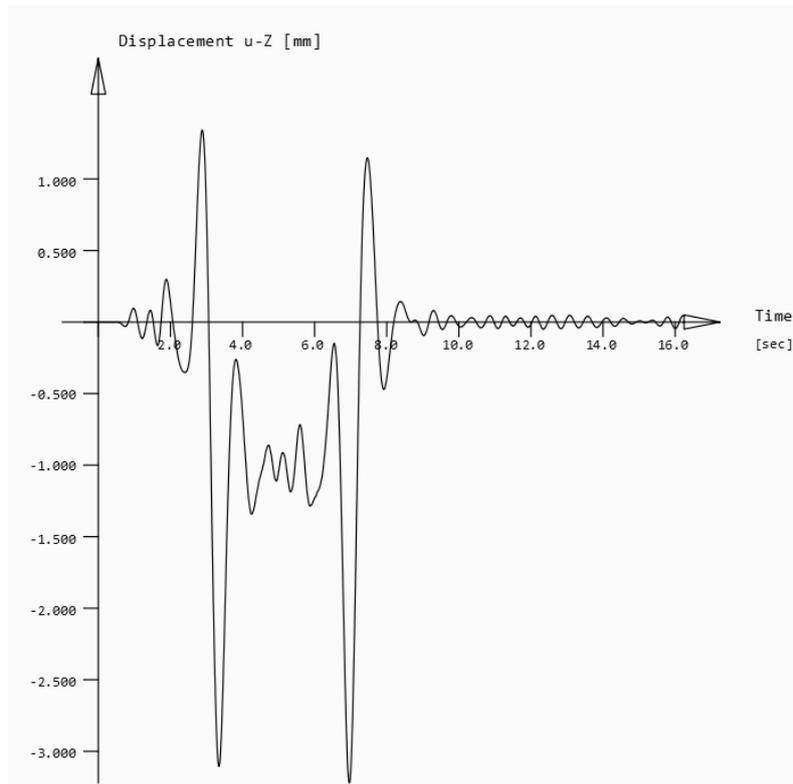


Figura 4.30. Desplazamiento vertical $u-z$ [mm] del tablero en el centro del vano n°7 por el paso del tren HSLM A1. Nodo 1214 del modelo.

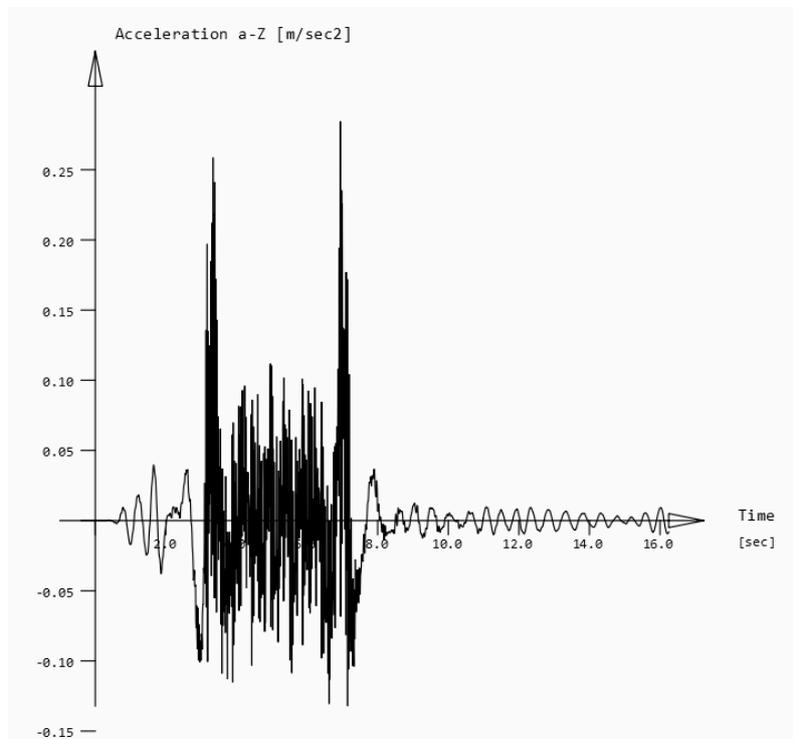


Figura 4.31. Aceleración vertical $a-z$ [m/sec^2] del tablero en el centro del vano n°7 (nodo 1214) por el paso del tren HSLM A1 a 360 km/h.

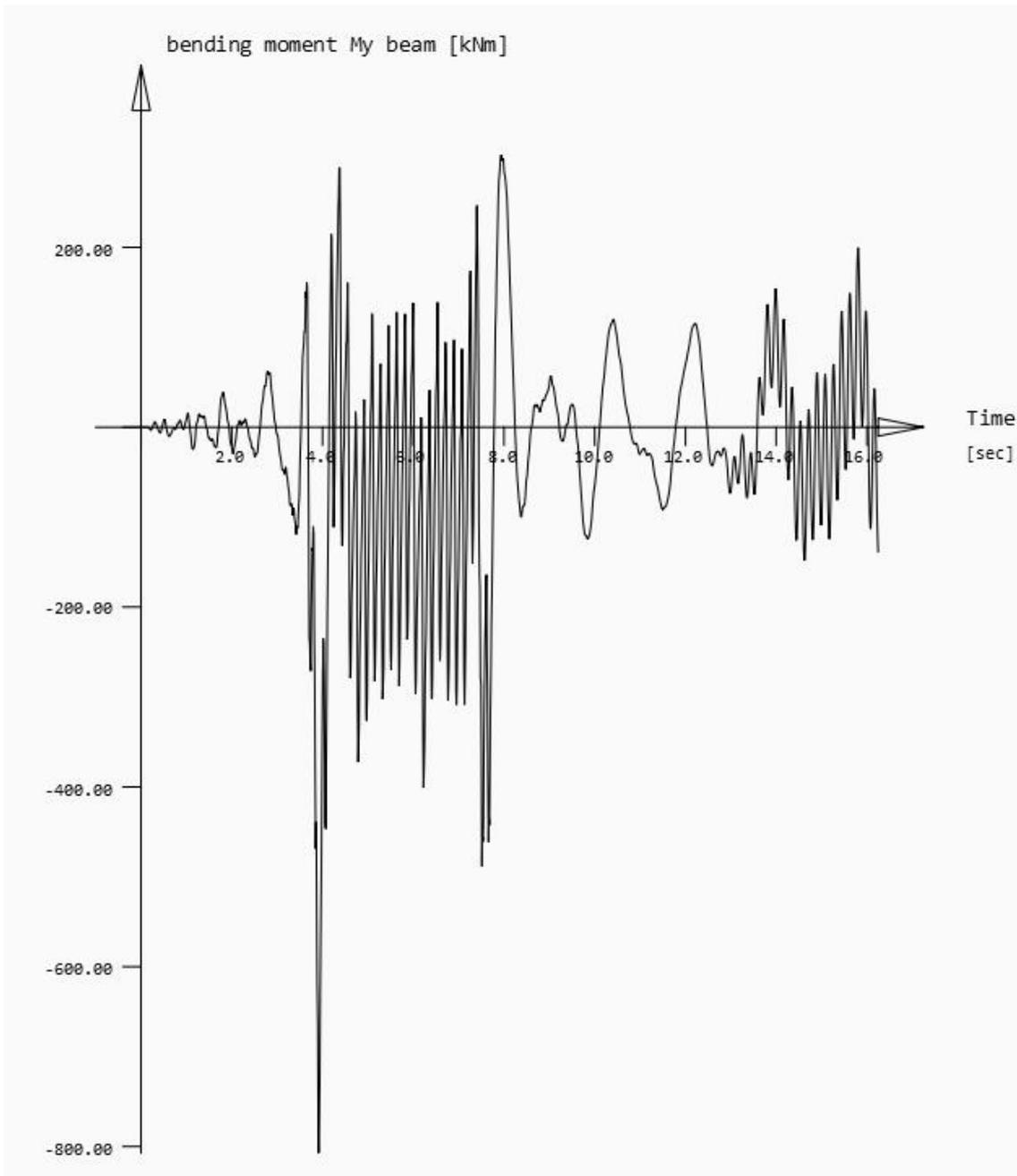


Figura 4.32. Momento flector M_y [kN·m] del tablero en el centro del vano 7 (EF nº 10207) por el paso del tren HSLM A1 a 360 km/h

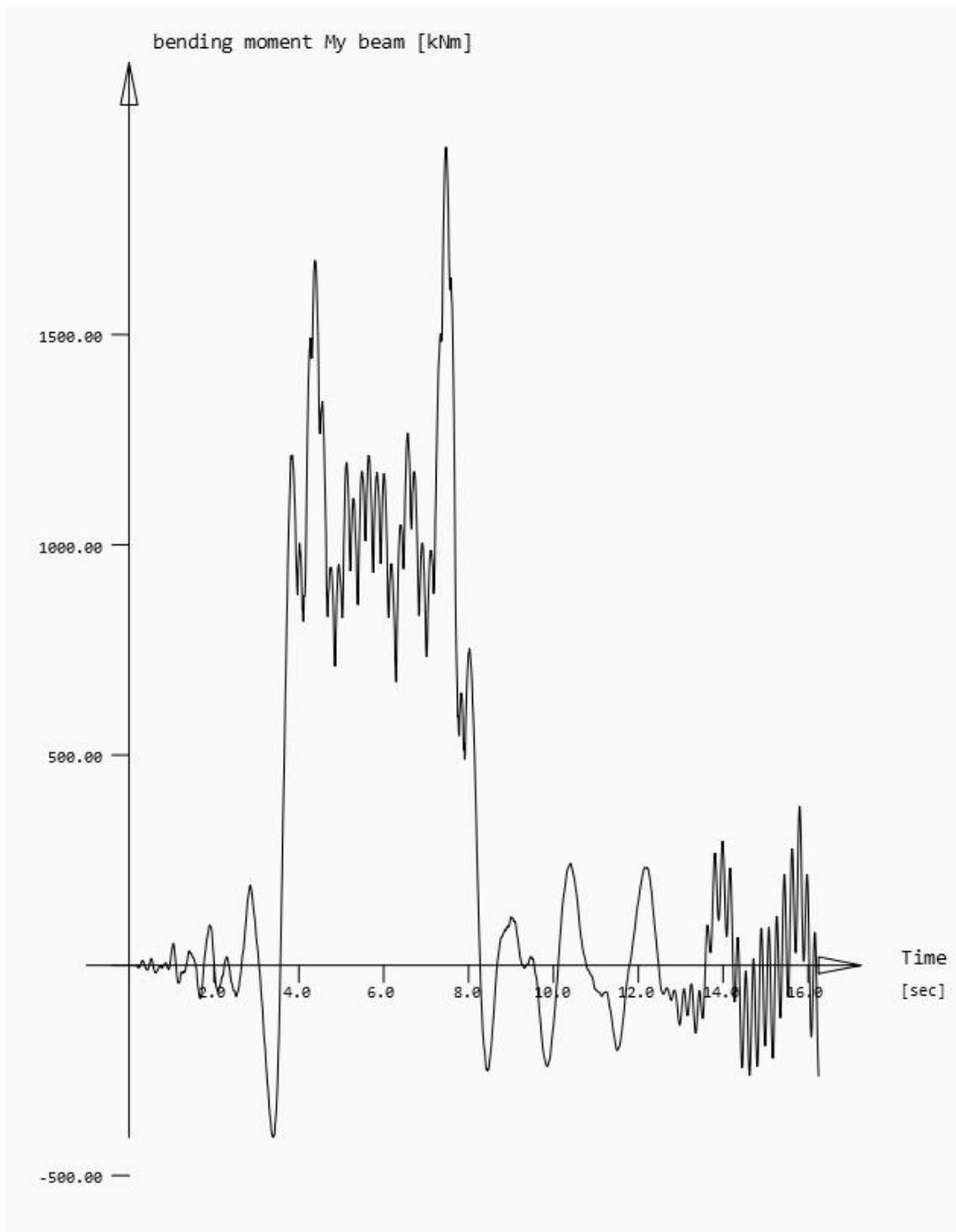


Figura 4.33. Momento flector M_y [kN·m] del tablero en el apoyo en la pila 7 (EF nº 10222) por el paso del tren HSLM A1 a 360 km/h.

Bibliografía

- [1] UNE-EN 1991-2, Eurocódigo 1: Acciones en estructuras. Parte 2: Cargas de tráfico en puentes. CEN - AENOR, 2019.
- [2] IAP-11, Instrucción sobre las acciones a considerar en el proyecto de puentes de carretera. Madrid: Ministerio de Fomento. Dirección General de Carreteras, 2012.
- [3] UNE-EN 1992-2, Eurocódigo 2: Proyecto de estructuras de hormigón. Parte 2: Puentes de hormigón. Cálculo y disposiciones constructivas. CEN - AENOR, 2013.
- [4] RD 1247/2008, Instrucción de Hormigón Estructural EHE-08, 4ª. Madrid: Ministerio de Fomento., 2020.
- [5] UNE-EN 1992-1-1, Eurocódigo 2: Proyecto de estructuras de hormigón. Parte 1-1: Reglas generales y reglas para edificación. CEN - AENOR, 2015.
- [6] Olmos, J.M., «Estudio de la respuesta dinámica transversal de viaductos altos de líneas de ferrocarril de alta velocidad bajo la acción de las cargas de uso», Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, 2016.
- [7] J. M. Olmos y M. Á. Astiz, «Improvement of the lateral dynamic response of a high pier viaduct under turbulent wind during the high-speed train travel», *Engineering Structures*, vol. 165, pp. 368-385, jun. 2018, doi: 10.1016/j.engstruct.2018.03.054.
- [8] IAPF-07, Instrucción de acciones a considerar en puentes de ferrocarril. Madrid: Ministerio de Fomento. Dirección General de Ferrocarriles, 2010.
- [9] UNE-EN 1990, Eurocódigo 0: Bases de cálculo de estructuras. CEN - AENOR, 2019.