

Departamento de Mecánica de Estructuras e Ingeniería Hidráulica

Universidad de Granada

CÁLCULO DE ESTRUCTURAS CON EL PROGRAMA SAP2000

Autores:

José Lavado Rodríguez

Juan José Granados Romera

v. 2012



CÁLCULO DE ESTRUCTURAS CON EL PROGRAMA SAP2000

v. 2012



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons
Atribución-NoComercial-SinDerivadas 3.0 España
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/es/>

CONTENIDO

PRESENTACIÓN

MÓDULO 1: PASO INFERIOR EN CARRETERA (O CALLE) COMPUESTO POR UN MARCO RECTANGULAR (MODELO DE BARRAS EN 2D)

1. El menú del programa
2. Gestión de archivos
3. Selección de unidades
4. Geometría del modelo:
 - a. Generación automática con la biblioteca de SAP2000
 - b. Edición y modificación de la geometría
5. Condiciones de contorno
6. Materiales y secciones: creación y asignación a barras
7. Modelado del apoyo sobre el terreno mediante coeficiente de balasto (viga Winkler)
8. Definición de tipos de cargas
9. Asignación de cargas a barras
10. Definición de tipo de análisis asignado a cargas
11. Hipótesis de combinación de cargas
12. Cálculo y sus opciones
13. Salida de resultados:
 - a. Esfuerzos (axiles, momentos flectores y cortantes)
 - b. Desplazamientos y giros
 - c. Reacciones
 - d. Envoltentes de esfuerzos y desplazamientos
 - e. Impresión gráfica en pantalla y exportación de ficheros
 - f. Listados en pantalla y exportación de ficheros

MÓDULO 2: CÁLCULO DE LA ESTRUCTURA DE UN EDIFICIO EN ZONA SÍSMICA MEDIANTE UN MODELO DE BARRAS EN 3D

1. Selección de unidades
2. Geometría del modelo:
 - a. Generación automática con la biblioteca de SAP2000
 - b. Importación de ficheros DXF de autocad
 - c. Edición y modificación de la geometría
3. Condiciones de contorno
4. Creación de diafragmas rígidos en forjados
5. Materiales y secciones: creación y asignación a barras
6. Definición de tipos de cargas
7. Asignación de cargas a barras
8. Masas que intervienen a efectos sísmicos
9. Definición del espectro de respuesta para análisis modal-espectral
10. Definición de tipo de análisis asignado a cargas:
 - a. Análisis estático
 - b. Análisis modal-espectral
11. Hipótesis de combinación de cargas
12. Cálculo y sus opciones
13. Salida de resultados:
 - a. Esfuerzos (axiles, momentos flectores, cortantes y momentos torsores)

- b. Desplazamientos y giros
- c. Modos de vibración
- d. Reacciones

MÓDULO 3: CÁLCULO DE UN TABLERO DE PUENTE DE VIGAS PREFABRICADAS MEDIANTE UN MODELO DE EMPARRILLADO

1. Selección de unidades
2. Geometría del modelo:
 - a. Generación automática con la biblioteca de SAP2000
 - b. Importación de ficheros DXF de autocad
 - c. Edición y modificación de la geometría
3. Condiciones de contorno
4. Materiales y secciones: creación y asignación a barras
5. Definición de tipos de cargas
6. Asignación de cargas a barras
7. Definición de tipo de análisis asignado a cargas
8. Hipótesis de combinación de cargas
9. Cálculo y sus opciones
10. Salida de resultados:
 - a. Esfuerzos (axiles, momentos flectores, cortantes y momentos torsores)
 - b. Desplazamientos y giros
 - c. Reacciones

MÓDULO 4: CÁLCULO DE MUROS DE SÓTANO EN UN EDIFICIO DE UN MUSEO SOLUCIONADO A MODO DE PATIO INGLÉS

1. Selección de unidades
2. Geometría del modelo:
 - a. Generación automática con la biblioteca
 - b. Edición y modificación de la geometría
 - c. Mallado de los muros con elementos placa
3. Condiciones de contorno
4. Materiales: creación y asignación a elementos barra y elementos placa
5. Secciones:
 - a. Elementos barra
 - b. Elementos placa. Espesor de la placa. Opciones de placa. Opciones de membrana
6. Definición de tipos de cargas
7. Asignación de cargas a elementos
8. Definición de tipo de análisis asignado a cargas
9. Hipótesis de combinación de cargas
10. Cálculo y sus opciones
11. Salida de resultados:
 - a. Esfuerzos en elementos barra
 - b. Esfuerzos en elementos placa
 - c. Esfuerzos de membrana
 - d. Desplazamientos y giros
 - e. Reacciones

PRESENTACIÓN

El presente documento constituye el material docente del curso *Cálculo de Estructuras con el Programa SAP2000* que se viene impartiendo desde marzo de 2010 (fecha de su 1ª edición), en la *E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos* de la Universidad de Granada a través de la *Fundación General Universidad de Granada-Empresa*.

Este material es un complemento imprescindible para el correcto seguimiento y aprovechamiento de las clases por parte de los alumnos.

Los autores somos profesores del Departamento de Mecánica de Estructuras e Ingeniería Hidráulica de la Universidad de Granada. Dedicando nuestra docencia, fundamentalmente, a la *E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos* y a la *E.T.S. de Arquitectura*.

Los autores.

MÓDULO 1

PASO INFERIOR EN CARRETERA (O CALLE) COMPUESTO POR UN MARCO RECTANGULAR (MODELO DE BARRAS EN 2D)

Cálculo de Estructuras con el Programa SAP2000

E.T.S. Ing. Caminos, Canales y Puertos
Dpto. Mecánica de Estructuras e Ing. Hidráulica

MÓDULO I

PASO INFERIOR EN CARRETERA (O CALLE) COMPUESTO POR UN MARCO RECTANGULAR

(Modelo de barras en 2D)

Impartido por el prof. J. J. Granados

Índice (1/2)

1. El menú del programa
2. Selección de unidades
3. Gestión de archivos
4. Geometría del modelo:
 - a. Generación automática con la biblioteca de SAP2000
 - b. Edición y modificación de la geometría
5. Materiales y secciones: creación y asignación a barras
6. Condiciones de contorno: Ligaduras y Acciones
7. Modelado del apoyo sobre el terreno mediante el coeficiente de balasto (viga Winkler)
8. Definición de cargas y asignación a barras
- ...

Índice (2/2)

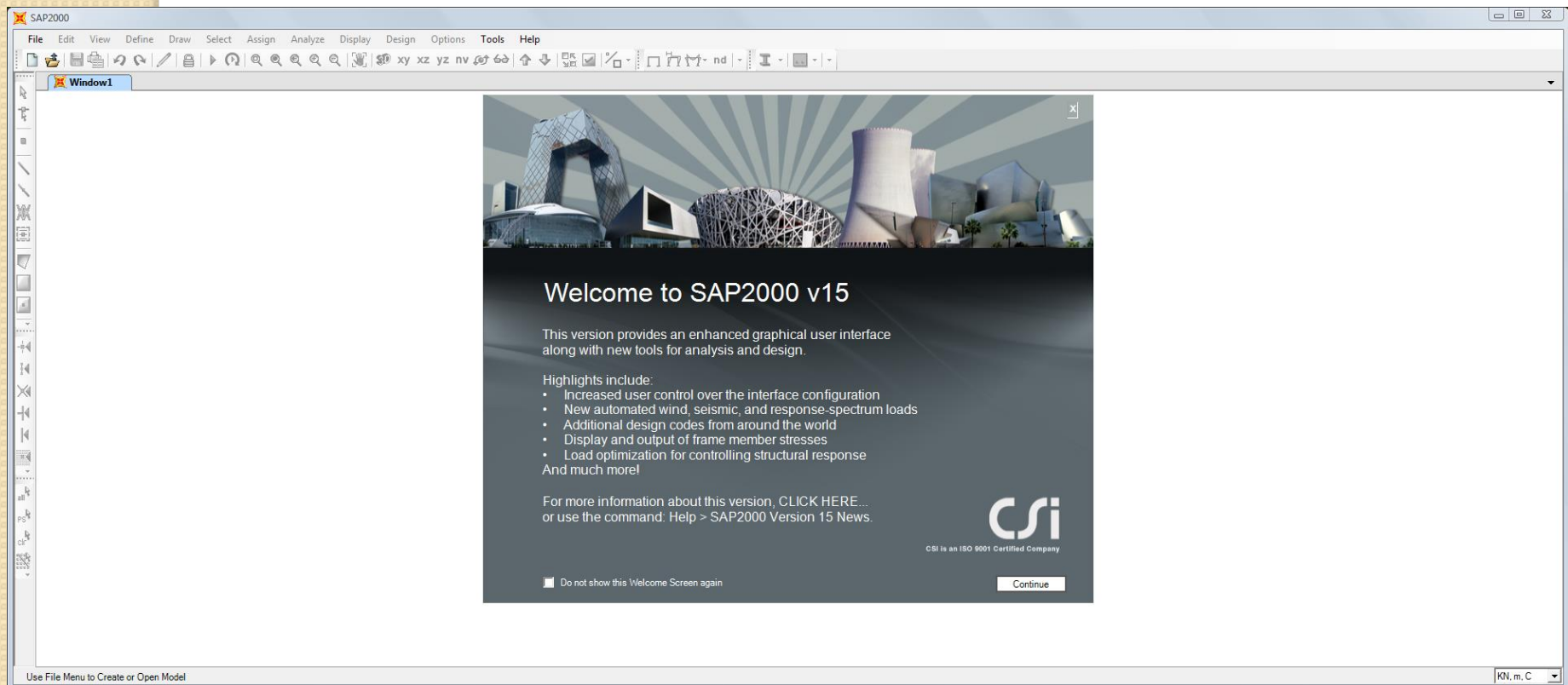
...

9. Hipótesis de cargas: definición y tipos de análisis
10. Combinación de hipótesis de cargas
11. El cálculo y sus opciones
12. Salida de resultados:
 - a. Esfuerzos (axiles, momentos flectores y cortantes)
 - b. Desplazamientos y giros
 - c. Reacciones
 - d. Envolventes de esfuerzos y desplazamientos
 - e. Impresión gráfica en pantalla y exportación de ficheros
 - f. Listados en pantalla y exportación de ficheros
13. Diseño
14. El menú ayuda

I. El menú del programa

El objetivo del primer módulo es explicar el menú del programa casi en su totalidad.

Para ello nos ayudaremos de un ejemplo real de cálculo, aunque se verán más características del programa de las que necesita el ejemplo.

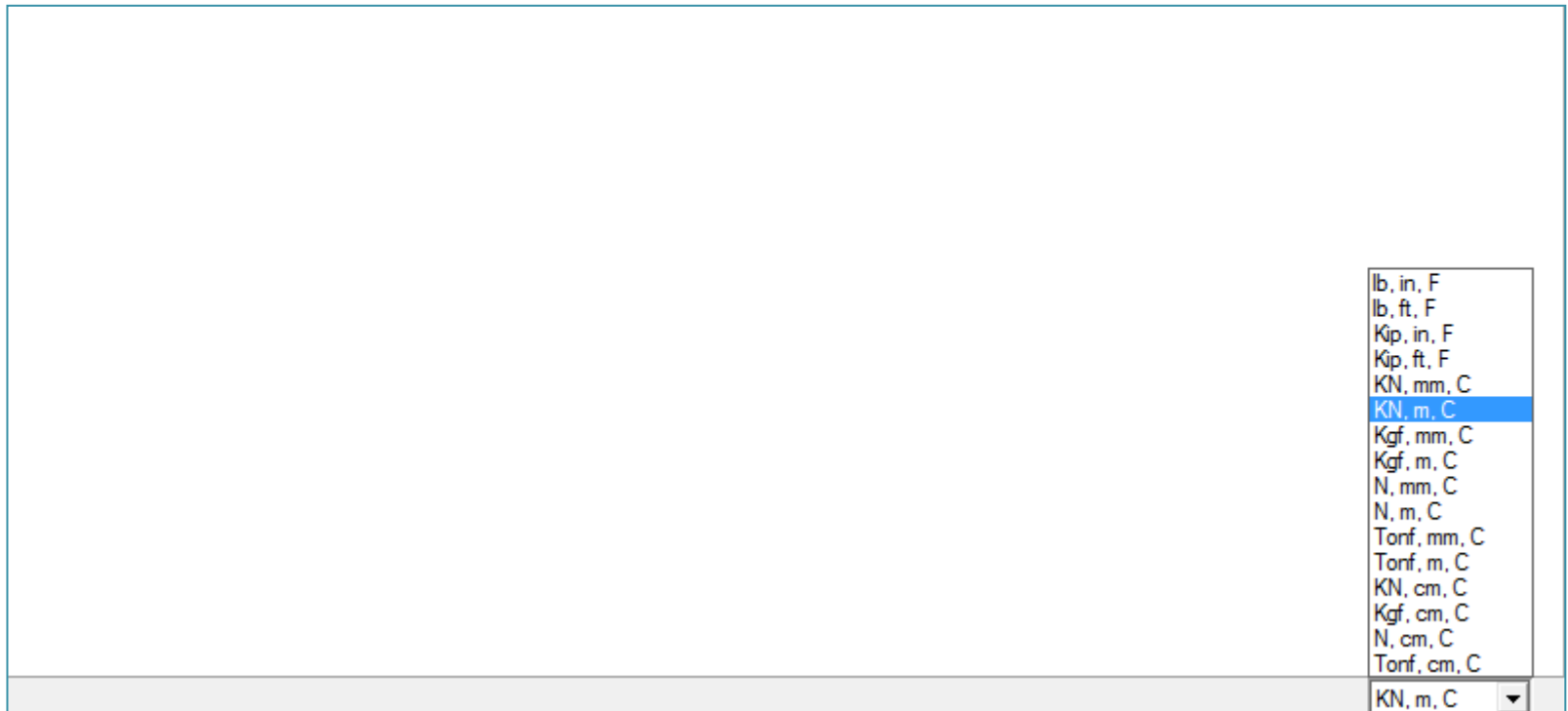


2. Selección de unidades

Es recomendable seleccionar las unidades antes de generar el nuevo modelo en el menú de la esquina inferior derecha.

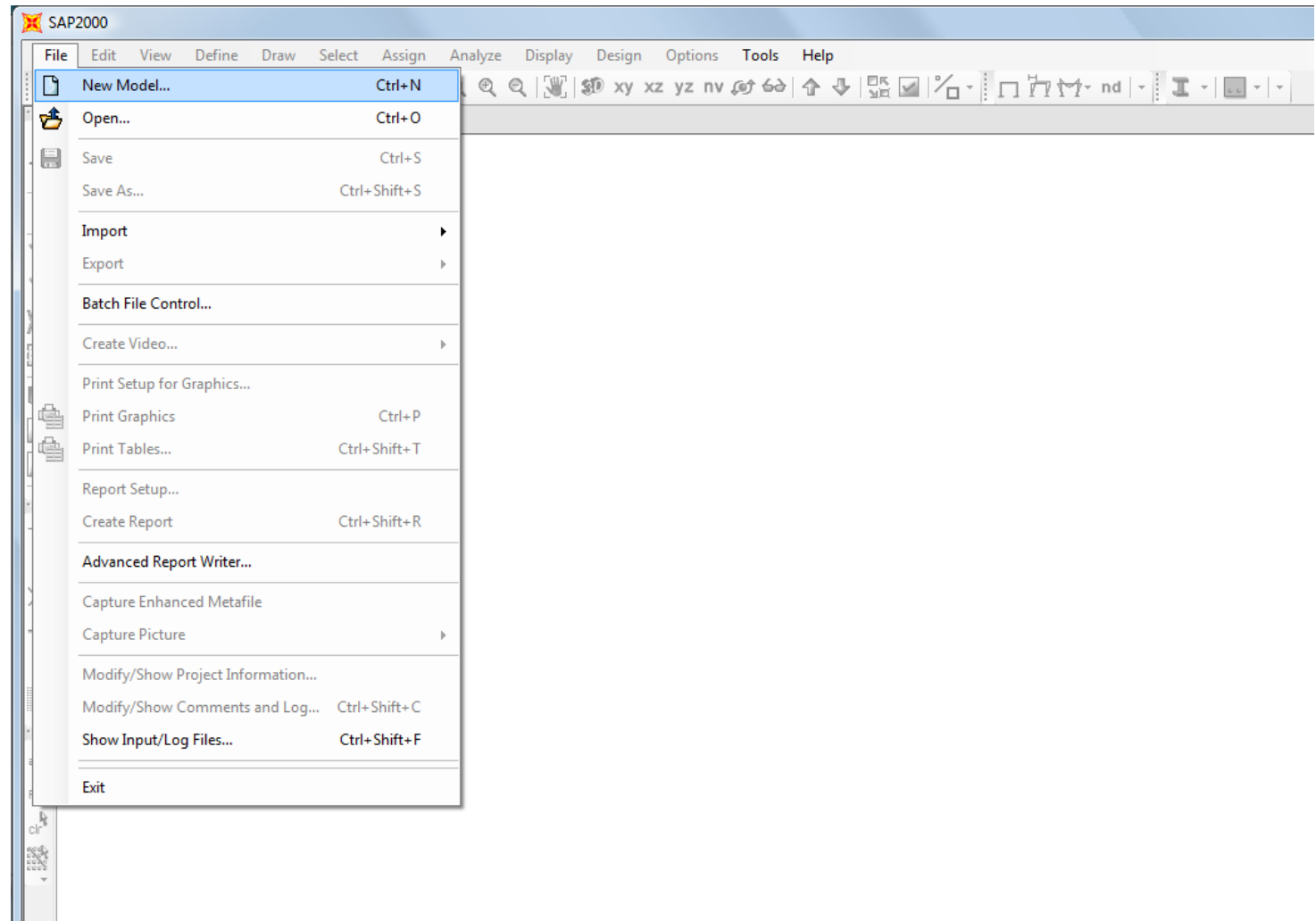
Las unidades también se pueden cambiar a posteriori.

Quizás sea más cómodo configurar en Windows el **punto decimal**.



3. Gestión de archivos

Es recomendable usar una carpeta para cada modelo (.sdb)



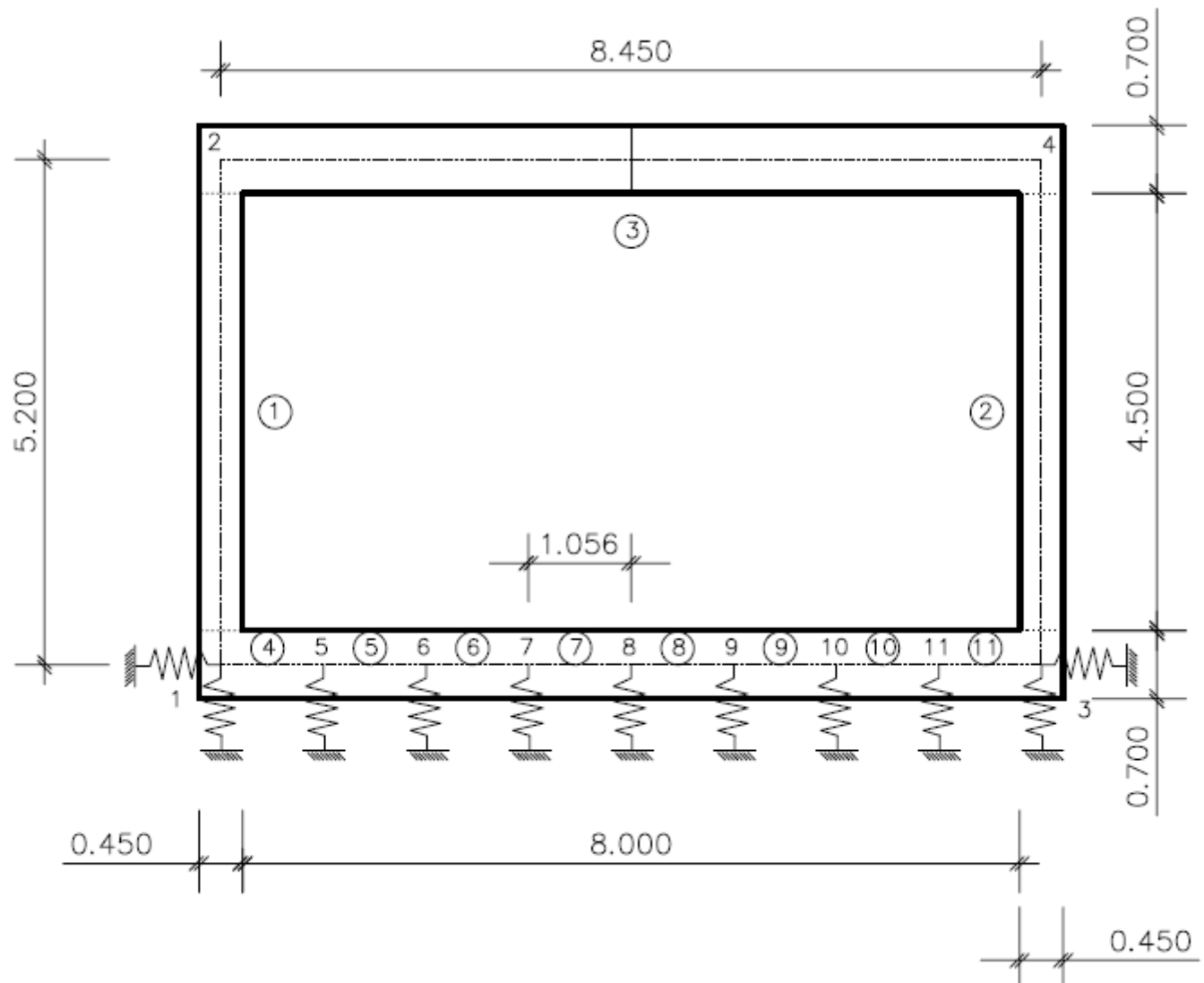
4. Geometría del modelo

El objetivo es calcular los esfuerzos de un paso inferior de autovía. Inicialmente el programa SAP no hacía diseño de secciones, pero en las sucesivas versiones se ha ido introduciendo esta prestación, y en la actualidad es capaz de hacer diseño de secciones según varias normas entre las que se incluye el Eurocódigo. Es por ello que al final del presente módulo veremos como completar el cálculo de nuestro modelo haciendo uso del menú “Design”

Características geométricas del modelo:

- calcular un marco de 8 m x 4.5 m (luces libres)
- altura de tierras (incluido firme) 2.50 m
- longitud 27.60 m
- Definición geométrica de la sección según el siguiente gráfico:

4. Geometría del modelo



4. Geometría del modelo

- Podríamos importar un archivo dxf con la geometría o introducirla directamente en SAP.
- SAP tiene un buen preproceso, por lo que en general se puede generar la geometría con el propio programa.
- Generaremos la geometría partiendo de un modelo en blanco con rejilla.
- Snap to Points and Grid Intersections
- Draw Frame/Cable
- Importancia de la orientación de los ejes locales ...

Quick Grid Lines

Cartesian | Cylindrical

Coordinate System Name
GLOBAL

Number of Grid Lines

X direction 2

Y direction 1

Z direction 2

Grid Spacing

X direction 8.45

Y direction 1.

Z direction 5.20

First Grid Line Location

X direction 0.

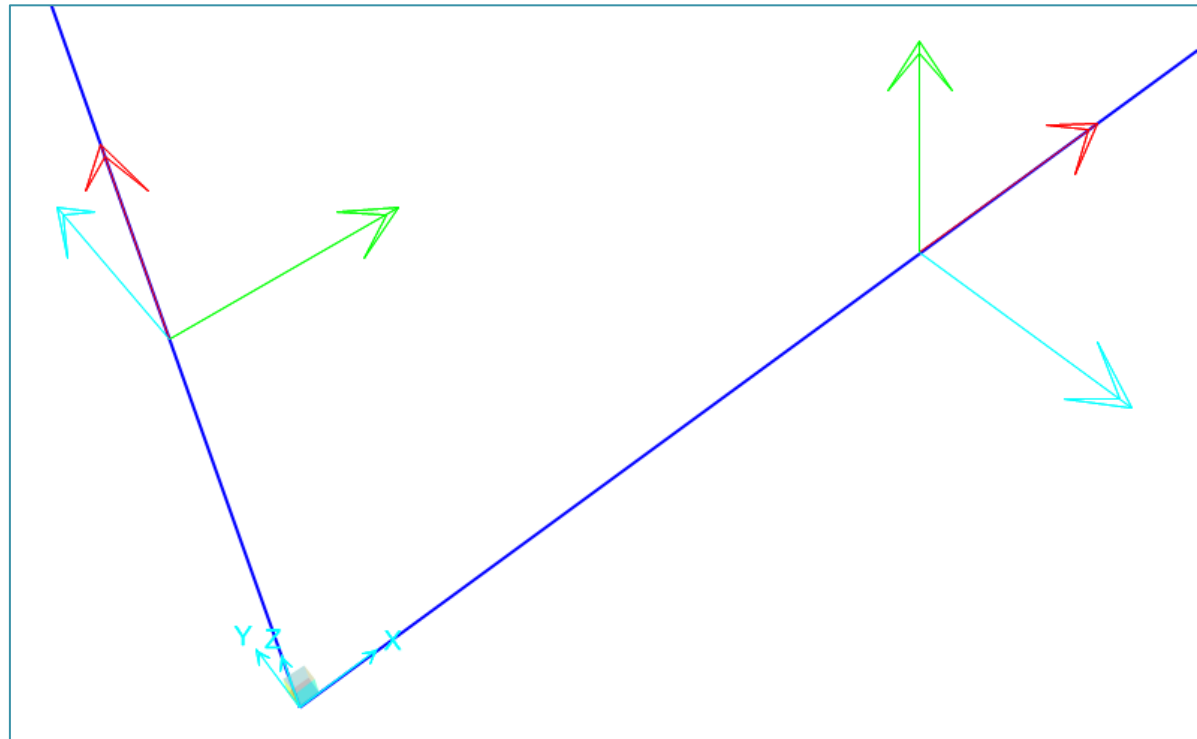
Y direction 0.

Z direction 0.

OK Cancel

4. Geometría del modelo. Ejes locales

- Eje 1: según la directriz de la barra (sentido del i al j)
- Eje 2: en el plano I-Z (salvo si I=Z, entonces 2=X)
- Eje 3 = 1×2



5. Materiales y secciones

Material: HA-30

Define → materials ... → Add New Material ... (Region: Spain)

Switch To Advanced Property Display

Peso por unidad de volumen: 25.0 kN/m³

Masa por unidad de volumen: 2.50 Mg/m³

$E_{cm} = 8500 f_{cm}^{1/3} =$ 2.86e7 kN/m² (secante, el programa da el tangente)

Siendo: $f_{cm} = f_{ck} + 8 \text{ Mpa} =$ 38 MPa

Módulo de Poisson: 0.2

Coef. Dilat. térmica: 1e-5

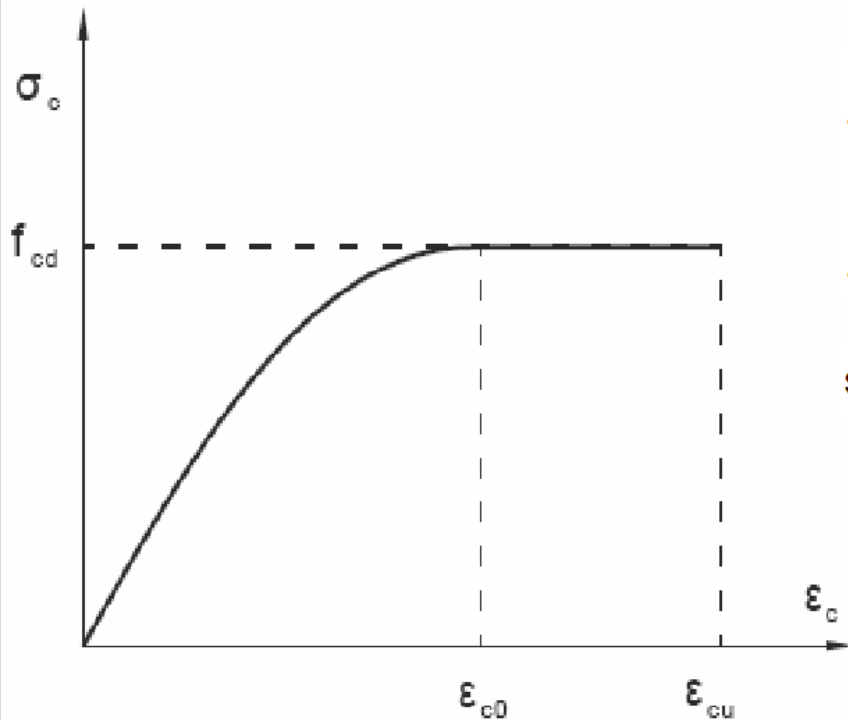
$f_c' =$ 3e4 kN/m²

5. Materiales y secciones

Nonlinear material data ... (User Defined)

Se aplica a utilidades de “Section Designer”, “Fiber Hinges” y “Layered Shell Element”

Según la EHE-08:



$$\sigma_c = f_{cd} \left[1 - \left(1 - \frac{\epsilon_c}{\epsilon_{c0}} \right)^n \right]$$

$$\text{si } 0 \leq \epsilon_c \leq \epsilon_{c0}$$

$$\sigma_c = f_{cd}$$

$$\text{si } \epsilon_{c0} \leq \epsilon_c \leq \epsilon_{cu}$$

$$\text{si } f_{ck} \leq 50 \text{ N/mm}^2$$

$$\epsilon_{c0} = 0,002$$

$$\epsilon_{cu} = 0,0035$$

$$n = 2$$

Diagrama de cálculo parábola-rectángulo

5. Materiales y secciones

Para el cálculo en servicio se toma f_{ck}

Núm filas: 18 → Teclar datos (o pegar datos de la hoja Excel)

Pulsar “Order Rows”

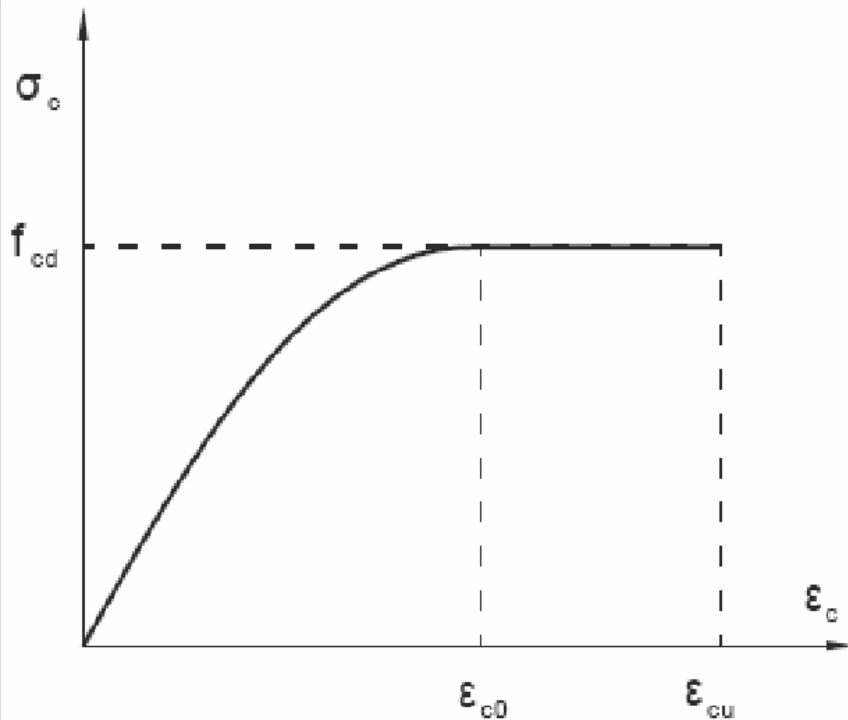


Diagrama de cálculo parábola-rectángulo

$f_{ck} =$	-3.00E+04	kN/m ²
$\epsilon_c =$	-2.00E-03	
$\epsilon_{cu} =$	-3.50E-03	
$n =$	2	
ϵ_c	σ_c (kN/m ²)	
0	0.000E+00	
-2.00E-04	-5.700E+03	
-4.00E-04	-1.080E+04	
-6.00E-04	-1.530E+04	
-8.00E-04	-1.920E+04	
-1.00E-03	-2.250E+04	
-1.10E-03	-2.393E+04	
-1.20E-03	-2.520E+04	
-1.30E-03	-2.633E+04	
-1.40E-03	-2.730E+04	
-1.50E-03	-2.813E+04	
-1.60E-03	-2.880E+04	
-1.70E-03	-2.933E+04	
-1.80E-03	-2.970E+04	
-1.90E-03	-2.993E+04	
-2.00E-03	-3.000E+04	
-3.50E-03	-3.000E+04	
9.68E-06	2.896E+02	

5. Materiales y secciones

Material: B-500-S

Define → materials ... → Add New Material ... (Region: Spain)

Peso por unidad de volumen: 78.5 kN/m³

Masa por unidad de volumen: 7.85 Mg/m³

E: 2.0e8 kN/m²

Módulo de Poisson: 0.3

$f_y =$ 5.0e5 kN/m²

$f_s =$ 5.5e5 kN/m²

5. Materiales y secciones

Según la EHE-08:

$E_s =$	2.00E+08 kN/m ²		
$f_{yk} =$	5.00E+05 kN/m ²	$f_{yd} =$	4.348E+05
ε_s	σ_s (kN/m ²)	ε_s	σ_s (kN/m ²)
-3.500E-03	-5.000E+05	-3.500E-03	-4.348E+05
-2.500E-03	-5.000E+05	-2.174E-03	-4.348E+05
0	0	0	0
2.500E-03	5.000E+05	2.174E-03	4.348E+05
1.000E-02	5.000E+05	1.000E-02	4.348E+05

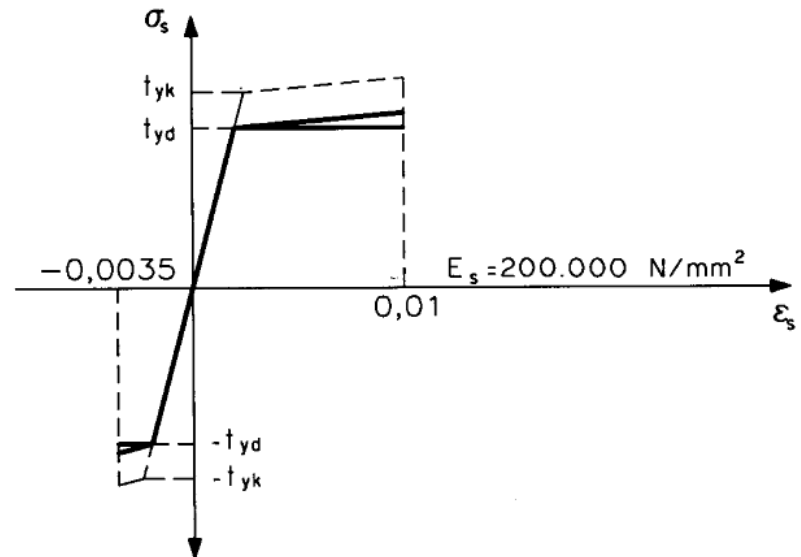


Diagrama tensión-deformación de cálculo para armaduras pasivas

Nota: "Point Id" se puede dejar en blanco o poner alguno de estos textos (en orden, aunque puede/n faltar alguno/s) -E, -D, -C, -B, A, B, C, D o E. Estos puntos controlan el color que se mostrará en la rótula en un dibujo de la deformada.

5. Materiales y secciones

Espesor de dintel y solera: 0.70 m → Concrete ...

Armadura inicial 6Ø20 en cada cara.

Recubrimiento mecánico 6.5 cm.

Espesor de muros: 0.45 m → Section Designer ...

Armadura inicial 6Ø16 en cada cara.

Recubrimiento mecánico 6.5 cm.

5. Materiales y secciones

The image shows the SAP2000 software interface with the Preferences dialog box open. The dialog box is titled "Preferences" and has a "Dimensions" section. The "Background Guideline Spacing" field is highlighted with a red circle and contains the value "0.05" with the unit "meters". Other fields in the dialog include "Fine Grids between Guidelines" (1), "Nudge Value" (1. meters), "Screen Selection Tolerance" (3 pixels), "Screen Snap To Tolerance" (12 pixels), "Screen Line Thickness" (1 pixels), "Printer Line Thickness" (4 pixels), "Pan Margin" (50 percent), "Auto Zoom Step" (10 percent), "Max. Mesh Size (Absolute)" (0. meters), "Max. Mesh Size (Relative)" (0.05), and "Mesh Merge Tolerance" (1.000E-06 meters). The background shows a grid with a green coordinate system (X and Y axes) and a status bar at the bottom indicating "Ready", "X = 0.28", "Y = 0.43", "KN, m, C", and "Done".

Field	Value	Unit
Background Guideline Spacing	0.05	meters
Fine Grids between Guidelines	1	
Nudge Value	1.	meters
Screen Selection Tolerance	3	pixels
Screen Snap To Tolerance	12	pixels
Screen Line Thickness	1	pixels
Printer Line Thickness	4	pixels
Pan Margin	50	percent
Auto Zoom Step	10	percent
Max. Mesh Size (Absolute)	0.	meters
Max. Mesh Size (Relative)	0.05	
Mesh Merge Tolerance	1.000E-06	meters

5. Materiales y secciones

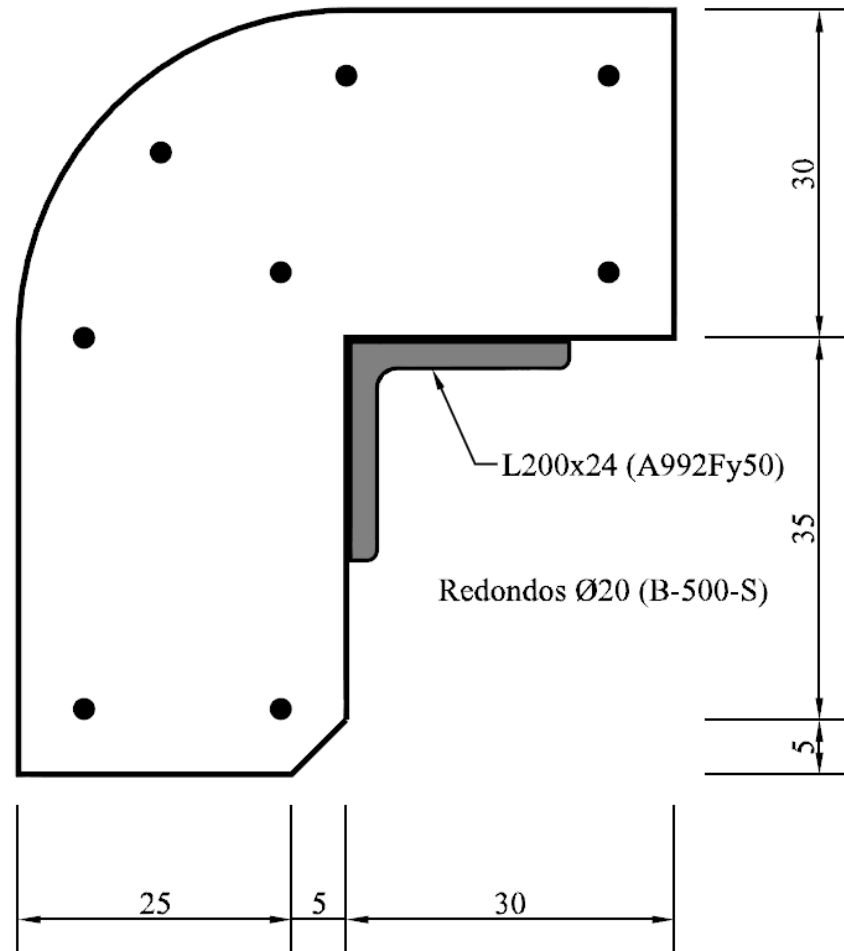
Espesor de muros: 0.45 m → Section Designer ...

- Usar LineBar para dibujar las barras de una cara
- Separación 0.16 m (así obtenemos las 6 barras por cara)
- Para las barras de la otra cara: Edit → Replicate → Mirror ...
- Show Section Properties ...
- Show Moment-Curvature Curve ... (variar armadura para ver los distintos puntos de rotura: hormigón y acero).
- Show Stress ...
- Show Interaction Surface ...

Importar secciones de la norma europea (perfiles metálicos) para la sección de la siguiente diapositiva.

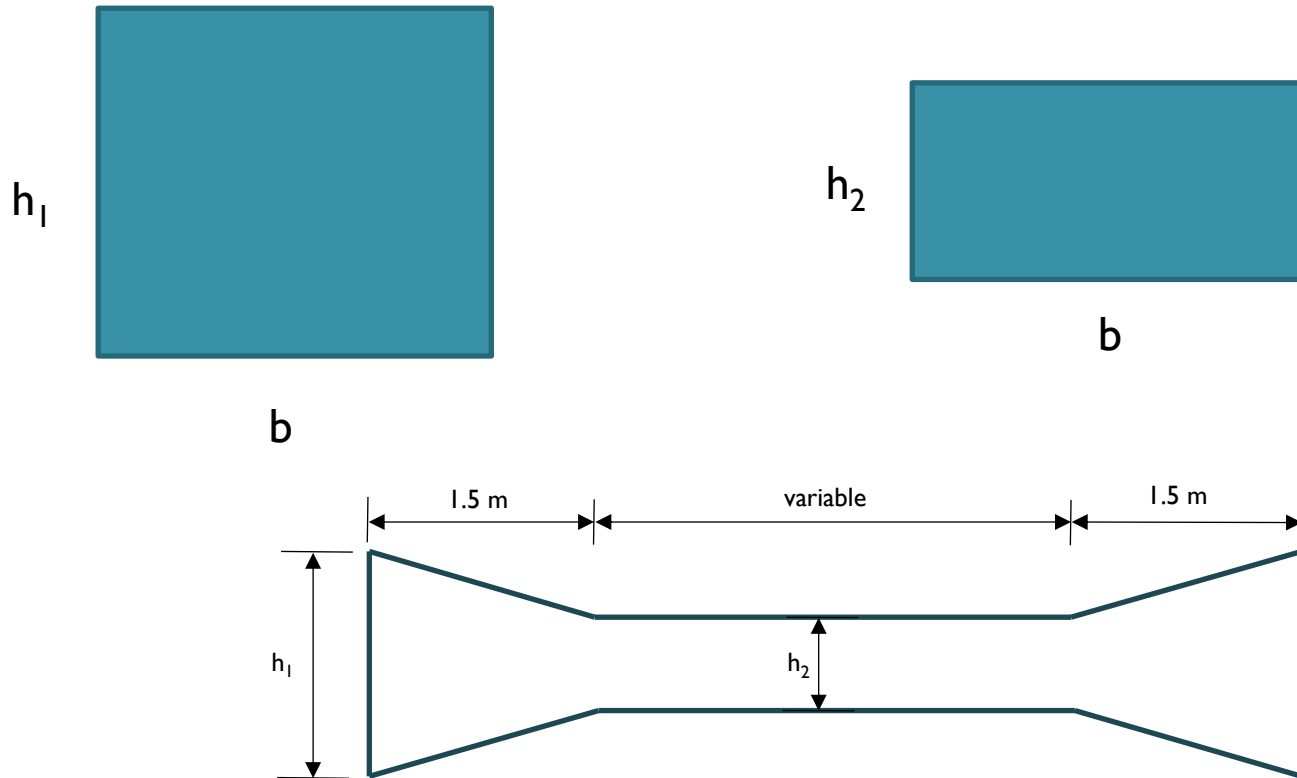
5. Materiales y secciones

Ejemplo de sección mixta usando la utilidad → Section Designer ...



5. Materiales y secciones

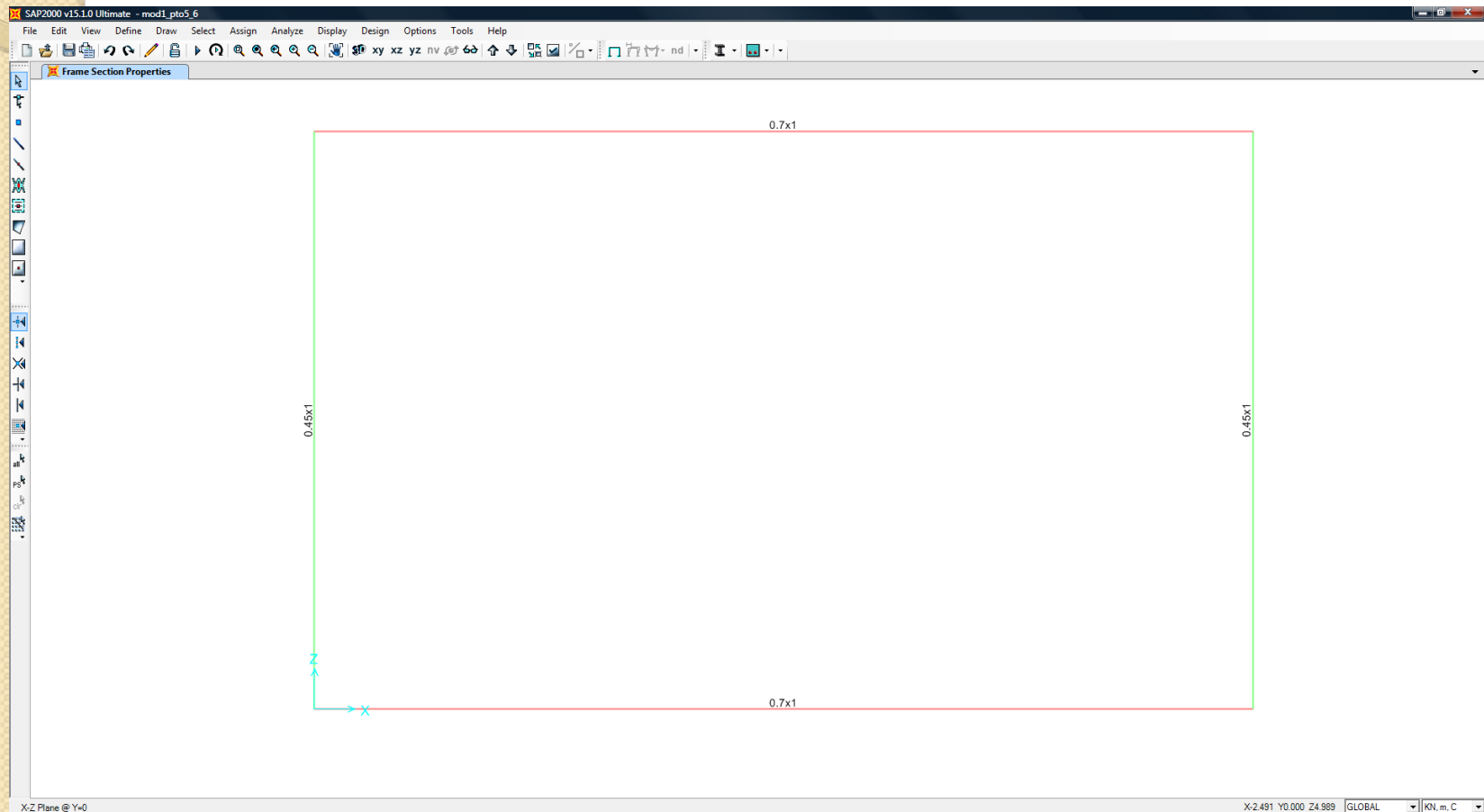
Nonprismatic section



I33: variación cúbica; I22: variación lineal

5. Materiales y secciones

Finalmente asignamos a cada barra su sección correspondiente.



Introducción simultánea de geometría y secciones de las barras

- Se trata de un camino alternativo y más directo al seguido hasta ahora.
 1. Introducir materiales
 2. Introducir secciones
 3. Nos apoyaremos en la utilidad de la rejilla
 4. Dibujar directamente la geometría con el menú flotante “Properties of Object”.

Uniones entre barras:

nudos rígidos, rótulas, deslizaderas ... / uniones elásticas ...

Assign → Frame → Releases / Partial Fixity ...

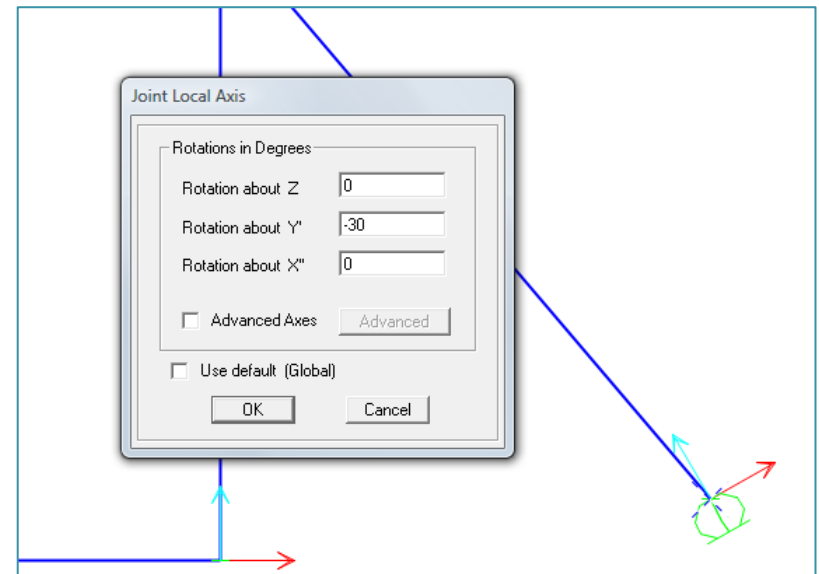
6. Condiciones de contorno: ligaduras y acciones

- Nos interesa un cálculo en dos dimensiones.
- SAP2000 hace todos los cálculos 3D por defecto.
- Es necesario dotar al modelo de ligaduras 3D, lo que implica fijar 6 grados de libertad.
- Grados de libertad en 2D
 - U_x (U_1)
 - U_z (U_3)
 - Giro y (R_2)
- Falta por fijar
 - U_y (U_2)
 - Giro x (R_1)
 - Giro z (R_3)
- Esto se puede hacer manualmente (p. ej. en un nudo).

6. Condiciones de contorno: ligaduras y acciones

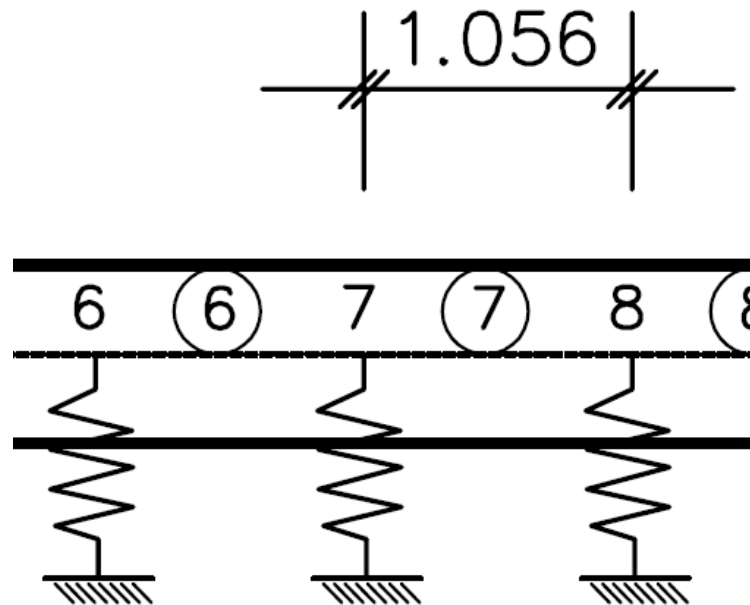
- Una alternativa más eficaz para fijar los g.d.l. es:
 - Análisis → Set Analysis Options → XZ Plane
 - De esta forma el programa bloquea automáticamente los grados de libertad correspondientes a U_y , Giro en X y Giro en Z
 - Esta forma tiene ventajas, por ejemplo: en un cálculo modal no calculará falsos modos de vibración en el plano YZ.

- Ejes locales de nudos:
condiciones contorno
no concordantes.
Inicialmente todos los nudos
tienen sus ejes locales iguales
a los ejes globales.



7. Modelado del apoyo sobre el terreno mediante el coeficiente de balasto (viga Winkler)

1. Coeficiente de balasto suelo: $K_{30} = 4 \text{ kp/cm}^3$
2. Para nuestra estructura: $K = 1e4 \text{ kN/m}^3\text{N}$
3. Será necesario dividir la barra inferior y renumerar barras y nudos según el croquis del modelo (Change Labels ...).



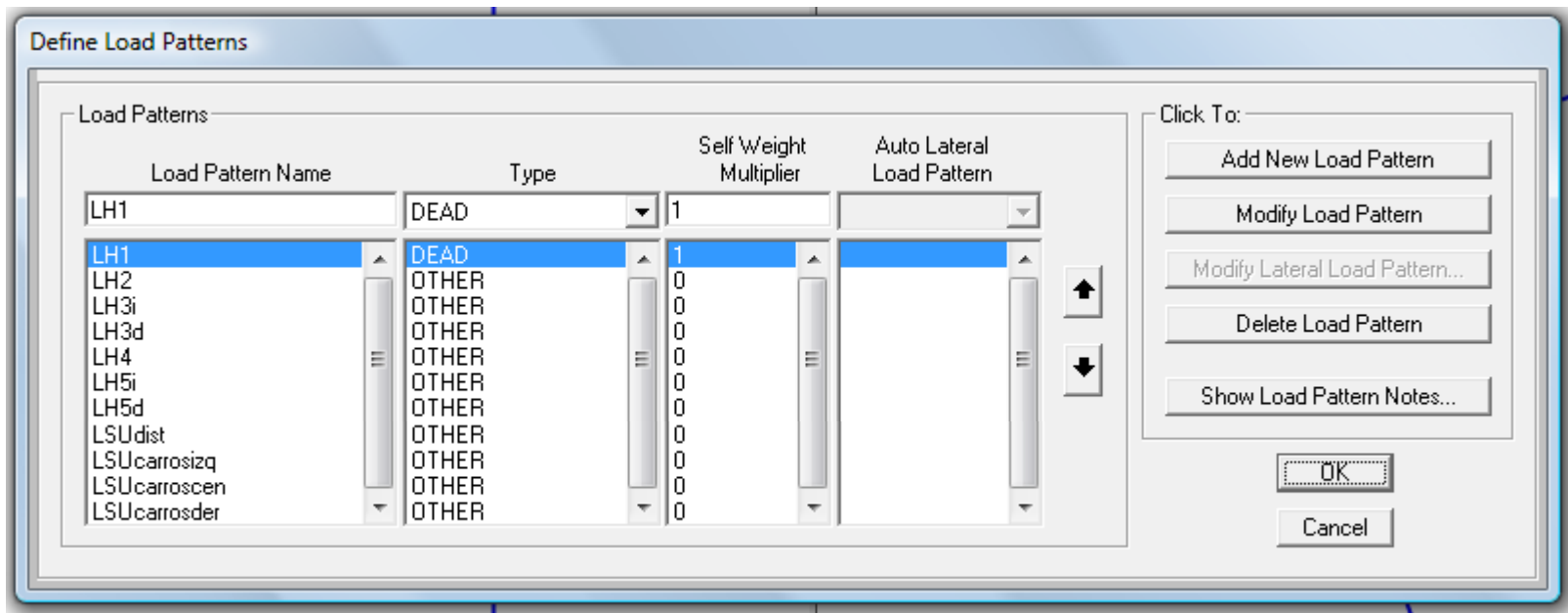
7. Modelado del apoyo sobre el terreno mediante el coeficiente de balasto (viga Winkler)

Nudo	Mov X	Mov Z	Giro
1 y 3	30000	5280	Libre
del 5 al 11	Libre	10560	Libre

- Assign → Joint → Springs ...
- Hay una alternativa que permite introducir los muelles de una forma más rápida, a consta de perder control sobre la ubicación y rigidez de cada uno de ellos:
- Assign → Frame → Line Springs ...
- Que requiere del uso de la opción Automatic Frame Mesh.

8. Definición de cargas y asignación a barras

- Define → Load Patterns ...
- En este apartado se definen las cargas (patrones de carga)
- Las cargas se asignan a las barras correspondientes
- Cada carga (patrón de carga) definido puede estar formado por una o más cargas
- Definiremos las siguientes cargas:



8. Definición de cargas y asignación a barras

CARGA LH1=HIPÓTESIS H1: Peso propio del hormigón armado:
 $\gamma_c = 25 \text{ kN/m}^3$

Esta carga es aplicada automáticamente por el programa con el nombre *dead*.

CARGA LH2 = H2: Sobrecarga debida al peso de tierras y aglomerado.

Aglomerado	$23 \cdot 0.30 \cdot 1.5 =$	10.35
Tierras	$20 \cdot 2.20 =$	<u>44.00</u>
		54.35 kN/m

Tipo	Int.	Direcc.	Barras
Unif.	-54.35	Z	3

- Assign → Frame Loads → Distributed ...
- Barras inclinadas: cargas en ejes locales y proyectadas.

8. Definición de cargas y asignación a barras

CARGA LH3i = H3i: Empuje al reposo del terreno sobre el marco en el hastial de la izquierda.

$$Q_{\text{unifor}} = 0.50 \cdot (54.35 + 20 \cdot 0.70/2) = 30.68 \text{ kN/m}$$

$$Q_{\text{triang}} = 0.50 \cdot 20 \cdot 5.20 = 52.00 \text{ kN/m (valor máximo)}$$

Tipo	Int.	Direcc.	Barras
Unif.	30.68	X	1
Triáng.	52.00	X	1

CARGA LH3d = H3d: Empuje al reposo del terreno sobre el marco en el hastial de la derecha. Similar a la anterior.

Tipo	Int.	Direcc.	Barras
Unif.	-30.68	X	2
Triáng.	-52.00	X	2

8. Definición de cargas y asignación a barras

CARGA LH4 = H4: Empuje en el hastial izquierdo y derecho debido a la sobrecarga distribuida que actúa en el trasdós. Se calcula la carga actuante en la zona de influencia del carril virtual 1 a la altura del eje de la losa superior. Consideramos un ángulo de reparto en profundidad de 35° (con la vertical).

$$Q_{\text{unifor}} = 0.50 \cdot (4.60) = 2.30 \text{ kN/m}$$

Tipo	Int.	Direcc.	Barras
Unif.	2.30	X	1
Unif.	-2.30	X	2

8. Definición de cargas y asignación a barras

CARGA LH5i = H5i: Empuje en el hastial izquierdo debido a la sobrecarga de los carros que actúan en el trasdós. Se calcula la carga actuante en la zona de influencia del carril virtual 1 a la altura del eje de la losa superior. Consideramos un ángulo de reparto en profundidad de 35° (con la vertical). Se calcula la carga atenuada que correspondería a los 10 kN/m² y le restamos la de la H4.

$$Q_{\text{unifor}} = 0.50 \cdot (7.25 - 4.60 \text{ (de H4)}) = 1.33 \text{ kN/m}$$

Tipo	Int.	Direcc.	Barras
Unif.	1.33	X	1

CARGA LH5d = H5d: Ídem que la anterior pero en el hastial de la derecha.

Tipo	Int.	Direcc.	Barras
Unif.	-1.33	X	2

8. Definición de cargas y asignación a barras

CARGA LSUdist: Sobrecarga de tráfico distribuida sobre la losa superior. Se calcula la carga actuante en la zona de influencia del carril virtual 1 a la altura del eje de la losa superior. Consideramos un ángulo de reparto en profundidad de 35° (con la vertical).

Tipo	Int.	Direcc.	Barras
Unif.	-4.60	Z	3

8. Definición de cargas y asignación a barras

CARGA LSUcarrosizq: Sobrecarga de tráfico debida a los carros sobre la losa superior. Se calcula la carga actuante en la zona de influencia del carril virtual 1 a la altura del eje de la losa superior. Consideramos un ángulo de reparto en profundidad de 35° (con la vertical). Carga descentrada hacia la izquierda.

Tipo	Int.	Direcc.	Ubicación	Barras
Tramo	-23.49	Z	0.0 – 5.59	3

8. Definición de cargas y asignación a barras

CARGA LSUcarros: Sobrecarga de tráfico debida a los carros sobre la losa superior. Se calcula la carga actuante en la zona de influencia del carril virtual 1 a la altura del eje de la losa superior. Consideramos un ángulo de reparto en profundidad de 35° (con la vertical). Carga centrada sobre la losa superior.

Tipo	Int.	Direcc.	Ubicación	Barras
Tramo	-23.49	Z	1.43 – 7.02	3

8. Definición de cargas y asignación a barras

CARGA LSUcarrosder: Sobrecarga de tráfico debida a los carros sobre la losa superior. Se calcula la carga actuante en la zona de influencia del carril virtual 1 a la altura del eje de la losa superior. Consideramos un ángulo de reparto en profundidad de 35° (con la vertical). Carga descentrada hacia la derecha.

Tipo	Int.	Direcc.	Ubicación	Barras
Tramo	-23.49	Z	2.86 – 8.45	3

9. Hipótesis de cargas: definición y tipos de análisis

- Define → Load Cases ...
- En este apartado se definen las hipótesis de carga.
- Cada hipótesis de carga podrá estar formada por una o más cargas (patrones de carga).
- En general, en nuestro caso usaremos una carga (patrón de carga) para cada hipótesis de carga. Estas hipótesis son añadidas automáticamente por el programa: $LH_i \rightarrow H_i$
- Sólo las siguientes hipótesis se definen como combinación de varias cargas (patrones de carga):

$$H6i = LSUdist + LSUcarrosizq$$

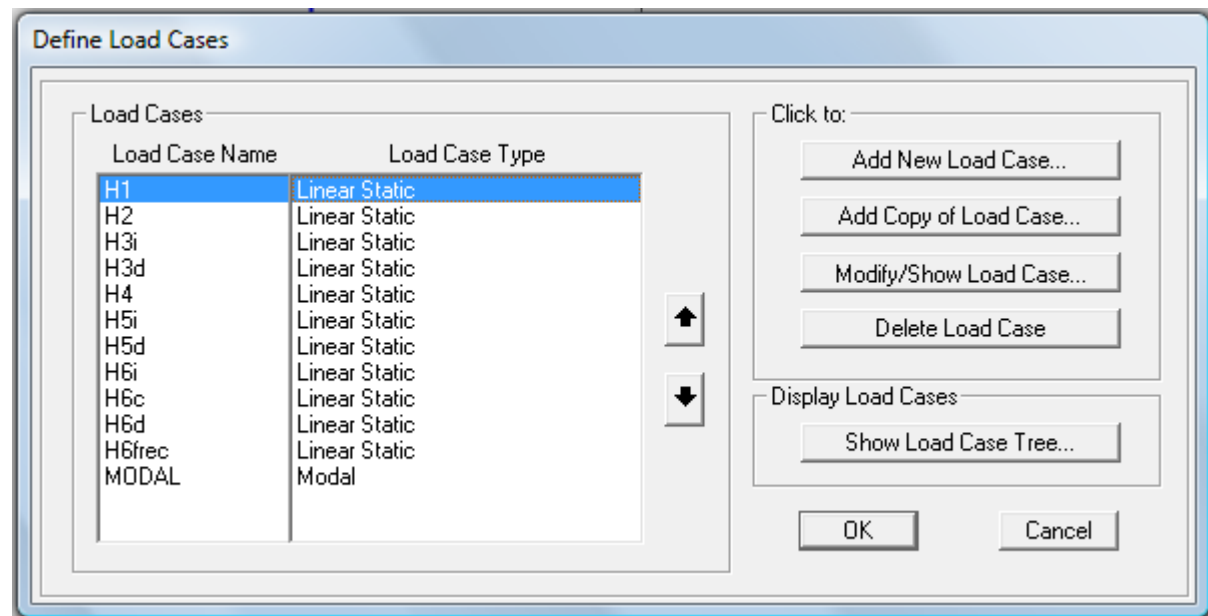
$$H6c = LSUdist + LSUcarroscen$$

$$H6d = LSUdist + LSUcarrosder$$

$$H6frec = 0.4 LSUdist + 0.75 LSUcarroscen$$

9. Hipótesis de cargas: definición y tipos de análisis

- Cuadro final de las hipótesis de carga:



10. Combinación de hipótesis de cargas

- Define → Load Combinations ...
- En nuestro caso las combinaciones son las siguientes:

	H1	H2	H3i	H3d	H4	H6frec
C1	1.35	-	-	-	-	-
C2i	1.35	1.35	1.1·1	0.9·1	-	-
C2d	1.35	1.35	0.9·1	1.1·1	-	-
C3i	1.35	1.35	1.65 ⁽¹⁾	1.35 ⁽²⁾	1.50	-
C3d	1.35	1.35	1.35 ⁽²⁾	1.65 ⁽¹⁾	1.50	-
C4⁽³⁾	1.00	1.00	1.00	1.00	-	-
C5⁽⁴⁾	-	-	-	-	-	1.00

(1) $1.65 = 1.1 \cdot 1.5$

(2) $1.35 = 0.9 \cdot 1.5$

(3) Casi-permanente: comprobación tensión terreno

(4) Frecuente: comprobación ELS deformación (flecha $\leq L/1000$)

I0. Combinación de hipótesis de cargas

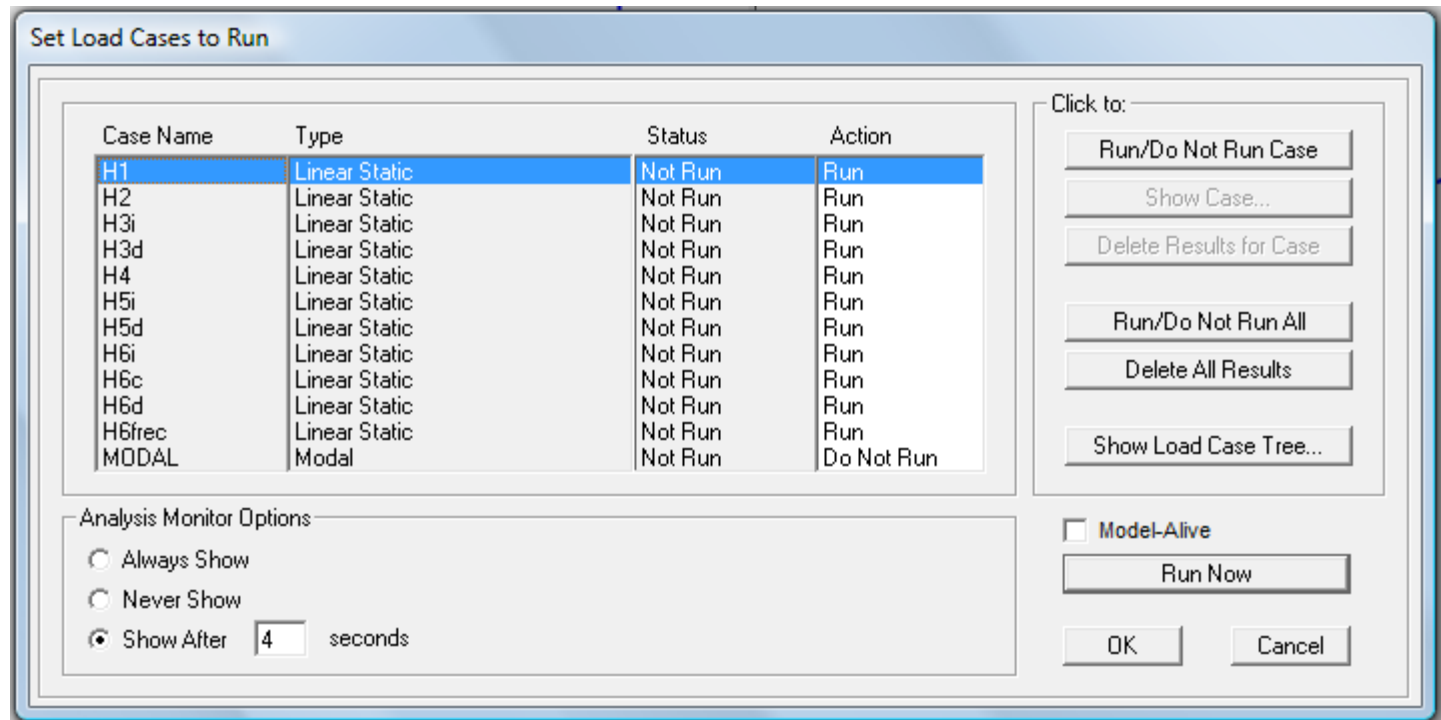
	C	H5i	H5d	H6i	H6c	H6d
C3i5i	C3i	1.50	-	-	-	-
C3d5d	C3d	-	1.50	-	-	-
C2i6i	C2i	-	-	1.35	-	-
C2d6i	C2d	-	-	1.35	-	-
C3i6i	C3i	-	-	1.35	-	-
C3d6i	C3d	-	-	1.35	-	-
C2i6c	C2i	-	-	-	1.35	-
C2d6c	C2d	-	-	-	1.35	-
C3i6c	C3i	-	-	-	1.35	-
C3d6c	C3d	-	-	-	1.35	-
C2i6d	C2i	-	-	-	-	1.35
C2d6d	C2d	-	-	-	-	1.35
C3i6d	C3i	-	-	-	-	1.35
C3d6d	C3d	-	-	-	-	1.35

10. Combinación de hipótesis de cargas

- ¿Cuál será la combinación más desfavorable para cada sección?
- ¿Qué pasaría si un muelle estuviese traccionado?

11. El cálculo y sus opciones

- Analyze → Run Analysis ... (F5)



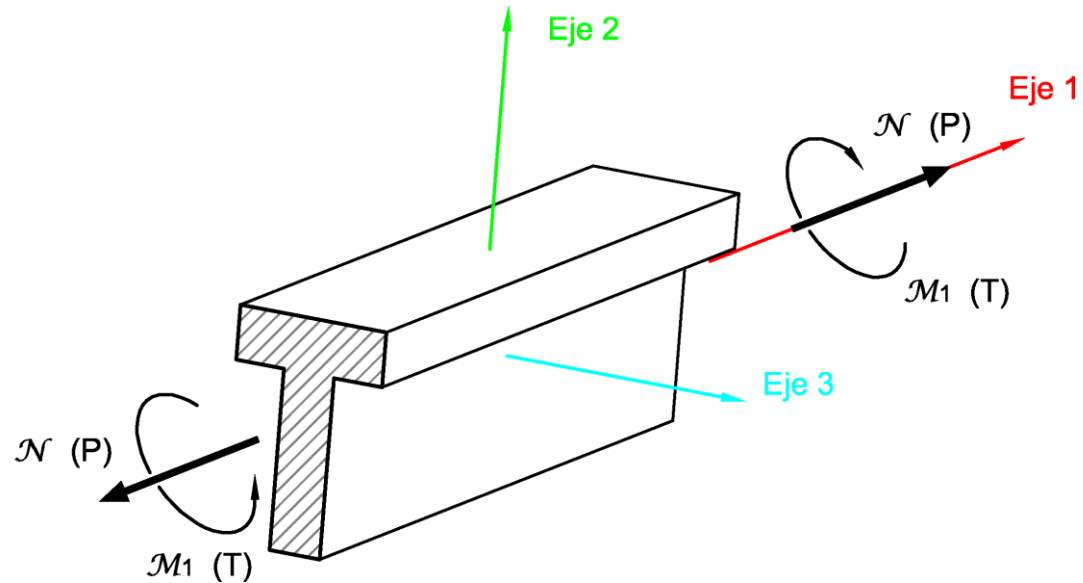
12. Salida de resultados

- a. Esfuerzos (axiales, momentos flectores y cortantes)
- b. Desplazamientos y giros
- c. Reacciones
- d. Envolventes de esfuerzos y desplazamientos
- e. Impresión gráfica en pantalla y exportación de ficheros
- f. Listados en pantalla y exportación de ficheros

12. Salida de resultados

- a. Esfuerzos (axiles, momentos flectores y cortantes)
Criterios de signos

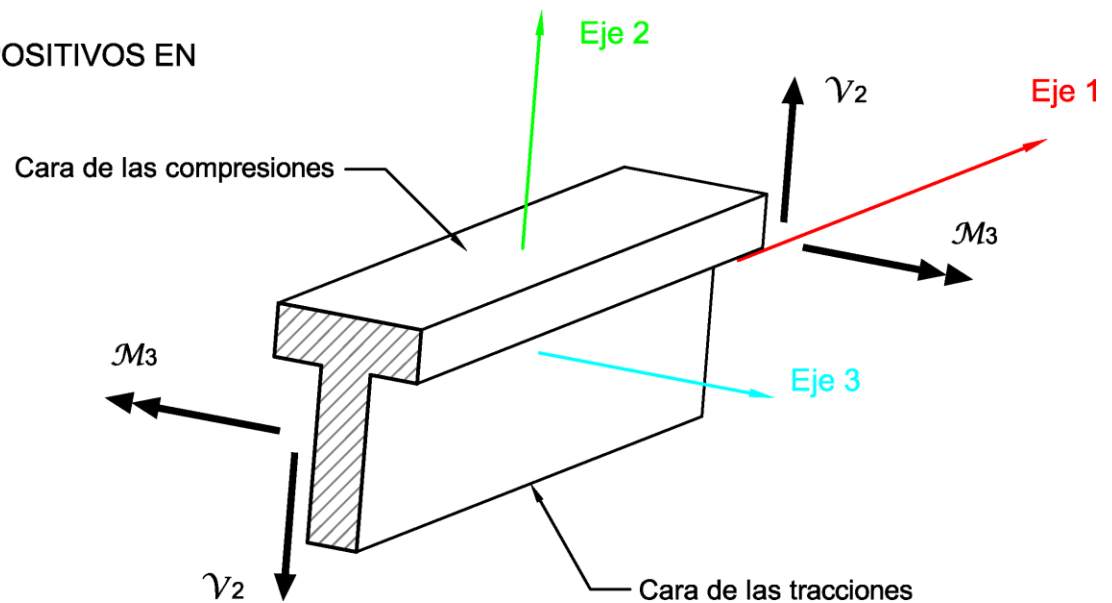
AXIL Y MOMENTO TORSOR POSITIVOS



12. Salida de resultados

- a. Esfuerzos (axiles, momentos flectores y cortantes)
Criterios de signos

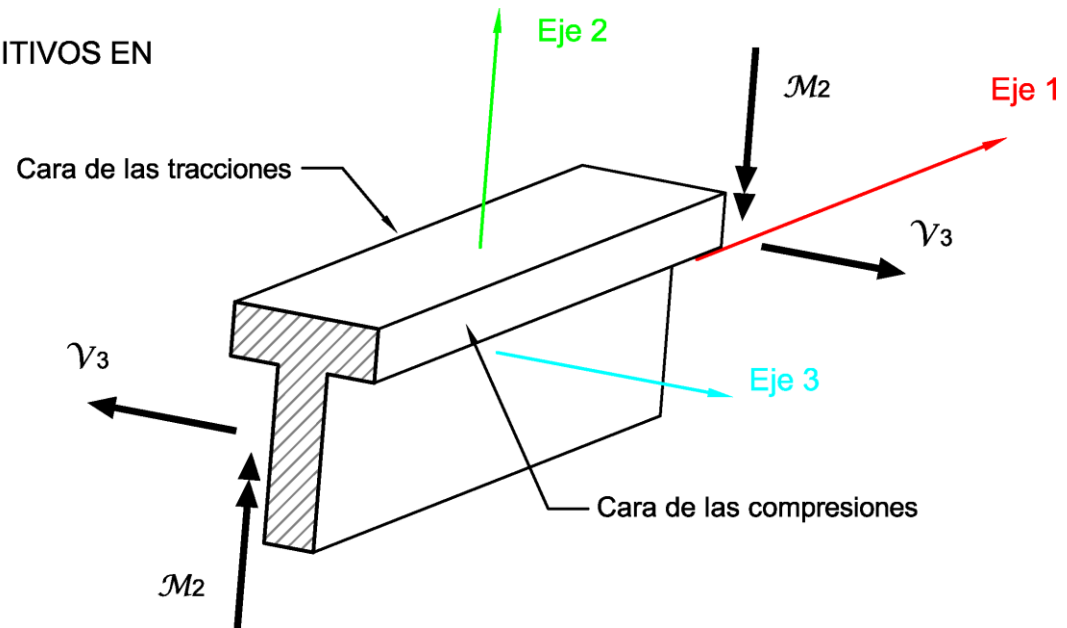
MOMENTO FLECTOR Y CORTANTE POSITIVOS EN EL PLANO 1-2



12. Salida de resultados

- a. Esfuerzos (axiales, momentos flectores y cortantes)
Criterios de signos

MOMENTO FLECTOR Y CORTANTE POSITIVOS EN
EL PLANO 1-3



12. Salida de resultados

- Gráfico de los esfuerzos en una barra y valores numéricos.
- Para mejor definición de gráficos y poder representar los máximos de las leyes de esfuerzos se puede:
 - Dividir la barra
 - “Automatic Frame Mesh”
 - Assign → Output Stations ... (recomendable)

I2. Salida de resultados

- a. Esfuerzos (axiles, momentos flectores y cortantes)
- b. Desplazamientos y giros**
- c. Reacciones
- d. Envolventes de esfuerzos y desplazamientos
- e. Impresión gráfica en pantalla y exportación de ficheros
- f. Listados en pantalla y exportación de ficheros

I2. Salida de resultados

- a. Esfuerzos (axiales, momentos flectores y cortantes)
- b. Desplazamientos y giros
- c. **Reacciones**
- d. Envolventes de esfuerzos y desplazamientos
- e. Impresión gráfica en pantalla y exportación de ficheros
- f. Listados en pantalla y exportación de ficheros

I2. Salida de resultados

- a. Esfuerzos (axiales, momentos flectores y cortantes)
- b. Desplazamientos y giros
- c. Reacciones
- d. Envoltentes de esfuerzos y desplazamientos**
- e. Impresión gráfica en pantalla y exportación de ficheros
- f. Listados en pantalla y exportación de ficheros

I2. Salida de resultados

- a. Esfuerzos (axiles, momentos flectores y cortantes)
- b. Desplazamientos y giros
- c. Reacciones
- d. Envolventes de esfuerzos y desplazamientos
- e. **Impresión gráfica en pantalla y exportación de ficheros**
- f. Listados en pantalla y exportación de ficheros

12. Salida de resultados

- a. Esfuerzos (axiles, momentos flectores y cortantes)
- b. Desplazamientos y giros
- c. Reacciones
- d. Envolventes de esfuerzos y desplazamientos
- e. Impresión gráfica en pantalla y exportación de ficheros
- f. **Listados en pantalla y exportación de ficheros**

13. Diseño

Concrete Frame Design Preferences for Eurocode 2-2004

	Item	Value
1	Design Code	Eurocode 2-2004
2	Country	LEN Default
3	Combinations Equation	Eq. 6.10
4	Reliability Class	Class 2
5	Second Order Method	Nominal Curvature
6	Multi-Response Case Design	Envelopes
7	Number of Interaction Curves	24
8	Number of Interaction Points	11
9	Consider Minimum Eccentricity?	Yes
10	Theta0 (ratio)	5.000E-03
11	GammaS (steel)	1.15
12	GammaC (concrete)	1.5
13	AlphaCC (compression)	1.
14	AlphaCT (tension)	1.
15	AlphaLCC (lightweight compression)	0.85
16	AlphaLCT (lightweight tension)	0.85
17	Pattern Live Load Factor	0.75
18	Utilization Factor Limit	0.95

Item Description

The selected design code.
Subsequent design is based on this selected code.

Explanation of Color Coding for Values

- Blue:** Default Value
- Black:** Not a Default Value
- Red:** Value that has changed during the current session

Set To Default Values

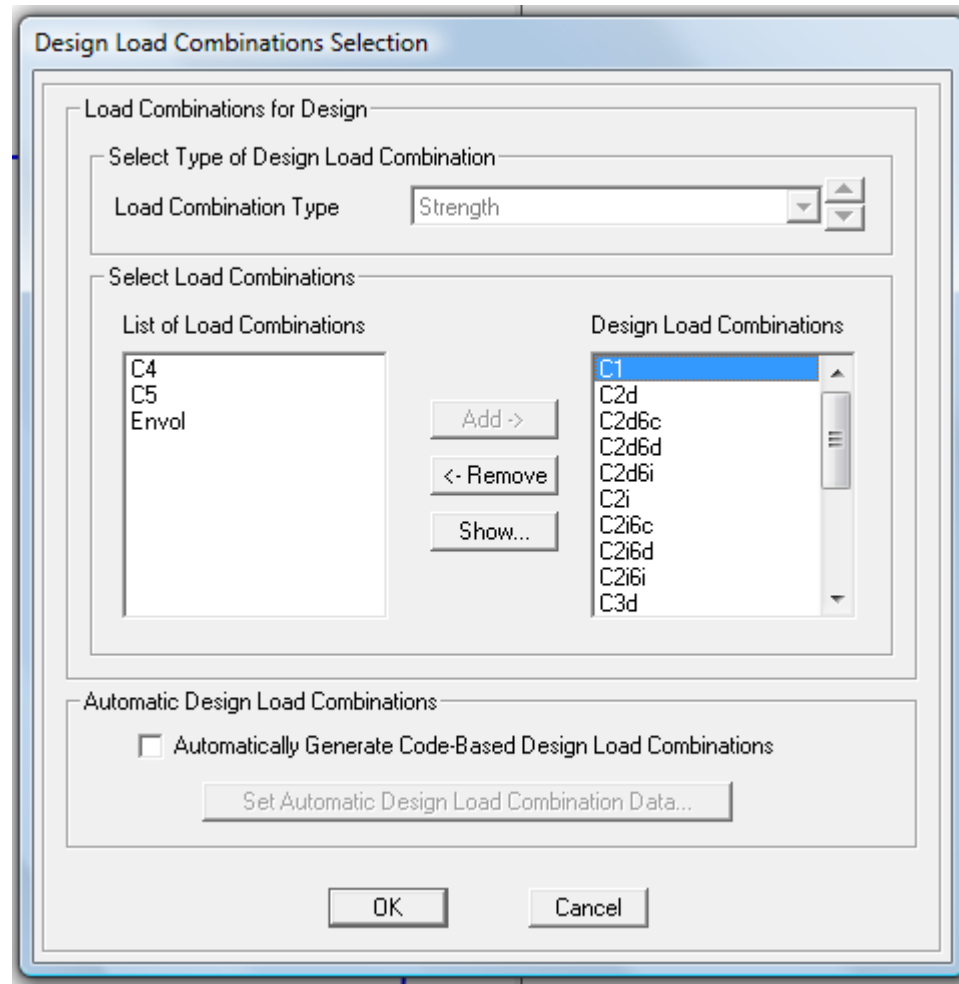
All Items Selected Items

Reset To Previous Values

All Items Selected Items

OK Cancel

13. Diseño



13. Diseño

- Limitaciones del diseño
- Beam:
 - Sólo calcula según el momento mayor M3
 - Hace un cálculo en cada “Output Station”
- Column:
 - barras a flexocompresión esviada (P, M2 y M3)
 - Hace el cálculo en cada “Output Station”
 - Tiene en cuenta el pandeo
 - No toma los momentos del “Output Station” en cuestión sino de los extremos de la barra.
 - Solución: dividir la barra.

14. El menú ayuda

- **Ayuda interna (FI)**
 - Bastante completa
 - Incluye problemas tipo
- **Manuales PDF**
 - Manuales de referencia con diversos niveles de profundidad
 - Tutorial
 - Etc.

MÓDULO 2

CÁLCULO DE LA ESTRUCTURA DE UN EDIFICIO EN ZONA SÍSMICA MEDIANTE UN MODELO DE BARRAS EN 3D

**MÓDULO 2: CÁLCULO DE LA ESTRUCTURA DE UN EDIFICIO EN ZONA
SÍSMICA MEDIANTE UN MODELO DE BARRAS EN 3D**

DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO:

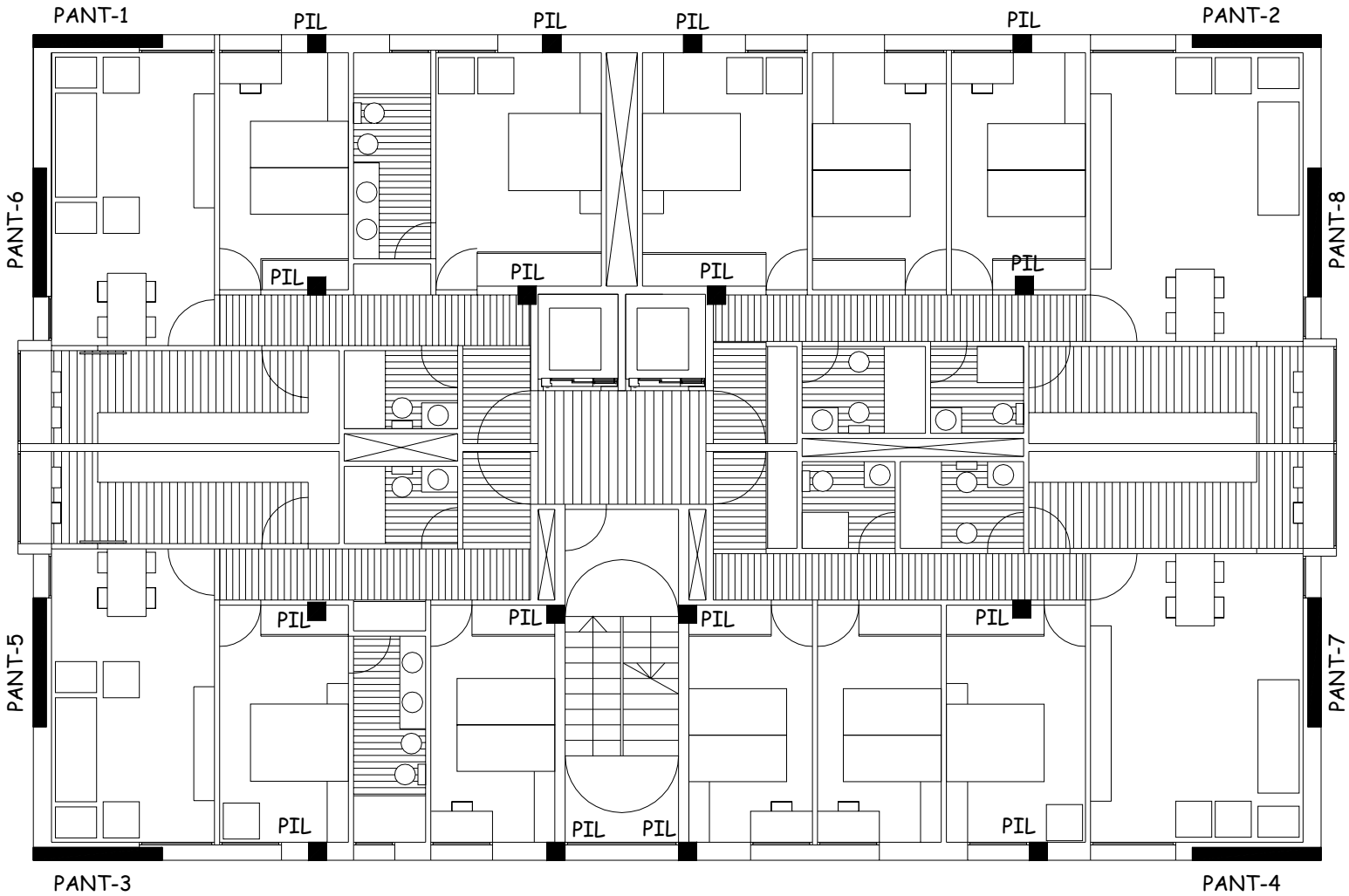
- Edificio de 5 alturas (PB+4). Uso viviendas. Granada capital.
- Dimensiones en planta del edificio: 26.00mx16.00m.
- Forjado unidireccional canto 30cm (25+5). Peso: 3.50kN/m²
- CP planta viviendas: 1.50kN/m²
- Tabiquería: 1.00kN/m²
- CP cubierta: 2.00 kN/m²
- Cerramientos de fachada 7.0 kN/m (se desprecia el peso de los cerramientos interiores)
- Pretil cubierta: 2.5kN/m
- Existirá un torreón de acceso a cubierta, pero lo despreciamos a efectos de cálculo
- SC uso viviendas (CTE-DB-SE-AE): 2.00kN/m²
- SC uso cubierta (CTE-DB-SE-AE): 1.00kN/m² (acceso privado)
- SC nieve (CTE-DB-SE-AE): 0.50kN/m²
- Acciones térmicas (aumento o descenso de temperatura) y reológicas (retracción y fluencia): siguiendo el Código Técnico de la Edificación (CTE) al tener el edificio unas dimensiones en planta menores de 40m, son despreciables.
- Dimensiones de pilares: 35cmx35cm en planta baja y primera, 30cmx30cm en el resto
- Dimensiones de pantallas: 8 pantallas de 0.25mx2.50m
- Pórticos de carga en dirección larga del edificio. Pórticos de arriostramiento en la dirección corta. Vigas de carga (anchoxcanto): 70cmx30cm interiores, 60x30 fachada. Vigas de arriostramiento 50cmx30cm (anchoxcanto)
- Viento (CTE-DB-SE-AE):
 - Presión estática: $q_e = q_b * c_e * c_p$
 - Succión estática: $q_e = q_b * c_e * c_s$
 - Dirección X en planta (esbeltez = 16m/26m = 0.62):
 - Presión estática: $q_e = q_b * c_e * c_p = 0.50\text{kN/m}^2 * 2.0 * 0.75 = 0.75\text{kN/m}^2$
 - Succión estática: $q_e = q_b * c_e * c_p = 0.50\text{kN/m}^2 * 2.0 * 0.4 = 0.4\text{kN/m}^2$
 - Dirección Y en planta (esbeltez = 16m/16m = 1.0):
 - Presión estática: $q_e = q_b * c_e * c_p = 0.50\text{kN/m}^2 * 2.0 * 0.8 = 0.8\text{kN/m}^2$
 - Succión estática: $q_e = q_b * c_e * c_p = 0.50\text{kN/m}^2 * 2.0 * 0.5 = 0.5\text{kN/m}^2$

- Datos sísmicos: $a_b=0.23g$; Coeficiente de suelo: $C=1.60$ (terreno tipo III) $\rightarrow a_c = 0.27g$

En las páginas siguientes se observa la arquitectura del edificio a calcular, y la planta de estructura del edificio. Se ha representado una estructura simétrica para facilitar la realización del ejemplo en SAP2000. Es decir no es exactamente la estructura que corresponde a la arquitectura que aparece anteriormente.

26.00m

16.00m



ARQUITECTURA

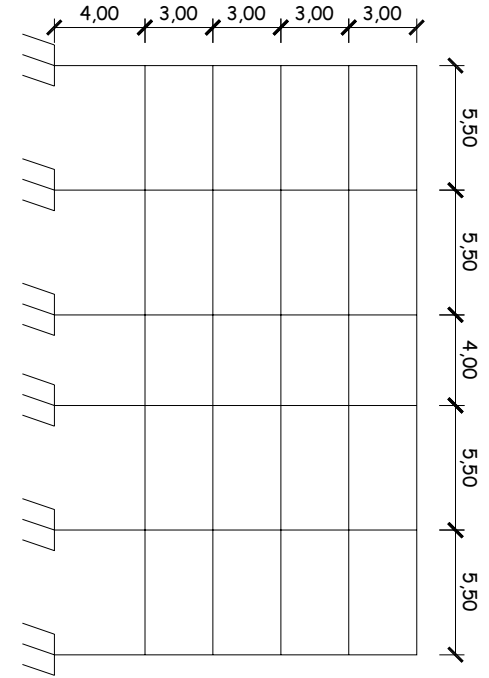
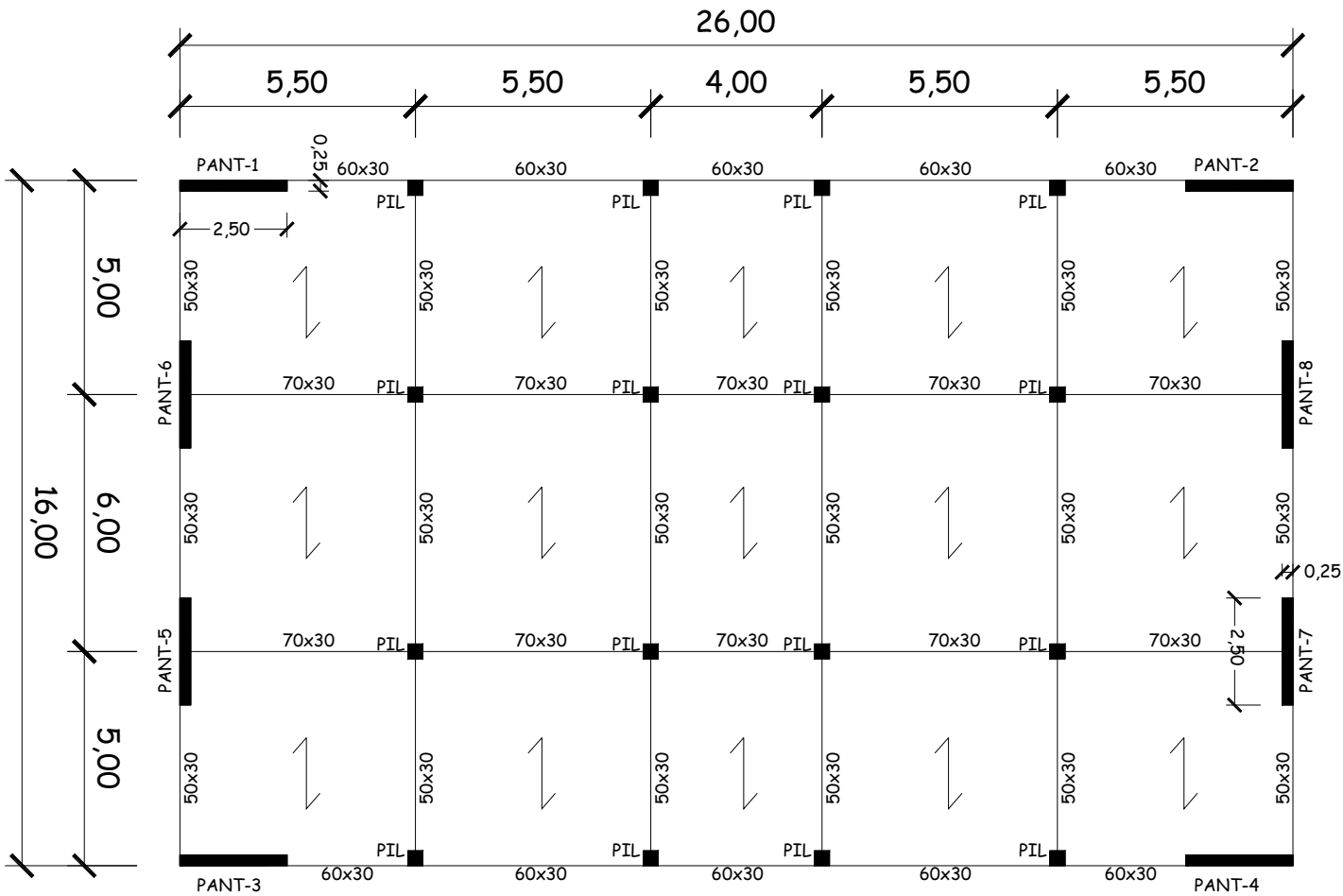
PIL = PILAR
PANT = PANTALLA ANTISÍSMICA

PANTALLAS DE 2.50m x 0.25m

FORJADO UNIDIRECCIONAL

COTAS EN METROS

PILARES 35cm x 35cm EN PLANTAS BAJA-1ª
PILARES 30cm x 30cm EN PLANTAS 2ª-3ª-4ª



ALZADO

ESTRUCTURA A CALCULAR
CON EL PROGRAMA SAP2000

1. SELECCIÓN DE UNIDADES

Tenemos que seleccionar las unidades de Fuerza, Distancia y Temperatura

- Pestaña inferior derecha de la pantalla → Seleccionamos Kn, m, C (C=grados centígrados)

2. GEOMETRÍA DEL MODELO

La geometría del modelo se puede generar con dos opciones:

- 2.1. Generación automática con la biblioteca de SAP2000. Es la opción preferible con geometrías repetitivas estándar, como la de edificios con pórticos como el nuestro.
- 2.2. Importando un fichero DXF de autocad, con la geometría de las barras ya generada. Esta opción se reservará para geometrías complejas: cubierta espacial para un edificio deportivo, por ejemplo.
- 2.1. Generación automática con la biblioteca de SAP2000

Vamos a explicar cómo se genera el edificio en 3D con la biblioteca de SAP2000.

- MENÚ SUPERIOR → File → New Model → 3D Frames → Number of Stories = 5, Number of Bays X = 5, Number of Bays Y = 3, Storey Height = 3.0, Bay width X = 5.5, Bay width Y = 5.0

El siguiente paso es llevarnos el origen de coordenadas (Ejes X, Y, Z) a una esquina del edificio, para trabajar mejor. Por ejemplo, al nudo inferior de esquina del edificio más cercano a nosotros:

- Con el cursor del ratón leemos las coordenadas del nudo inferior de esquina del edificio más cercano a nosotros ($x = -13.75$, $y = -7.50$, $z = 0$) → seleccionamos todo el modelo con el ratón haciendo una ventana de izquierda a derecha → MENÚ SUPERIOR → Edit → Move → Delta X: 13.75, Delta Y: 7.50, Delta Z: 0

Ya tenemos el origen de coordenadas en la esquina inferior del edificio, la más cercana a nosotros.

Ahora tenemos que modificar la geometría, pues la planta baja debe tener 4.0m de altura, y en direcciones X e Y hay vanos con luces distintas a las que hemos definido con el 3D Frame de la biblioteca.

Primero hacemos los pilares de planta baja de 4.0m de altura (ahora mismo tienen 3.0m):

- MENÚ SUPERIOR → Rotate 3D View (es el icono de girar) → giramos el modelo hasta verlo aproximadamente en alzado → para seleccionar adecuadamente los pilares de planta baja hacemos → MENÚ SUPERIOR → pinchamos en Perspective Toggle (gafillas) → con el ratón haciendo ventana de izquierda a derecha

seleccionamos todas las vigas del modelo, y todos los pilares del modelo menos los pilares de planta baja → Edit → Move → Delta X: 0, Delta Y: 0, Delta Z: 1

De esta manera hemos “estirado” los pilares de planta baja, que ya miden 4.0m.

A continuación, como los vanos en dirección X deben medir 5.50m+5.50m+4.00m+5.50m+5.50m, tenemos que acortar el vano central en dirección X (que todavía mide 5.50m).

- Con el ratón haciendo ventana de izquierda a derecha seleccionamos las tres columnas de pilares de la derecha del modelo, y todas las vigas pertenecientes a los dos vanos de la derecha del modelo → Edit → Move → Delta X: -1.50, Delta Y: 0, Delta Z: 0

Así hemos acortado el vano central en 1.50m y ya mide 4.00m.

Por último, como los vanos en dirección Y deben medir 5.00m+6.00m+5.00m, tenemos que alargar el vano central en dirección Y (que todavía mide 5.00m).

- MENÚ SUPERIOR → Rotate 3D View (es el icono de girar) → giramos el modelo hasta verlo aproximadamente en planta → para seleccionar adecuadamente los pilares de planta baja hacemos → MENÚ SUPERIOR → pinchamos en Perspective Toggle (gafillas) → con el ratón haciendo ventana de izquierda a derecha seleccionamos todas las vigas y pilares que van desde Y=10.00m hasta Y=15.00m → Edit → Move → Delta X: 0, Delta Y: 1, Delta Z: 0

- [2.2. Generación de la geometría del modelo importando un fichero DXF de autocad](#)

3. CONDICIONES DE CONTORNO

Establecemos las condiciones de contorno del modelo, que son los empotramientos de los pilares en la cimentación.

Primero seleccionamos con el ratón los nudos inferiores de todos los pilares de planta baja:

- MENÚ SUPERIOR → Rotate 3D View (es el icono de girar) → giramos el modelo hasta verlo aproximadamente en alzado → para seleccionar adecuadamente los nudos hacemos → MENÚ SUPERIOR → pinchamos en Perspective Toggle (gafillas) → con el ratón haciendo ventana de izquierda a derecha seleccionamos todos los nudos inferiores de los pilares de planta baja → Assign → Joint → Restraints → Seleccionamos el icono de “empotrado” que aparece abajo

De esta manera tenemos los nudos ya empotrados en el encuentro de todos los pilares con la cimentación.

4. MATERIALES

SAP2000 incorpora algunos materiales con sus características. No obstante, vamos a generar las características del hormigón armado que formará las barras de nuestra estructura, que es un HA-25 ($f_{ck}=25\text{N/mm}^2$). Sus características son:

- Densidad: 2.5 T/m³
- Peso específico: $2.5 \cdot 9.8065 = 24.51625\text{kN/m}^3$
- Módulo de elasticidad (art. 39.6 de la EHE-08) → tomamos el módulo de deformación longitudinal secante a 28 días → $E_{cm} = 8500 \cdot (f_{cm})^{1/3} = 8500 \cdot (f_{ck} + 8)^{1/3} = 8500 \cdot (25 + 8)^{1/3} = 27264.04\text{N/mm}^2 = 27264042\text{ kN/m}^2$
- Coeficiente de Poisson (art. 39.9 de la EHE-08) → $\mu = 0.20$
- Coeficiente de dilatación térmica (art. 39.10 de la EHE-08) → $\alpha = 1 \cdot 10^{-5}$
- Módulo de elasticidad transversal (o módulo de cortante) → $G = E / [2 \cdot (1 + \mu)] = 27264042\text{kN/m}^2 / [2 \cdot (1 + 0.20)] = 11360018\text{ kN/m}^2$

Introducimos estos datos en SAP2000:

- MENÚ SUPERIOR → Define → Materials → Add New Material → en “Region” ponemos “User” → en “Material Type” pinchamos en “Concrete” → OK → en “Material Name” ponemos “HA-25” Weight and Mass” ponemos 24,51625 → en “Isotropic Property Data” vamos introduciendo los valores anteriores (ver cuadro inferior). Arriba a la derecha podemos seleccionar el color del material con “Display Color”. El resto de opciones del menú es para dimensionar el armado, pero como SAP2000 no incorpora la EHE-08, tendremos que calcular el armado con otro programa (por ejemplo con el Prontuario Informático del Hormigón).

The image shows a screenshot of the 'Material Property Data' dialog box in SAP2000. The dialog is titled 'Material Property Data' and contains several sections for defining material properties. The 'General Data' section includes 'Material Name and Display Color' (HA-25), 'Material Type' (Concrete), and 'Material Notes'. The 'Weight and Mass' section includes 'Weight per Unit Volume' (24,51625), 'Mass per Unit Volume' (2.5), and 'Units' (KN, m, C). The 'Isotropic Property Data' section includes 'Modulus of Elasticity, E' (27264042), 'Poisson's Ratio, U' (0,2), 'Coefficient of Thermal Expansion, A' (1,1E-05), and 'Shear Modulus, G' (11360018). The 'Other Properties for Concrete Materials' section includes 'Specified Concrete Compressive Strength, f'c' (20684,274) and a checkbox for 'Lightweight Concrete'. At the bottom, there is a checkbox for 'Switch To Advanced Property Display' and 'OK' and 'Cancel' buttons.

5. CREACIÓN DE SECCIONES

Creamos las secciones de pilares, vigas y pantallas. Las creamos asignándoles el material HA-25 y las dimensiones de sus secciones rectangulares.

5.1. Pilares de 30x30:

- MENÚ SUPERIOR → Define → Section Properties → Frame Sections → Add New Property → en “Frame Section Property Type” pinchamos en “Concrete” → elegimos sección Rectangular → en “Section Name” ponemos “30x30” → en “Material” seleccionamos “HA-25” → Depth: 0.30 → Width: 0.30 → Seleccionamos un color en “Display Color”, por ejemplo el amarillo. En la pestaña “Section Properties” aparecen en la columna de la izquierda todas las características mecánicas de la sección: área, inercia a torsión, inercia a flexión según el eje local 3 de la barra y según el eje local 2 de la barra, área de cortante en la dirección del eje local 2 de la barra y en la dirección del eje local 3 de la barra. Los ejes locales se pueden ver con View → Set Display Options → Frames/Cables → Local Axes. El eje 1 es el rojo (lleva la dirección de la barra), el 2 el blanco y el 3 el azul. Esto es importante controlarlo, para definir las dimensiones de la sección según la orientación de cada barra en el espacio, y poder leer los esfuerzos en las barras, como se verá posteriormente.

5.2. Pilares de 35x35:

- MENÚ SUPERIOR → Define → Section Properties → Frame Sections → Add New Property → en “Frame Section Property Type” pinchamos en “Concrete” → elegimos sección Rectangular → en “Section Name” ponemos “35x35” → en “Material” seleccionamos “HA-25” → Depth: 0.35 → Width: 0.35 → Seleccionamos un color en “Display Color”, por ejemplo el rojo.

5.3. Vigas de 70x30:

- MENÚ SUPERIOR → Define → Section Properties → Frame Sections → Add New Property → en “Frame Section Property Type” pinchamos en “Concrete” → elegimos sección Rectangular → en “Section Name” ponemos “70x30” → en “Material” seleccionamos “HA-25” → Depth: 0.30 → Width: 0.70 → Seleccionamos un color en “Display Color”, por ejemplo el amarillo.

5.4. Vigas de 60x30:

- MENÚ SUPERIOR → Define → Section Properties → Frame Sections → Add New Property → en “Frame Section Property Type” pinchamos en “Concrete” → elegimos sección Rectangular → en “Section Name” ponemos “60x30” → en “Material” seleccionamos “HA-25” → Depth: 0.30 → Width: 0.60 → Seleccionamos un color en “Display Color”, por ejemplo el cian (azul celeste).

5.5. Vigas de 50x30:

- MENÚ SUPERIOR → Define → Section Properties → Frame Sections → Add New Property → en “Frame Section Property Type” pinchamos en “Concrete” → elegimos sección Rectangular → en “Section Name” ponemos “50x30” → en “Material” seleccionamos “HA-25” → Depth: 0.30 → Width: 0.50 → Seleccionamos un color en “Display Color”, por ejemplo el magenta (morado).

5.6. Pantallas antisísmicas en dirección X (PANT-1, PANT-2, PANT-3, PANT-4):

- MENÚ SUPERIOR → Define → Section Properties → Frame Sections → Add New Property → en “Frame Section Property Type” pinchamos en “Concrete” → elegimos sección Rectangular → en “Section Name” ponemos “25x250-X” → en “Material” seleccionamos “HA-25” → Depth: 2.50 → Width: 0.25 → Seleccionamos un color en “Display Color”, por ejemplo el gris.

5.7. Pantallas antisísmicas en dirección Y (PANT-5, PANT-6, PANT-7, PANT-8):

- MENÚ SUPERIOR → Define → Section Properties → Frame Sections → Add New Property → en “Frame Section Property Type” pinchamos en “Concrete” → elegimos sección Rectangular → en “Section Name” ponemos “25x250-Y” → en “Material” seleccionamos “HA-25” → Depth: 0.25 → Width: 2.50 → Seleccionamos un color en “Display Color”, por ejemplo el verde.

6. ASIGNACIÓN DE SECCIONES A BARRAS

A continuación asignamos las secciones creadas a las barras correspondientes del modelo.

6.1. ASIGNACIÓN DE SECCIÓN 30x30 A PILARES DE 2ª, 3ª Y 4ª PLANTAS

- MENÚ SUPERIOR → Rotate 3D View (es el icono de girar) → giramos el modelo hasta verlo aproximadamente en alzado → para seleccionar adecuadamente los pilares hacemos → MENÚ SUPERIOR → pinchamos en Perspective Toggle (gafillas) → con el ratón haciendo ventana de derecha a izquierda (tocando, como en AUTOCAD) seleccionamos los pilares de 2ª planta, de 3ª planta y de 4ª planta → Assign → Frame → Frame Sections → 30x30.

Para ver que no nos hemos equivocado vamos a decirle al programa que nos muestre el color de las barras de 30x30 (amarillo, lo hemos definido en el punto 5.1.): MENÚ SUPERIOR → View → Set Display Options → View by Colors of → Sections → ya nos aparecen en amarillo; si además activamos el nombre de la sección en pantalla podemos ver en cada barra su sección: MENÚ SUPERIOR → View → Set Display Options → Frames/Cables/Tendons → Sections → nos aparece “30x30” en todas las barras marcadas anteriormente.

6.2. ASIGNACIÓN DE SECCIÓN 35x35 A PILARES DE BAJA Y 1ª

- MENÚ SUPERIOR → Rotate 3D View (es el icono de girar) → giramos el modelo hasta verlo aproximadamente en alzado → para seleccionar adecuadamente los pilares hacemos → MENÚ SUPERIOR → pinchamos en Perspective Toggle (gafillas) → con el ratón haciendo ventana de derecha a izquierda (tocando, como en AUTOCAD) seleccionamos los pilares de planta baja y 1 → Assign → Frame → Frame Sections → 35x35.

6.3. ASIGNACIÓN DE SECCIÓN 70x30 A VIGAS DE CARGA INTERIORES

- MENÚ SUPERIOR → Rotate 3D View (es el icono de girar) → giramos el modelo hasta verlo aproximadamente en alzado → para seleccionar adecuadamente los pilares hacemos → MENÚ SUPERIOR → pinchamos en Perspective Toggle (gafillas) → con el ratón haciendo ventana de izquierda a derecha a izquierda (abarcando con la ventana) vamos seleccionando todas las vigas de todas las plantas. Ahora vamos decirle al programa que nos muestre en pantalla sólo lo que hemos seleccionado, que son todas las vigas del modelo → View → Show Selection Only → Ahora con el Rotate 3D y las gafillas giramos el modelo hasta verlo en planta → Seleccionamos con el ratón y ventana las vigas interiores de todas las plantas → Assign → Frame → Frame Sections → 70x30

6.4. ASIGNACIÓN DE SECCIÓN 60x30 A VIGAS DE CARGA DE FACHADA

Con el modelo visto en planta sin pilares, seleccionamos con el ratón y ventana las vigas de fachada de todas las plantas → Assign → Frame → Frame Sections → 60x30

6.5. ASIGNACIÓN DE SECCIÓN 50x30 A VIGAS DE ARRIOSTRAMIENTO EN LA DIRECCIÓN DEL FORJADO UNIDIRECCIONAL

Con el modelo visto en planta sin pilares, seleccionamos con el ratón y ventana las vigas de arriostramiento de todas las plantas → Assign → Frame → Frame Sections → 50x30

6.6. ASIGNACIÓN DE SECCIÓN 25x250-X A LAS PANTALLAS ANTISÍSMICAS EN DIRECCIÓN X (PANT-1, PANT-2, PANT-3, PANT-4)

Le decimos al programa que nos muestre de nuevo todas las barras del modelo:

- MENÚ SUPERIOR → View → Show All

Ahora giramos el modelo y lo vemos en alzado, de manera que podamos seleccionar las barras pertenecientes a las pantallas PANT-1, PANT-2, PANT-3 Y PANT-4 de todas las plantas Assign → Frame → Frame Sections → 25x250-X

6.7. ASIGNACIÓN DE SECCIÓN 25x250-Y A LAS PANTALLAS ANTISÍSMICAS EN DIRECCIÓN Y (PANT-5, PANT-6, PANT-7, PANT-8)

Le decimos al programa que nos muestre de nuevo todas las barras del modelo:

- MENÚ SUPERIOR → View → Show All

Ahora giramos el modelo y lo vemos en alzado, de manera que podamos seleccionar las barras pertenecientes a las pantallas PANT-5, PANT-6, PANT-7 Y PANT-8 de todas las plantas Assign → Frame → Frame Sections → 25x250-Y

Ya tenemos asignadas las secciones a todas las barras.

Con la siguiente opción podemos ver las barras del modelo en su verdadera magnitud, con un sombreado sólido:

- MENÚ SUPERIOR → View → Set Display Options → General → Extrude View

7. CREACIÓN DE DIAFRAGMAS RÍGIDOS DE FORJADOS

El modelo que hemos creado en este edificio no incluye los forjados. No importa, pues dichos forjados se calcularán aparte, como forjados unidireccionales, sometidos a las acciones gravitatorias correspondientes.

No obstante, con objeto de simular la rigidez casi infinita de cada planta de forjado en su plano ante acciones horizontales de viento y de sismo, necesitamos imponer una condición cinemática en cada planta, y es que todos los nudos de dicha planta se desplacen horizontalmente como pertenecientes a un sólido rígido en ese plano.

Para ello hacemos lo siguiente:

- MENÚ SUPERIOR → Rotate 3D View (es el icono de girar) → giramos el modelo hasta verlo aproximadamente en alzado → seleccionamos con el ratón todos los nudos del modelo, de todas las plantas (los nudos de cimentación no hace falta) → Assign → Joint → Constraints → Choose Constraint Type to Add → Diaphragm → Add New Constraint → en “Constraint Name” escribimos “FORJADOS” → pinchamos en “Z Axis” y pinchamos también en “Assign a different diaphragm constraint to each different selected Z level”

Ya hemos creado los diafragmas rígidos en todas las plantas. Cuando el programa crea estos diafragmas los mete en unas entidades que llevan el nombre con el que hemos definido a los diafragmas (“FORJADOS” en nuestro caso) y le añade la altura a la que se sitúa el diafragma con respecto a la cota cero.

Si hacemos:

- MENÚ SUPERIOR → Display → Show Misc Assigns → Joint → Constraints → FORJADOS_13 → vemos en pantalla resaltados los nudos que pertenecen a este diafragma, que está a cota Z=13.00m

8. MODELIZACIÓN DE EXTREMOS RÍGIDOS EN LAS VIGAS QUE SE EMPOTRAN ALINEADAS CON LAS PANTALLAS

En nuestro modelo de barras las pantallas antisísmicas se representan también como barras verticales, pero realmente las vigas que se empotran en ellas son más cortas de lo que se refleja en el modelo. Por tanto hay que asignar a las vigas conectadas con pantallas un extremo rígido, que modelice que en esa zona la viga pertenece al macizo rígido que es el cuerpo de la pantalla. La longitud de ese extremo rígido va desde el borde en el que la viga se empotra con la pantalla en la situación real del edificio, hasta el eje de la barra que modeliza la pantalla en nuestro modelo.

8.1. CREACIÓN DE EXTREMOS RÍGIDOS EN LA UNIÓN DE VIGAS DE CARGA DE 60X30 DE FACHADA QUE SE ENLAZAN CON PANTALLAS PANT-1 Y PANT-3

- Giramos el modelo hasta verlo en planta → Seleccionamos con el ratón las vigas que se enlazan con las pantallas PANT-1 y PANT-3 → Assign → Frame → End (Length) Offsets → Define Lengths → End-I = 2.5 → Rigid-zone factor = 1.0 (0 es sin rigidez ninguna, 1.0 es con rigidez total).

Vemos que en el modelo se han marcado en verde estos extremos rígidos.

8.2. CREACIÓN DE EXTREMOS RÍGIDOS EN LA UNIÓN DE VIGAS DE CARGA DE 60X30 DE FACHADA QUE SE ENLAZAN CON PANTALLAS PANT-2 Y PANT-4

- Giramos el modelo hasta verlo en planta → Seleccionamos con el ratón las vigas que se enlazan con las pantallas PANT-2 y PANT-4 → Assign → Frame → End (Length) Offsets → Define Lengths → End-J = 2.5 → Rigid-zone factor = 1.0

Vemos que en el modelo se han marcado en verde estos extremos rígidos.

8.3. CREACIÓN DE EXTREMOS RÍGIDOS EN LA UNIÓN DE VIGAS DE ARRIOSTRAMIENTO DE 50X30 DE FACHADA QUE SE ENLAZAN CON PANTALLAS PANT-5, PANT-6, PANT-7 Y PANT-8

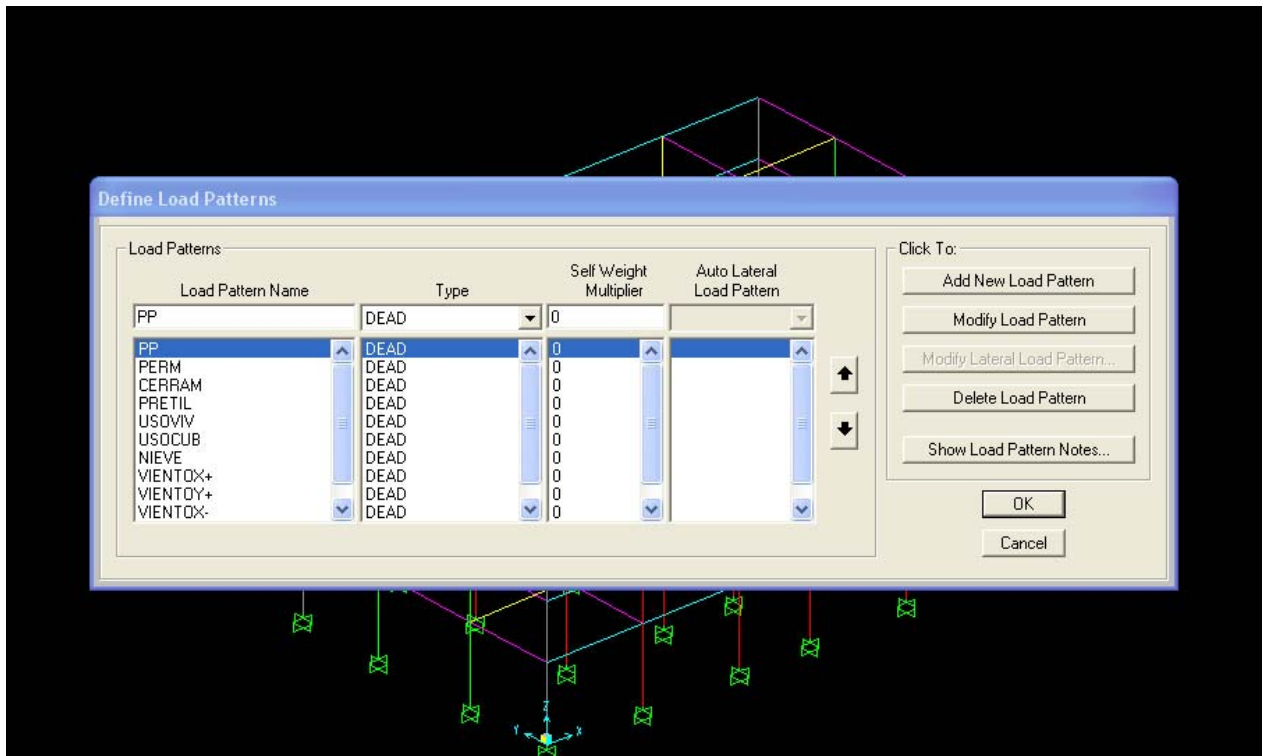
- Giramos el modelo hasta verlo en planta → Seleccionamos con el ratón todas las vigas y pilares de los dos pórticos extremos en la dirección Y (los situados en X=0 y en X=26m) → View → Show Selection Only → Seleccionamos las vigas afectadas a cada lado de PANT-5, PANT-6, PANT-7 y PANT-8, y le asignamos 1.25m de zona rígida a cada lado de la pantalla con factor = 1.0, como se ha hecho en los apartados 8.1 y 8.2.

9. DEFINICIÓN DE TIPOS DE CARGAS

Las definimos así:

Peso propio de estructura (pilares, vigas y pantallas antisísmicas):

- MENÚ SUPERIOR → Define → Load Patterns → En “Load Pattern Name” ponemos “PP” → en “Type” dejamos “DEAD” por defecto → en “Self Weight Multiplier” tenemos que poner “0” → “Add New Load Pattern”



Hacemos exactamente lo mismo con el resto de cargas, que las llamaremos:

- Permanentes de forjados (donde meteremos el peso propio de los forjados + acabados + tabiquería) → PERM
- Cerramientos de fachada → CERRAM
- Pretil de cubierta → PRETIL
- Sobrecarga de uso en viviendas → USOVIV
- Sobrecarga de uso en cubierta → USOCUB
- Nieve → NIEVE
- Viento en dirección X positivo → VIENTOX+
- Viento en dirección y positivo → VIENTOY+
- Viento en dirección X negativo → VIENTOX-
- Viento en dirección y negativo → VIENTOY-

Borramos además el caso “DEAD” que aparece siempre por defecto al abrir el programa.

10. ASIGNACIÓN DE CARGAS A BARRAS

Antes de nada vamos a agrupar ciertas barras en grupos, que nos servirán para poder asignar con mayor comodidad las cargas.

Definiremos los siguientes grupos, con los siguientes nombres:

- Vigas de carga interiores → VCINT
- Vigas de carga de fachada → VCFACH
- Vigas de arriostamiento de fachada → VAFACH
- Pantallas antisísmicas en dirección X → PANT-X
- Pantallas antisísmicas en dirección Y → PANT-Y

Para definir el grupo VCINT (vigas de carga interiores) hacemos lo siguiente:

- MENÚ SUPERIOR → Define → Groups → Add New Group → en “Group Name” ponemos “VCINT” (dejamos el resto de opciones por defecto)

Definimos el resto de grupos: VCFACH, VAFACH, PANT-X, PANT-Y del mismo modo (el programa le va asignando colores por si los queremos identificar en pantalla).

Añadimos las vigas de carga interiores al grupo VCINT:

- MENÚ SUPERIOR → Select → Select → Properties → Frame Sections → 70x30 → OK (se resaltan en pantalla las barras con estas secciones) → Assign → Assign to Group → VCINT → OK

Añadimos las vigas de carga de fachada al grupo VCFACH:

- MENÚ SUPERIOR → Select → Select → Properties → Frame Sections → 60x30 → OK (se resaltan en pantalla las barras con estas secciones) → Assign → Assign to Group → VCFACH → OK

Añadimos las vigas de arriostamiento de fachada al grupo VAFACH:

- Seleccionamos con el ratón estas vigas → Assign → Assign to Group → VAFACH → OK

Añadimos las pantallas antisísmicas en dirección X al grupo PANT-X:

- Seleccionamos con el ratón estas barras → Assign → Assign to Group → PANT-X → OK

Añadimos las pantallas antisísmicas en dirección Y al grupo PANT-Y:

- Seleccionamos con el ratón estas barras → Assign → Assign to Group → PANT-Y → OK

10.1. VALORES NUMÉRICOS DE LAS CARGAS A INTRODUCIR

Se asignarán las siguientes cargas lineales a las siguientes barras:

- PP (peso propio de pilares, vigas y pantallas antisísmicas) → en todas las barras (lo hace automáticamente el programa)
- PERM (peso propio de los forjados + acabados + tabiquería):
 - VCINT de plantas de vivienda → $(3.5+1.5+1)\text{kN/m}^2 * (5.00\text{m}/2 + 6.00\text{m}/2) = 33\text{kN/m}$
 - VCFACH de plantas de vivienda → $(3.5+1.5+1)\text{kN/m}^2 * (5.00\text{m}/2) = 15\text{kN/m}$
 - VCINT de cubierta → $(3.5+2.0)\text{kN/m}^2 * (5.00\text{m}/2 + 6.00\text{m}/2) = 30.25\text{kN/m}$
 - VCFACH de cubierta → $(3.5+2.0)\text{kN/m}^2 * (5.00\text{m}/2) = 13.75\text{kN/m}$
- CERRAM (cerramiento en planta de viviendas) → en VCFACH y VAFACH de plantas de vivienda → 7.0kN/m
- PRETIL (pretil en cubierta) → en VCFACH y VAFACH de cubierta → 2.5kN/m
- USOVIV (sobrecarga de viviendas):
 - VCINT de plantas de vivienda → $2.0\text{kN/m}^2 * (5.00\text{m}/2 + 6.00\text{m}/2) = 11\text{kN/m}$
 - VCFACH de plantas de vivienda → $2.0\text{kN/m}^2 * (5.00\text{m}/2) = 5.0\text{kN/m}$
- USOCUB (sobrecarga de cubiertas):
 - VCINT de cubierta → $1.0\text{kN/m}^2 * (5.00\text{m}/2 + 6.00\text{m}/2) = 5.5\text{kN/m}$
 - VCFACH de cubierta → $1.0\text{kN/m}^2 * (5.00\text{m}/2) = 2.5\text{kN/m}$
- NIEVE (en cubierta):
 - VCINT de cubierta → $0.50\text{kN/m}^2 * (5.00\text{m}/2 + 6.00\text{m}/2) = 2.75\text{kN/m}$
 - VCFACH de cubierta → $0.50\text{kN/m}^2 * (5.00\text{m}/2) = 1.25\text{kN/m}$
- VIENTOX+ (presión en pilares a barlovento, y succión en pilares a sotavento):
 - Presión en pilares de esquina fachada barlovento → $0.75\text{kN/m}^2 * (5.00\text{m}/2) = 1.875\text{kN/m}$
 - Succión en pilares de esquina fachada sotavento → $0.4\text{kN/m}^2 * (5.00\text{m}/2) = 1.0\text{kN/m}$
 - Presión en pilares interiores fachada barlovento → $0.75\text{kN/m}^2 * (5.00\text{m}/2 + 6.00\text{m}/2) = 4.125\text{kN/m}$
 - Succión en pilares interiores fachada sotavento → $0.4\text{kN/m}^2 * (5.00\text{m}/2 + 6.00\text{m}/2) = 2.2\text{kN/m}$
- VIENTOY+ (presión en pilares a barlovento, y succión en pilares a sotavento):
 - Presión en pilares de esquina fachada barlovento → $0.8\text{kN/m}^2 * (5.50\text{m}/2) = 2.2\text{kN/m}$
 - Succión en pilares de esquina fachada sotavento → $0.5\text{kN/m}^2 * (5.50\text{m}/2) = 1.375\text{kN/m}$
 - Presión en primer pilar interior fachada barlovento → $0.8\text{kN/m}^2 * (5.50\text{m}/2 + 5.50\text{m}/2) = 4.4\text{kN/m}$

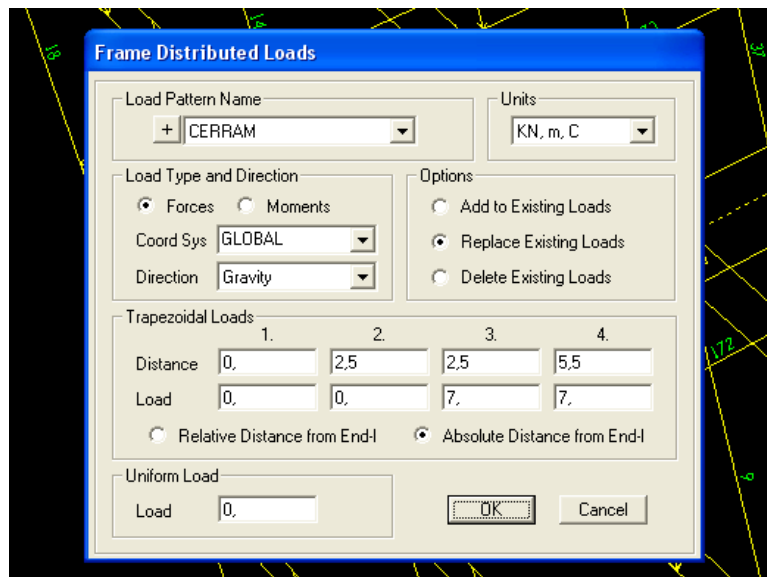
- Succión en primer pilar interior fachada sotavento $\rightarrow 0.5\text{kN/m}^2 * (5.50\text{m}/2 + 5.50\text{m}/2) = 2.75\text{kN/m}$
- Presión en 2º pilar interior fachada barlovento $\rightarrow 0.8\text{kN/m}^2 * (5.50\text{m}/2 + 4.00\text{m}/2) = 3.8\text{kN/m}$
- Succión en 2º pilar interior fachada sotavento $\rightarrow 0.5\text{kN/m}^2 * (5.50\text{m}/2 + 4.00\text{m}/2) = 2.375\text{kN/m}$
- VIENTO X- y VIENTO Y- : se aplicará como en los dos casos anteriores, pero en sentido opuesto

10.2. ASIGNACIÓN DE CARGAS A BARRAS

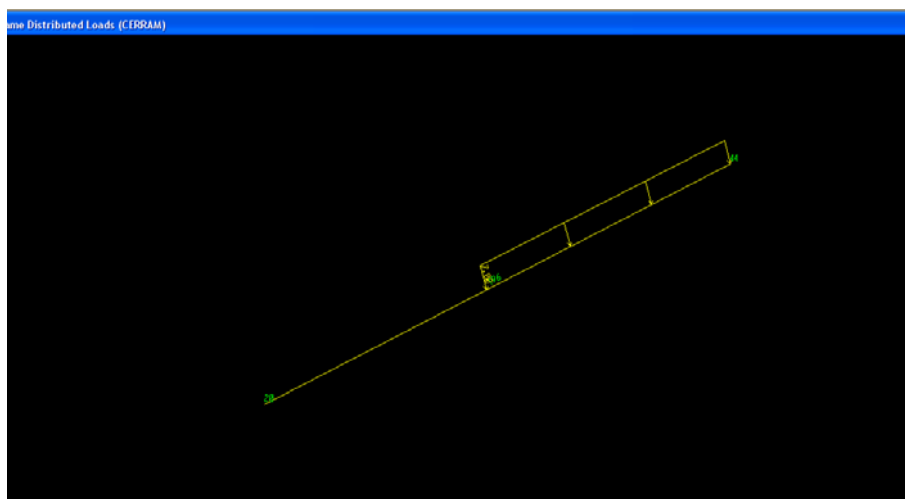
- A) Peso propio (PP): se asignará a todas las barras, de la siguiente manera:
 - Seleccionamos con el ratón todas las barras, englobándolas con una ventana \rightarrow MENÚ SUPERIOR \rightarrow Assign \rightarrow Frame Loads \rightarrow Gravity \rightarrow en "Load Pattern Name" elegimos "PP" \rightarrow en "Gravity Multipliers" ponemos en "Global Z": -1 (para decirle que es fuerza según la dirección y sentido de la gravedad, según eje Z negativo) \rightarrow OK (se resaltan en pantalla las barras con una indicación de "0,0,-1.00")
- B) Carga permanente (PERM) en vigas de carga interiores (VCINT):
 - Seleccionamos el grupo que hemos creado antes con todas las vigas interiores VCINT \rightarrow MENÚ SUPERIOR \rightarrow Select \rightarrow Select \rightarrow Groups \rightarrow VCINT \rightarrow OK (se nos resaltan en pantalla) \rightarrow View \rightarrow Show Selection Only \rightarrow Vamos a meter primero las de planta de vivienda, por tanto deseccionamos con el ratón las de cubierta \rightarrow Assign \rightarrow Frame Loads \rightarrow Distributed \rightarrow en "Load Pattern Name" elegimos "PERM" \rightarrow en "Uniform Load" ponemos "33" (dejamos por defecto el resto de opciones) \rightarrow OK \rightarrow Seleccionamos con el ratón las de cubierta \rightarrow Assign \rightarrow Frame Loads \rightarrow Distributed \rightarrow en "Load Pattern Name" elegimos "PERM" \rightarrow en "Uniform Load" ponemos "30.25" (dejamos por defecto el resto de opciones) \rightarrow OK
- C) Carga permanente (PERM) en vigas de carga de fachada (VCFACH):
 - View \rightarrow Show All (para ver de nuevo todas las barras en pantalla) \rightarrow MENÚ SUPERIOR \rightarrow Select \rightarrow Select \rightarrow Groups \rightarrow VCFACH \rightarrow OK (se nos resaltan en pantalla) \rightarrow View \rightarrow Show Selection Only \rightarrow Vamos a meter primero las de planta de vivienda, por tanto deseccionamos con el ratón las de cubierta \rightarrow Assign \rightarrow Frame Loads \rightarrow Distributed \rightarrow en "Load Pattern Name" elegimos "PERM" \rightarrow en "Uniform Load" ponemos "15" (dejamos por defecto el resto de opciones) \rightarrow OK \rightarrow Seleccionamos con el ratón las de cubierta \rightarrow Assign \rightarrow Frame Loads \rightarrow Distributed \rightarrow en "Load Pattern Name" elegimos "PERM" \rightarrow en "Uniform Load" ponemos "13.75" (dejamos por defecto el resto de opciones) \rightarrow OK
- D) Cerramientos (CERRAM) de fachada en todas la vigas de fachada de plantas de vivienda (VCFACH y VAFACH):
 - View \rightarrow Show All (para ver de nuevo todas las barras en pantalla) \rightarrow MENÚ SUPERIOR \rightarrow Select \rightarrow Select \rightarrow Groups \rightarrow VCFACH y VAFACH \rightarrow OK (se nos

resaltan en pantalla) → View → Show Selection Only → Deseleccionamos con el ratón las de cubierta → Assign → Frame Loads → Distributed → en “Load Pattern Name” elegimos “CERRAM” → en “Uniform Load” ponemos “7” (dejamos por defecto el resto de opciones) → OK

Hay un cierto error que estamos cometiendo al meter esta carga de cerramiento en toda la longitud de las vigas de fachada: las zonas que ocupan las pantallas antisísmicas no tienen cerramientos, pues están en fachada y ellas mismas hacen de cerramientos. Habría que haber cargado parcialmente con cerramiento las vigas que están en fachada y que se introducen en pantallas. Por ejemplo, en la barra 196, que enlaza nudos 20 y 44, vamos a poner realmente su carga de cerramiento: la seleccionamos con el ratón → Assign → Frame Loads → Distributed → en “Load Pattern Name” elegimos “CERRAM” → en “Trapezoidal Loads” activamos “Absolute Distance From end-I”, y rellenamos lo que viene en la siguiente figura:



Ya tenemos la carga de cerramiento como debe de estar en dicha barra:



- E) Pretiles (PRETIL) en todas las vigas de fachada de planta de cubierta (VCFACH y VAFACH):
 - View → Show All (para ver de nuevo todas las barras en pantalla) → MENÚ SUPERIOR → Select → Select → Groups → VCFACH y VAFACH → OK (se nos resaltan en pantalla) → View → Show Selection Only → Select → Clear Selection → Seleccionamos con el ratón las de cubierta → Assign → Frame Loads → Distributed → en “Load Pattern Name” elegimos “PRETIL” → en “Uniform Load” ponemos “2.5” (dejamos por defecto el resto de opciones) → OK
- F) Sobrecarga de uso en vivienda (USOVIV) en vigas de carga interiores (VCINT):
 - Seleccionamos el grupo que hemos creado antes con todas las vigas interiores VCINT → MENÚ SUPERIOR → Select → Select → Groups → VCINT → OK (se nos resaltan en pantalla) → View → Show Selection Only → Vamos a meter las de planta de vivienda, por tanto deseccionamos con el ratón las de cubierta → Assign → Frame Loads → Distributed → en “Load Pattern Name” elegimos “USOVIV” → en “Uniform Load” ponemos “11” (dejamos por defecto el resto de opciones) → OK
- G) Sobrecarga de uso en vivienda (USOVIV) en vigas de carga de fachada (VCFACH):
 - View → Show All (para ver de nuevo todas las barras en pantalla) → MENÚ SUPERIOR → Select → Select → Groups → VCFACH → OK (se nos resaltan en pantalla) → View → Show Selection Only → Vamos a meter las de planta de vivienda, por tanto deseccionamos con el ratón las de cubierta → Assign → Frame Loads → Distributed → en “Load Pattern Name” elegimos “USOVIV” → en “Uniform Load” ponemos “5” (dejamos por defecto el resto de opciones) → OK
- H) Sobrecarga de uso en cubierta (USOCUB) en vigas de carga interiores (VCINT):
 - Seleccionamos el grupo que hemos creado antes con todas las vigas interiores VCINT → MENÚ SUPERIOR → Select → Select → Groups → VCINT → OK (se nos resaltan en pantalla) → View → Show Selection Only → Vamos a meterla en planta de cubierta sólo, por tanto deseccionamos con el ratón las de vivienda → Assign → Frame Loads → Distributed → en “Load Pattern Name” elegimos “USOCUB” → en “Uniform Load” ponemos “5,5” (dejamos por defecto el resto de opciones) → OK
- I) Sobrecarga de uso en cubierta (USOCUB) en vigas de carga de fachada (VCFACH):
 - Seleccionamos el grupo que hemos creado antes con todas las vigas interiores VCFACH → MENÚ SUPERIOR → Select → Select → Groups → VCFACH → OK (se nos resaltan en pantalla) → View → Show Selection Only → Vamos a meterla en planta de cubierta sólo, por tanto deseccionamos con el ratón las de vivienda → Assign → Frame Loads → Distributed → en

- “Load Pattern Name” elegimos “USOCUB” → en “Uniform Load” ponemos “2,5” (dejamos por defecto el resto de opciones) → OK
- J) Sobrecarga de nieve en cubierta (NIEVE) en vigas de carga interiores (VCINT):
 - Seleccionamos el grupo que hemos creado antes con todas las vigas interiores VCINT → MENÚ SUPERIOR → Select → Select → Groups → VCINT → OK (se nos resaltan en pantalla) → View → Show Selection Only → Vamos a meterla en planta de cubierta sólo, por tanto deseleccionamos con el ratón las de vivienda → Assign → Frame Loads → Distributed → en “Load Pattern Name” elegimos “NIEVE” → en “Uniform Load” ponemos “2,75” (dejamos por defecto el resto de opciones) → OK
 - K) Sobrecarga de nieve en cubierta (NIEVE) en vigas de carga de fachada (VCFACH):
 - Seleccionamos el grupo que hemos creado antes con todas las vigas interiores VCFACH → MENÚ SUPERIOR → Select → Select → Groups → VCFACH → OK (se nos resaltan en pantalla) → View → Show Selection Only → Vamos a meterla en planta de cubierta sólo, por tanto deseleccionamos con el ratón las de vivienda → Assign → Frame Loads → Distributed → en “Load Pattern Name” elegimos “NIEVE” → en “Uniform Load” ponemos “1,25” (dejamos por defecto el resto de opciones) → OK
 - L) Viento en dirección eje X, sentido positivo (VIENTOX+), se aplicará en pilares a barlovento y a sotavento:
 - Seleccionamos haciendo ventana con el ratón los dos pórticos de carga extremos (los situados en $x=0$ y $x=26$) → MENÚ SUPERIOR → View → Show Selection Only → Seleccionamos con el ratón las pantallas de esquina situadas a barlovento (los del pórtico situado en $x=0$) → Assign → Frame Loads → Distributed → en “Load Pattern Name” elegimos “VIENTOX+” → en “Coord Sys” elegimos “GLOBAL” y en “Direction” elegimos “X” (de este modo aplicamos el viento en dirección global X del edificio) → en “Uniform Load” ponemos “1,875” (dejamos por defecto el resto de opciones) → OK → Seleccionamos con el ratón las pantallas de esquina situadas a sotavento (los del pórtico situado en $x=26$) → Assign → Frame Loads → Distributed → en “Load Pattern Name” elegimos “VIENTOX+” → en “Coord Sys” elegimos “GLOBAL” y en “Direction” elegimos “X” (de este modo aplicamos el viento en dirección global X del edificio) → en “Uniform Load” ponemos “1,0” (dejamos por defecto el resto de opciones) → OK → Seleccionamos con el ratón las pantallas interiores situadas a barlovento (los del pórtico situado en $x=0$) → Assign → Frame Loads → Distributed → en “Load Pattern Name” elegimos “VIENTOX+” → en “Coord Sys” elegimos “GLOBAL” y en “Direction” elegimos “X” (de este modo aplicamos el viento en dirección global X del edificio) → en “Uniform Load” ponemos “4,125” (dejamos por defecto el resto de opciones) → OK → Seleccionamos con el ratón las pantallas interiores situadas a sotavento (los del pórtico situado en $x=26$) → Assign → Frame Loads → Distributed → en “Load Pattern Name” elegimos

“VIENTOX+” → en “Coord Sys” elegimos “GLOBAL” y en “Direction” elegimos “X” (de este modo aplicamos el viento en dirección global X del edificio) → en “Uniform Load” ponemos “2,2” (dejamos por defecto el resto de opciones) → OK

- M) Viento en dirección eje Y, sentido positivo (VIENTOY+), se aplicará en pilares a barlovento y a sotavento:

➤ Seleccionamos haciendo ventana con el ratón los dos pórticos de arriostramiento extremos (los situados en $y=0$ e $y=16$) → MENÚ SUPERIOR → View → Show Selection Only → Seleccionamos con el ratón las pantallas de esquina situadas a barlovento (los del pórtico situado en $y=0$) → Assign → Frame Loads → Distributed → en “Load Pattern Name” elegimos “VIENTOY+” → en “Coord Sys” elegimos “GLOBAL” y en “Direction” elegimos “Y” (de este modo aplicamos el viento en dirección global Y del edificio) → en “Uniform Load” ponemos “2,2” (dejamos por defecto el resto de opciones) → OK → Seleccionamos con el ratón las pantallas de esquina situadas a sotavento (los del pórtico situado en $y=16$) → Assign → Frame Loads → Distributed → en “Load Pattern Name” elegimos “VIENTOY+” → en “Coord Sys” elegimos “GLOBAL” y en “Direction” elegimos “Y” (de este modo aplicamos el viento en dirección global Y del edificio) → en “Uniform Load” ponemos “1,375” (dejamos por defecto el resto de opciones) → OK → Seleccionamos con el ratón los primeros pilares interiores situados a barlovento (los del pórtico situado en $y=0$) → Assign → Frame Loads → Distributed → en “Load Pattern Name” elegimos “VIENTOY+” → en “Coord Sys” elegimos “GLOBAL” y en “Direction” elegimos “Y” (de este modo aplicamos el viento en dirección global Y del edificio) → en “Uniform Load” ponemos “4,4” (dejamos por defecto el resto de opciones) → OK → Seleccionamos con el ratón los primeros pilares interiores situados a sotavento (los del pórtico situado en $y=16$) → Assign → Frame Loads → Distributed → en “Load Pattern Name” elegimos “VIENTOY+” → en “Coord Sys” elegimos “GLOBAL” y en “Direction” elegimos “Y” (de este modo aplicamos el viento en dirección global Y del edificio) → en “Uniform Load” ponemos “2,75” (dejamos por defecto el resto de opciones) → OK → Seleccionamos con el ratón los 2º pilares interiores situados a barlovento (los del pórtico situado en $y=0$) → Assign → Frame Loads → Distributed → en “Load Pattern Name” elegimos “VIENTOY+” → en “Coord Sys” elegimos “GLOBAL” y en “Direction” elegimos “Y” (de este modo aplicamos el viento en dirección global Y del edificio) → en “Uniform Load” ponemos “3,8” (dejamos por defecto el resto de opciones) → OK → Seleccionamos con el ratón los 2º pilares interiores situados a sotavento (los del pórtico situado en $y=16$) → Assign → Frame Loads → Distributed → en “Load Pattern Name” elegimos “VIENTOY+” → en “Coord Sys” elegimos “GLOBAL” y en “Direction” elegimos “Y” (de este modo aplicamos el viento en dirección

global Y del edificio) → en “Uniform Load” ponemos “2,375” (dejamos por defecto el resto de opciones) → OK

- N) Viento en dirección eje X, sentido negativo (VIENTOX-): se hace igual que con VIENTOX+, pero con signo cambiado. ATENCIÓN: los pilares a barlovento y a sotavento son ahora los de las fachadas opuestas
- O) Viento en dirección eje Y, sentido negativo (VIENTOY-): se hace igual que con VIENTOY+, pero con signo cambiado. ATENCIÓN: los pilares a barlovento y a sotavento son ahora los de las fachadas opuestas

11. MASAS QUE INTERVIENEN A EFECTOS SÍSMICOS

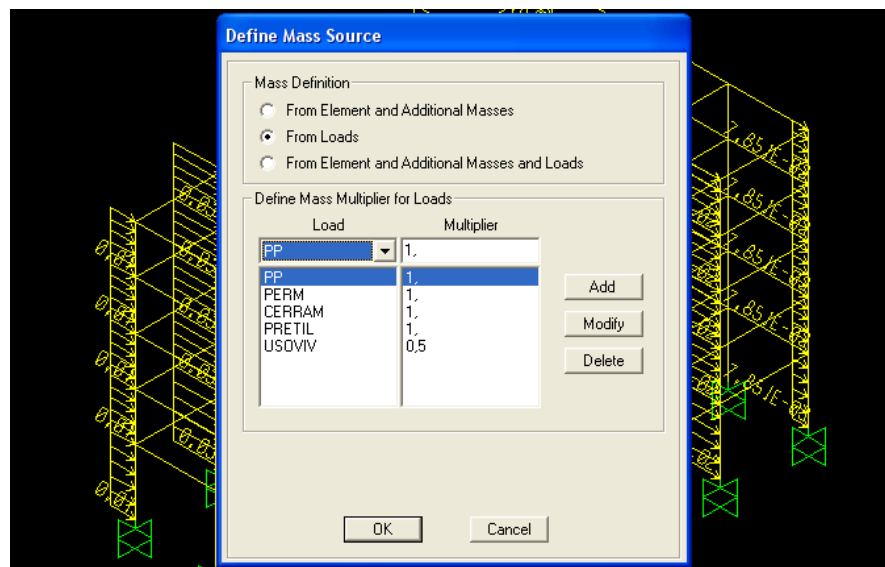
Con objeto de evaluar la acción sísmica, tenemos que definir las masas que intervienen en el análisis modal-espectral a realizar.

Para ello seguimos el artículo 3.2 de la NCSE-02, donde se dice que a efectos de los cálculos de las solicitaciones debidas al sismo se considerarán las masas correspondientes a la propia estructura, las masas permanentes, y una fracción de las sobrecargas, que en el caso de un edificio residencial es el 50% de la sobrecarga de uso de vivienda.

En nuestro caso la sobrecarga de nieve no se considera, ya que al estar en Granada capital permanece menos de 30 días al año. En cuanto a la sobrecarga de cubierta, se considera nula.

Para definir en SAP2000 las masas que intervienen en el cálculo sísmico, hacemos:

- MENÚ SUPERIOR → Define → Mass Source → Activamos “From Loads” → de la lista que aparece inferiormente vamos añadiendo de la columna “Load” las cargas, multiplicando en “Multiplier” por el factor que corresponda (1 para acciones permanentes y 0.5 para sobrecarga de uso en vivienda), lo vemos en la siguiente figura:



12. DEFINICIÓN DEL ESPECTRO DE RESPUESTA PARA CALCULAR LAS SOLICITACIONES DEBIDAS A SISMO MEDIANTE ANÁLISIS MODAL-ESPECTRAL

Vamos a adoptar el espectro de respuesta de la NCSE-02, siguiendo el apartado 2.3 de la NCSE-02, que se observa a continuación:

2.3. ESPECTRO DE RESPUESTA ELÁSTICA.

Esta Norma establece un espectro normalizado de respuesta elástica en la superficie libre del terreno (Figura 2.2), para aceleraciones horizontales, correspondiente a un oscilador lineal simple con un amortiguamiento de referencia del 5% respecto al crítico, definido por los siguientes valores:

$$\begin{array}{ll} \text{Si } T < T_A & \alpha(T) = 1 + 1,5 \cdot T/T_A \\ \text{Si } T_A \leq T \leq T_B & \alpha(T) = 2,5 \\ \text{Si } T > T_B & \alpha(T) = K \cdot C/T \end{array}$$

siendo:

- $\alpha(T)$: Valor del espectro normalizado de respuesta elástica.
- T : Período propio del oscilador en segundos.
- K : Coeficiente de contribución, referido en 2.1.
- C : Coeficiente del terreno, que tiene en cuenta las características geotécnicas del terreno de cimentación y se detalla en el apartado 2.4.

T_A, T_B : Períodos característicos del espectro de respuesta, de valores:

$$T_A = K \cdot C/10$$

$$T_B = K \cdot C/2,5$$

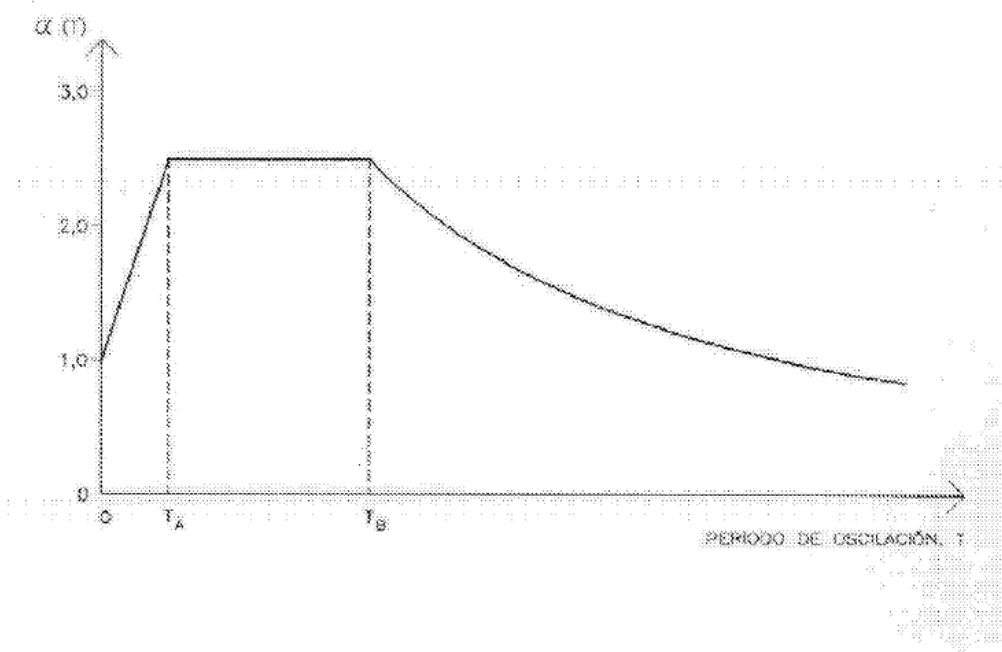


Figura 2.2. - Espectro de respuesta elástica.

Los coeficientes del terreno a adoptar se encuentran en la tabla 2.1:

Tabla 2.1
COEFICIENTES DEL TERRENO

TIPO DE TERRENO	COEFICIENTE C
I	1,0
II	1,3
III	1,6
IV	2,0

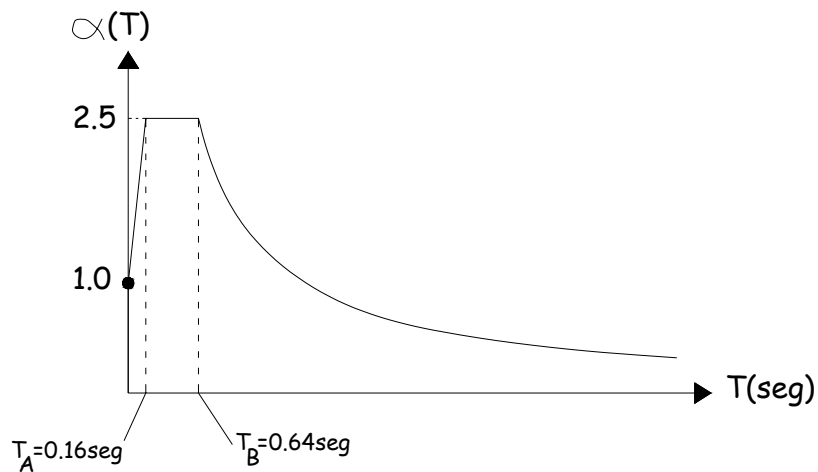
Adoptamos un tipo de terreno III (terreno aluvial de compacidad media), con lo cual $C=1.60$.

El coeficiente de contribución de las Azores vale en el municipio de Granada capital $K=1.0$ (ver anejo 1 de la NCSE-02).

Por tanto:

- Periodo inicial de meseta $\rightarrow T_A = K \cdot C / 10 = 1.0 \cdot 1.60 / 10 = 0.16 \text{seg}$
- Periodo inicial de meseta $\rightarrow T_B = K \cdot C / 2.5 = 1.0 \cdot 1.60 / 2.5 = 0.64 \text{seg}$

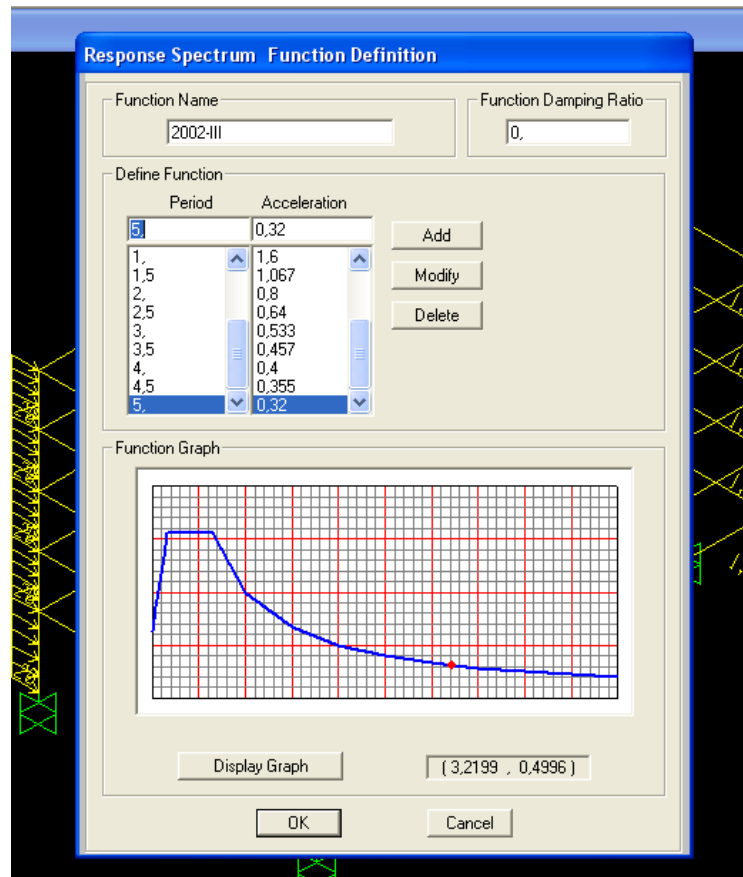
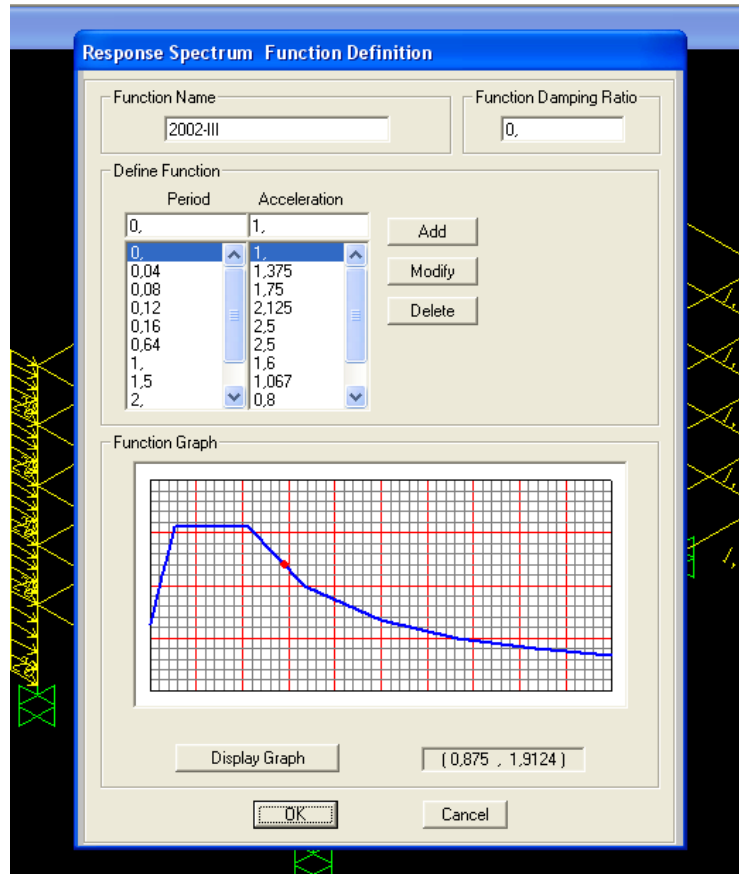
De esta manera obtenemos el espectro de respuesta que se observa en la siguiente figura:



Este espectro de respuesta lo introducimos en SAP2000 de la siguiente forma:

- MENÚ SUPERIOR \rightarrow Define \rightarrow Functions \rightarrow Response Spectrum \rightarrow en "Choose Function Type to Add" seleccionamos "User" \rightarrow seleccionamos "Add New Function" \rightarrow en "Function Name" ponemos "2002-III" \rightarrow en la lista que aparece abajo tenemos que ir introduciendo, en abscisa y ordenada, los puntos que definen el espectro de respuesta. La primera rama desde $T=0$ hasta $T=0.16 \text{seg}$ es recta, por tanto con dos puntos está definida \rightarrow punto1: $(0, 1)$, punto2: $(0'16, 2'5)$; la meseta horizontal queda definida añadiendo punto3: $(0'64, 2'5)$; la rama descendente curva tenemos que definirla con la expresión $K \cdot C / T$, con $K=1.0$, $C=1.60$ y dando valores a "T", que es el periodo. Para abarcar un rango de periodos

suficiente, vamos haciendo variar T desde T=0.64seg hasta T=5.0seg, de 0.5 seg en 0.5 seg, ver siguientes figuras:



Si nos movemos con el cursor del ratón por la gráfica inferior, leemos abajo las coordenadas de los distintos puntos.

La celda de “Function Damping Ratio” (amortiguamiento) lo dejamos con “0”, pues el espectro de respuesta de la norma NCSE-02 ya está definido para un amortiguamiento del 5%.

¡Cuando terminemos no olvidemos de darle a OK!

El apartado 2.5 de la norma NCSE-02 define un factor modificador del espectro de respuesta en función del amortiguamiento de nuestra estructura, para aquellos casos donde el amortiguamiento sea distinto del 5%, con la siguiente expresión:

$$v = (5 / \Omega)^{0.4}$$

donde Ω es el amortiguamiento de la estructura expresado como porcentaje del crítico.

Los valores del amortiguamiento Ω se expresan en la tabla 3.1 de la NCSE-02, donde observamos que $\Omega = 5\%$ (estructura de hormigón armado compartimentada). Por tanto $v = (5/\Omega)^{0.4} = (5/5)^{0.4} = 1.0$. Si fuese distinto de 1.0 habría que introducir su efecto en el siguiente apartado, en SAP2000.

Tabla 3.1.
VALORES DEL COEFICIENTE DE RESPUESTA β

TIPO DE ESTRUCTURA	COMPARTIMENTACIÓN DE LAS PLANTAS	Ω (%)	COEFICIENTE DE COMPORTAMIENTO POR DUCTILIDAD			SIN DUCTILIDAD ($\mu = 1$)
			$\mu = 4$	$\mu = 3$	$\mu = 2$	
HORMIGÓN ARMADO O ACERO LAMINADO	Diáfana	4	0,27	0,36	0,55	1,09
	Compartimentada	5	0,25	0,33	0,50	1,00
MUROS Y TIPOS SIMILARES	Compartimentada	6	-	-	0,46	0,93

13. DEFINICIÓN DEL TIPO DE ANÁLISIS ASOCIADO A CADA CARGA (LOAD CASES)

MENÚ SUPERIOR → Define → Load Cases

Observamos, en el cuadro que aparece, todos los tipos de carga que hemos introducido en la columna “Load Case Name”. En la columna “Load Case Type” vemos que el programa por defecto les aplicará un análisis lineal estático, que es el que se adopta para acciones gravitatorias y de viento a efectos de proyecto de cualquier edificio.

13.1. Análisis modal

Vemos que aparece otro Load Case que es “Modal”, que es el que nos servirá para obtener los modos de vibración de la estructura, para el análisis modal espectral ante sismo.

Pinchamos en “Modal” y pinchamos en “Modal/Show Load Case”. Observamos las opciones para el análisis modal. Dejando todas las opciones por defecto, nos centramos en lo más importante que es el número de modos a considerar en el cálculo. Según el apartado 3.6.2.3.1 de la NCSE-02, para modelos espaciales de edificios hay que considerar al menos cuatro modos: los dos primeros modos traslacionales (se entiende que el primer modo fundamental traslacional en cada dirección principal X e Y del edificio) y dos primeros modos rotacionales en planta. Para edificios como el nuestro (5 alturas), vamos a estimar cuánto vale el modo fundamental traslacional, siguiendo el método simplificado de la NCSE-02, con el apartado 3.7.2.1:

3.7.2.1. Número de modos a considerar.

Los modos a considerar en función del período fundamental de la construcción, T_p , serán los siguientes:

- (1) El primer modo, si $T_p \leq 0,75$ s

(2) El primer y segundo modos, si $0,75 \text{ s} < T_f \leq 1,25 \text{ s}$

(3) Los tres primeros modos, si $T_f > 1,25 \text{ s}$

Para la consideración de los efectos de los distintos modos, se aceptan las siguientes relaciones entre los períodos del modo i , T_i , y del modo fundamental, T_f :

$$T_i = \frac{T_f}{(2i-1)}$$

3.7.2.2. Cálculo del período fundamental de los edificios.

A falta de determinaciones más precisas por cualquiera de los procedimientos relacionados en el apartado 3.6.2.3.2. u otro equivalente, y para edificios (Figura 3.2) que reúnen los requisitos del apartado 3.5.1, el período fundamental T_f , en segundos, puede estimarse de forma aproximada mediante las expresiones:

(1) Edificios con muros de fábrica de ladrillo o bloques

$$T_f = 0,06 H \sqrt{H/(2L+H)}/\sqrt{L}$$

(2) Edificios con pórticos de hormigón armado sin la colaboración de pantallas rigidizadoras

$$T_f = 0,09 n$$

(3) Edificios con pórticos de hormigón armado con la colaboración de pantallas rigidizadoras.

$$T_f = 0,07 n \sqrt{H/(B+H)}$$

(4) Edificios de pórticos rígidos de acero laminado.

$$T_f = 0,11 n$$

(5) Edificios de pórticos de acero laminado con planos triangulados resistentes.

$$T_f = 0,085 n \sqrt{H/(B+H)}$$

siendo:

H : Altura de la edificación, sobre rasante, en metros.

n : Número de plantas sobre rasante.

B : Dimensión de las pantallas rigidizadoras, o de los planos triangulados, en el sentido de la oscilación, en metros.

L : Dimensión en planta de la edificación, en el sentido de la oscilación, en metros.

Para el resto de los edificios de hasta cuatro plantas puede tomarse, a efectos del cálculo por el método simplificado, $T_f = 0,3$ segundos.

Para nuestro edificio con pórticos de hormigón armado con pantallas, el modo fundamental es (tenemos dos pantallas de 2.50m en la misma alineación en cada dirección del edificio):

$$T_f = 0.07 * n * \sqrt{[H/(B+H)]} = 0.07 * 5 * \sqrt{[16m/(2*2.5m + 16m)]} = 0.306 \text{seg}$$

Para el caso sin pantallas (sólo pórticos de hormigón armado: $T_F = 0.09 \cdot n = 0.09 \cdot 5 = 0.45 \text{seg}$

El artículo dice que si $T_F \leq 0.75 \text{seg}$ no hace falta considerar más que el primer modo de vibración, se entiende que en cada dirección principal del edificio. Para edificios de mayor altura haría falta considerar más modos horizontales.

Por tanto, en SAP2000 tenemos que analizar un número de modos de manera que queden incluidos siempre el 1er modo principal de oscilación horizontal en cada dirección principal del edificio, más los dos primeros modos rotacionales.

En principio dejamos que el programa analice 12 modos de vibración, que es lo que propone por defecto, y veremos luego si están incluidos los modos que buscamos.

Por otra parte, en edificios como éste, sin grandes luces ni voladizos, sin pilares apeados, no hace falta incluir en el cálculo los modos verticales. Si hiciese falta, tendríamos que definir un espectro de respuesta para modos verticales, que es el mismo que ya hemos definido para los modos horizontales, pero multiplicando todas las ordenadas por 0.70 (ver apartado 2.6 de la NCSE-02).

13.2. Análisis modal espectral

Se define como un LOAD CASE nuevo. Como realizaremos análisis espectral en las dos direcciones principales del edificio, tenemos que definir 2 nuevos load cases:

13.2.1. Análisis modal espectral en dirección principal X

Dentro de "Define" → "Load Cases" pinchamos en "Add New Load Case" → arriba a la izquierda en "Load Case Name" le ponemos de nombre "MOD-ESP-X".

De todas las opciones que tenemos en este recuadro, tenemos que poner:

- "Load Case Type" → Response Spectrum
- "Modal Combination" → SRSS (combinación de los efectos de los modos según la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados, según recomienda la NCSE-02 (ver apartado 3.6.2.4). Si entre algunos de los modos sus periodos difieren en menos del 10% se podría aplicar la Combinación Cuadrática Completa (CQC) como dice la Norma en el mismo apartado 3.6.2.4. Los resultados son muy similares)
- "Modal Load Case" → Modal (para indicarle a SAP que parta de los modos obtenidos en el análisis modal)
- "Loads Applied":
 - En "Load Name" elegimos U1 (coincide con el eje global X de SAP)
 - En "Function" seleccionamos el espectro de respuesta creado antes → 2002-III
 - En "Scale Factor" tenemos que poner un número como resultado de multiplicar dos factores:

- 1. a_c , que se calcula a partir del apartado 2.2. de la NCSE-02, como sigue:

$$a_c = S \cdot \rho \cdot a_b$$

donde:

- a_b : aceleración sísmica básica (ver tabla del Anejo 1 de la NCSE-02).
En Granada capital $\rightarrow a_b = 0.23g$
- S: coeficiente de amplificación del terreno:
 - Para $\rho \cdot a_b \leq 0.1g \rightarrow S = C/1.25$
 - Para $0.1g \leq \rho \cdot a_b \leq 0.4g \rightarrow S = C/1.25 + 3.33 \cdot (\rho \cdot a_b/g - 0.1) \cdot (1 - C/1.25)$
 - Para $0.4g \leq \rho \cdot a_b \rightarrow S = 1.0$
 - "C" es el coeficiente de suelo, según el tipo de terreno del siguiente cuadro:

COEFICIENTES DEL TERRENO

TIPO DE TERRENO	COEFICIENTE C
I	1,0
II	1,3
III	1,6
IV	2,0

El tipo de terreno I corresponde a suelos muy buenos (roca o suelos muy duros), y el tipo de terreno IV corresponde a suelos muy malos (fangos o suelos muy blandos).

Suponemos un suelo de consistencia media-baja (arena suelta) \rightarrow tipo III $\rightarrow C = 1.6$

" ρ " es el coeficiente adimensional de riesgo, que en construcciones de importancia normal (edificio de viviendas) vale $\rho = 1.0$

- En nuestro caso $0.1g \leq \rho \cdot a_b \leq 0.4g \rightarrow S = C/1.25 + 3.33 \cdot (\rho \cdot a_b/g - 0.1) \cdot (1 - C/1.25) = 1.6/1.25 + 3.33 \cdot (1.0 \cdot 0.23g/g - 0.1) \cdot (1 - 1.6/1.25) = 1.159 \rightarrow$

\rightarrow aceleración de cálculo \rightarrow

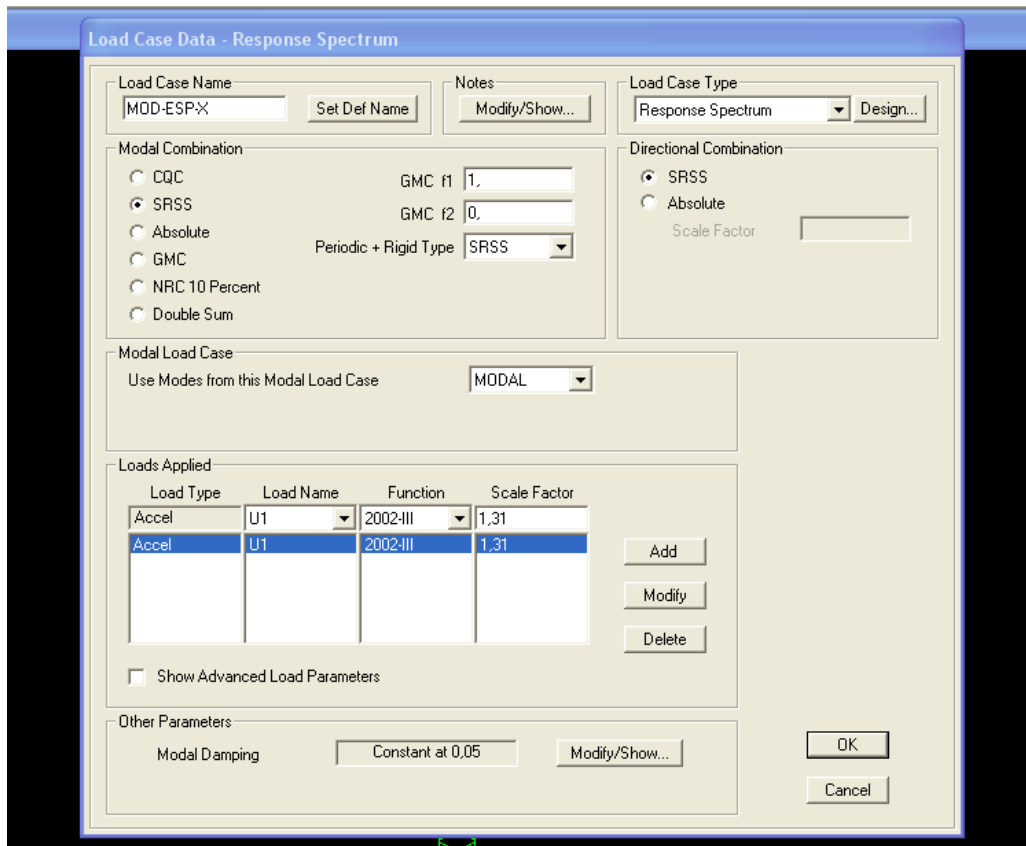
$$a_c = S \cdot \rho \cdot a_b = 1.159 \cdot 1.0 \cdot 0.23g = 0.267g$$

- 2. $\beta = v/\mu$, donde:
 - "v": factor modificador del espectro de respuesta, ya calculado anteriormente $\rightarrow v = 1.0$
 - μ : ductilidad de la estructura, que en nuestro caso vale $\mu=2.0$ (edificio de hormigón armado con vigas planas, con o sin pantallas antisísmicas)

Por tanto $\beta = v/\mu = 1.0/2.0 = 0.50$

Por tanto $a_c \cdot \beta = 0.267g \cdot 0.50 = 0.267 \cdot 9.8065 \cdot 0.50 = 1.310 \rightarrow$ a introducir en la celda “Scale Factor”

Vemos cómo quedaría este cuadro de diálogo en la siguiente figura:



13.2.2. Análisis modal espectral en dirección principal Y

Dentro de “Define” → “Load Cases” pinchamos en “Add New Load Case” → arriba a la izquierda en “Load Case Name” ponemos el nombre “MOD-ESP-Y”. Dejamos las opciones del cuadro de diálogo como en MOD-ESP-X que acabamos de definir, con la salvedad de que en “Loads Applied”, dentro de “Load Name”, tenemos que elegir U2 (coincide con el eje global Y de SAP)

14. HIPÓTESIS DE COMBINACIÓN DE CARGAS

El siguiente paso es crear las combinaciones de cálculo de la EHE-08, para Estados Límite Últimos (ELU) y Estados Límite de Servicio (ELS), que son las siguientes:

13.2 Estados Límite Últimos

Para las distintas situaciones de proyecto, las combinaciones de acciones se definirán de acuerdo con los siguientes criterios:

- Situaciones permanentes o transitorias:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \sum_{j \geq 1} \gamma_{G^*,j} G_{k,j}^* + \gamma_P P_k + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i \geq 1} \gamma_{Q,i} \psi_{\theta,i} Q_{k,i}$$

- Situaciones accidentales:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \sum_{j \geq 1} \gamma_{G^*,j} G_{k,j}^* + \gamma_P P_k + \gamma_A A_k + \gamma_{Q,1} \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i \geq 1} \gamma_{Q,i} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

- Situaciones sísmicas:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \sum_{j \geq 1} \gamma_{G^*,j} G_{k,j}^* + \gamma_P P_k + \gamma_A A_{E,k} + \sum_{i \geq 1} \gamma_{Q,i} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

donde:

$G_{k,j}$	Valor característico de las acciones permanentes.
$G_{k,j}^*$	Valor característico de las acciones permanentes de valor no constante.
P_k	Valor característico de la acción del pretensado.
$Q_{k,1}$	Valor característico de la acción variable determinante.
$\psi_{\theta,j} Q_{k,i}$	Valor representativo de combinación de las acciones variables concomitantes.
$\psi_{1,1} Q_{k,1}$	Valor representativo frecuente de la acción variable determinante.
$\psi_{2,j} Q_{k,i}$	Valores representativos cuasipermanentes de las acciones variables con la acción determinante o con la acción accidental.
A_k	Valor característico de la acción accidental.
$A_{E,k}$	Valor característico de la acción sísmica.

En las situaciones permanentes o transitorias, cuando la acción determinante $Q_{k,1}$ no sea obvia, se valorarán distintas posibilidades considerando diferentes acciones variables como determinantes.

13.3 Estados Límite de Servicio

Para estos Estados Límite se consideran únicamente las situaciones de proyecto persistentes y transitorias. En estos casos, las combinaciones de acciones se definirán de acuerdo con los siguientes criterios:

- Combinación poco probable o característica

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \sum_{j \geq 1} \gamma_{G^*,j} G^*_{k,j} + \gamma_P P_k + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

- Combinación frecuente

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \sum_{j \geq 1} \gamma_{G^*,j} G^*_{k,j} + \gamma_P P_k + \gamma_{Q,1} \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

- Combinación cuasipermanente

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \sum_{j \geq 1} \gamma_{G^*,j} G^*_{k,j} + \gamma_P P_k + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

En estas combinaciones, los coeficientes de mayoración “ γ ” se deben obtener de las tablas 12.1.a de la EHE-08 o de la tabla 4.1 del Código Técnico de la Edificación (CTE), coinciden prácticamente en todo. A continuación se presenta la tabla 4.1 del CTE:

Tabla 4.1 Coeficientes parciales de seguridad (γ) para las acciones

Tipo de verificación ⁽¹⁾	Tipo de acción	Situación persistente o transitoria	
		desfavorable	favorable
Resistencia	Permanente		
	Peso propio, peso del terreno	1,35	0,80
	Empuje del terreno	1,35	0,70
	Presión del agua	1,20	0,90
	Variable	1,50	0
Estabilidad		desestabilizadora	estabilizadora
	Permanente		
	Peso propio, peso del terreno	1,10	0,90
	Empuje del terreno	1,35	0,80
	Presión del agua	1,05	0,95
	Variable	1,50	0

⁽¹⁾ Los coeficientes correspondientes a la verificación de la resistencia del terreno se establecen en el DB-SE-C

Los coeficientes de simultaneidad Ψ_0 , Ψ_1 y Ψ_2 se deben obtener del Código Técnico de la Edificación, tabla 4.2:

Tabla 4.2 Coeficientes de simultaneidad (ψ)

	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Sobrecarga superficial de uso (Categorías según DB-SE-AE)			
• Zonas residenciales (Categoría A)	0,7	0,5	0,3
• Zonas administrativas (Categoría B)	0,7	0,5	0,3
• Zonas destinadas al público (Categoría C)	0,7	0,7	0,6
• Zonas comerciales (Categoría D)	0,7	0,7	0,6
• Zonas de tráfico y de aparcamiento de vehículos ligeros con un peso total inferior a 30 kN (Categoría F)	0,7	0,7	0,6
• Cubiertas transitables (Categoría G)		(1)	
• Cubiertas accesibles únicamente para mantenimiento (Categoría H)	0	0	0
Nieve			
• para altitudes > 1000 m	0,7	0,5	0,2
• para altitudes ≤ 1000 m	0,5	0,2	0
Viento			
	0,6	0,5	0
Temperatura			
	0,6	0,5	0
Acciones variables del terreno			
	0,7	0,7	0,7

(1) En las cubiertas transitables, se adoptarán los valores correspondientes al uso desde el que se accede.

4.3 Aptitud al servicio

4.3.1 Verificaciones

- 1 Se considera que hay un comportamiento adecuado, en relación con las deformaciones, las vibraciones o el deterioro, si se cumple, para las situaciones de dimensionado pertinentes, que el efecto de las acciones no alcanza el valor límite admisible establecido para dicho efecto.

Vamos a crear las combinaciones en ELU y ELS.

14.1. Combinaciones en ELU

En un edificio de viviendas crearemos:

A) Hipótesis persistentes (PERSIS1, PERSIS2, ETC): tenemos que crearnos tantas combinaciones como acciones variables tengamos, jugando con cada una de las variables como principal, y las restantes como concomitantes. El viento sólo puede actuar en una dirección y un sentido a la vez.

PERSIS1) 1.35*PP+1.35*PERM+1.35*CERRAM+1.35*PRETIL+1.50*USOVIV+1.50*0.7*USOCUB+1.50*0.5*NIEVE+1.50*0.6*(VIENTO+)
PERSIS2) 1.35*PP+1.35*PERM+1.35*CERRAM+1.35*PRETIL+1.50*USOCUB+1.50*0.7*USOVIV+1.5*0.5*NIEVE+1.50*0.6*(VIENTO+)
PERSIS3) 1.35*PP+1.35*PERM+1.35*CERRAM+1.35*PRETIL+1.50*NIEVE+1.50*0.7*USOVIV+1.50*0.7*USOCUB+1.50*0.6*(VIENTO+)
PERSIS4) 1.35*PP+1.35*PERM+1.35*CERRAM+1.35*PRETIL+1.50*USOVIV+1.50*0.7*USOCUB+1.50*0.5*NIEVE+1.50*0.6*(VIENTO-)
PERSIS5) 1.35*PP+1.35*PERM+1.35*CERRAM+1.35*PRETIL+1.50*USOCUB+1.50*0.7*USOVIV+1.5*0.5*NIEVE+1.50*0.6*(VIENTO-)
PERSIS6) 1.35*PP+1.35*PERM+1.35*CERRAM+1.35*PRETIL+1.50*NIEVE+1.50*0.7*USOVIV+1.50*0.7*USOCUB+1.50*0.6*(VIENTO-)
PERSIS7) 1.35*PP+1.35*PERM+1.35*CERRAM+1.35*PRETIL+1.50*USOVIV+1.50*0.7*USOCUB+1.50*0.5*NIEVE+1.50*0.6*(VIENTO+)
PERSIS8) 1.35*PP+1.35*PERM+1.35*CERRAM+1.35*PRETIL+1.50*USOCUB+1.50*0.7*USOVIV+1.5*0.5*NIEVE+1.50*0.6*(VIENTO+)
PERSIS9) 1.35*PP+1.35*PERM+1.35*CERRAM+1.35*PRETIL+1.50*NIEVE+1.50*0.7*USOVIV+1.50*0.7*USOCUB+1.50*0.6*(VIENTO+)
PERSIS10) 1.35*PP+1.35*PERM+1.35*CERRAM+1.35*PRETIL+1.50*USOVIV+1.50*0.7*USOCUB+1.50*0.5*NIEVE+1.50*0.6*(VIENTO-)
PERSIS11) 1.35*PP+1.35*PERM+1.35*CERRAM+1.35*PRETIL+1.50*USOCUB+1.50*0.7*USOVIV+1.5*0.5*NIEVE+1.50*0.6*(VIENTO-)
PERSIS12) 1.35*PP+1.35*PERM+1.35*CERRAM+1.35*PRETIL+1.50*NIEVE+1.50*0.7*USOVIV+1.50*0.7*USOCUB+1.50*0.6*(VIENTO-)
PERSIS13) 1.35*PP+1.35*PERM+1.35*CERRAM+1.35*PRETIL+1.50*(VIENTO+)+1.50*0.7*USOVIV+1.50*0.7*USOCUB+1.50*0.5*NIEVE
PERSIS14) 1.35*PP+1.35*PERM+1.35*CERRAM+1.35*PRETIL+1.50*(VIENTO+)+1.50*0.7*USOVIV+1.50*0.7*USOCUB+1.50*0.5*NIEVE
PERSIS15) 1.35*PP+1.35*PERM+1.35*CERRAM+1.35*PRETIL+1.50*(VIENTO-)+1.50*0.7*USOVIV+1.50*0.7*USOCUB+1.50*0.5*NIEVE
PERSIS16) 1.35*PP+1.35*PERM+1.35*CERRAM+1.35*PRETIL+1.50*(VIENTO-)+1.50*0.7*USOVIV+1.50*0.7*USOCUB+1.50*0.5*NIEVE

B) Hipótesis sísmicas: según el apartado 3.4 de la NCSE-02 debemos analizar el edificio en dos direcciones ortogonales en planta, combinando el 100% del sismo en una dirección con el 30% del sismo en la dirección ortogonal. El viento nunca se combina con el sismo ($\Psi_2 = 0$, ver tabla 4.2 del CTE). La sobrecarga de nieve para altitud $\leq 1000\text{m}$ (Granada) también tiene $\Psi_2 = 0$.

SISMO17) 1.0*PP+1.0*PERM+1.0*CERRAM+1.0*PRETIL+1.0*(MOD-ESP-X)+1.0*0.3*(MOD-ESP-Y)+1.0*0.3*USOVIV+1.0*0.3*USOCUB
SISMO18) 1.0*PP+1.0*PERM+1.0*CERRAM+1.0*PRETIL+1.0*0.3*(MOD-ESP-X)+1.0*(MOD-ESP-Y)+1.0*0.3*USOVIV+1.0*0.3*USOCUB

14.2. Combinaciones en ELS

Tendremos que analizar:

- A) Flechas verticales en vigas
- B) Desplazamientos horizontales debidos a viento y sismo.

Las flechas verticales en vigas las analizaremos con la situación característica (ver apartado 4.3.3.1 del CTE-DB-SE), donde no incluiremos el viento pues su efecto es despreciable en vigas.

FLECHA19) 1.0*PP+1.0*PERM+1.0*CERRAM+1.0*PRETIL+1.0*USOVIV+1.0*0.7*USOCUB+1.0*0.5*NIEVE
FLECHA20) 1.0*PP+1.0*PERM+1.0*CERRAM+1.0*PRETIL+1.0*USOCUB+1.0*0.7*USOVIV+1.0*0.5*NIEVE
FLECHA21) 1.0*PP+1.0*PERM+1.0*CERRAM+1.0*PRETIL+1.0*NIEVE+1.0*0.7*USOVIV+1.0*0.7*USOCUB

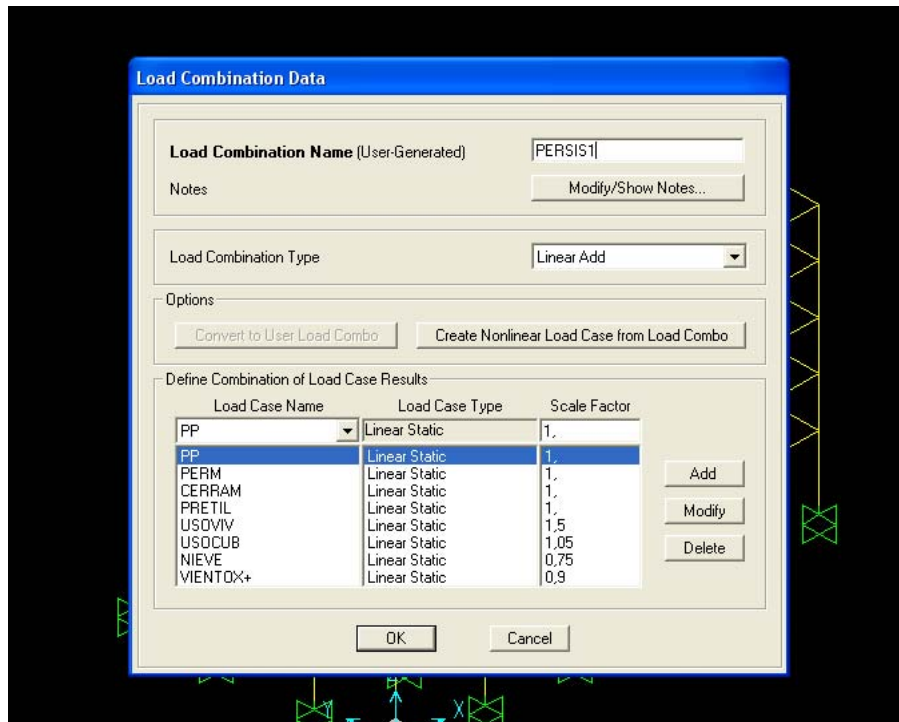
Los desplazamientos horizontales debidos al viento los analizaremos con la combinación característica (ver apartado 4.3.3.2 del CTE-DB-SE).

LATVIENTOX+22) 1.0*PP+1.0*PERM+1.0*CERRAM+1.0*PRETIL+1.0*(VIENTOX+)+1.0*0.7USOVIV+1.0*0.7*USOCUB+1.0*0.5*NIEVE
LATVIENTOX-23) 1.0*PP+1.0*PERM+1.0*CERRAM+1.0*PRETIL+1.0*(VIENTOX-)+1.0*0.7USOVIV+1.0*0.7*USOCUB+1.0*0.5*NIEVE
LATVIENTOY+24) 1.0*PP+1.0*PERM+1.0*CERRAM+1.0*PRETIL+1.0*(VIENTOY+)+1.0*0.7USOVIV+1.0*0.7*USOCUB+1.0*0.5*NIEVE
LATVIENTOY-25) 1.0*PP+1.0*PERM+1.0*CERRAM+1.0*PRETIL+1.0*(VIENTOY-)+1.0*0.7USOVIV+1.0*0.7*USOCUB+1.0*0.5*NIEVE

Los desplazamientos horizontales debidos al sismo los analizaremos con la combinación cuasipermanente. No tenemos que crearnos ninguna combinación nueva, pues los desplazamientos se leen directamente de las combinaciones nº17 y nº18.

Todas las combinaciones se crean así:

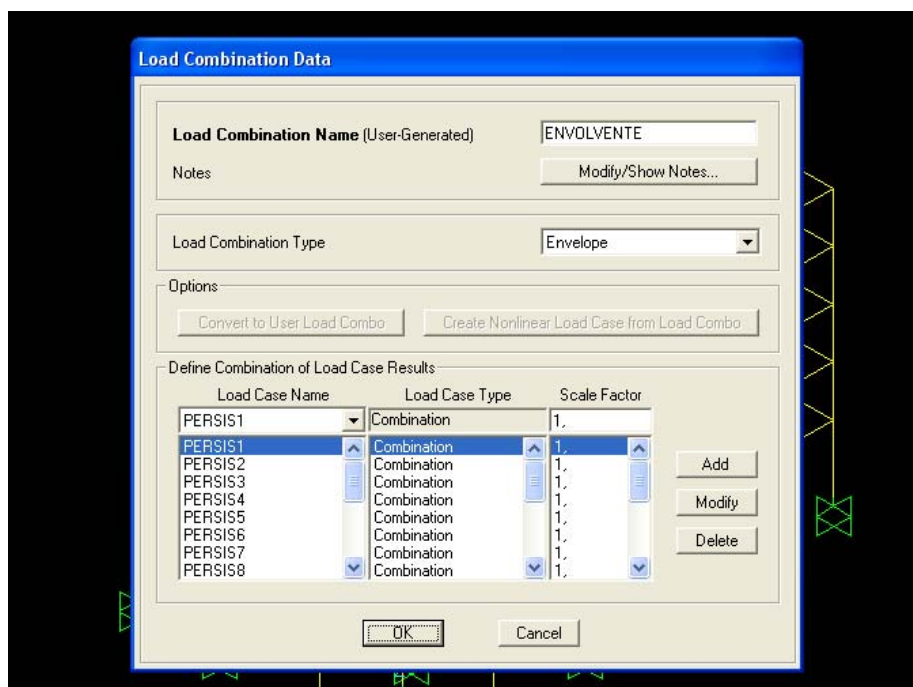
MENÚ SUPERIOR → Define → Load Combinations → “Add New Combo” → en “Load Combination Name” ponemos el nombre (por ejemplo “PERSIS1”) → en el cuadro de diálogo inferior vamos añadiendo las “Load Case Name” con su “Scale Factor”, tal y como aparece en la figura inferior. En “Scale Factor” debemos introducir ya el producto de $\gamma*\Psi$, por ejemplo $1.50*0.70 = 1.05$



14.3. Envolverte en ELU

Por último, crearemos una combinación envolvente en ELU, con objeto de obtener los esfuerzos pésimos para dimensionar vigas, pilares y pantallas. La crearemos así:

MENÚ SUPERIOR → Define → Load Combinations → “Add New Combo” → en “Load Combination Name” ponemos el nombre “ENVOLVENTE” → en “Load Combination Type” seleccionamos “Envelope” → en el cuadro de diálogo inferior vamos añadiendo todas las combinaciones de las cuales queremos hallar la envolvente (desde PERSIS1 hasta SISMO18) con un “Scale Factor” igual a la unidad, ver figura:



15. CÁLCULO Y SUS OPCIONES

Antes de que el programa realice el cálculo de la estructura, tenemos que establecer las opciones de cálculo:

MENÚ SUPERIOR → Analyze → Set Analysis Options → al tener una estructura tridimensional, tenemos que activar la opción “Space Frame”, con la que el programa realiza un cálculo con 6 grados de libertad por nudo (los 3 desplazamientos y 3 giros en el espacio) → OK (el resto de opciones se dejan por defecto).

También tenemos que decirle al programa que calcule todos los estados de carga que hemos definido → MENÚ SUPERIOR → Analyze → Set Load Cases to Run → en la columna “Action” debe aparecer “Run” en todos los estados de carga, esto lo activamos o desactivamos con la celda “Run/Do Not Run All”. También podríamos decirle que no me calcule ciertos estados de carga, si no me interesa, activando o desactivando el cálculo de alguno de ellos en cuestión.

Una vez definidas estas opciones, calculamos haciendo → MENÚ SUPERIOR → Analyze → Run Analysis → Run Now

Para un edificio como este, modelizado con elementos barra, el cálculo es relativamente rápido en ordenadores modernos (tarda unos 15-25 segundos).

16. SALIDA DE RESULTADOS

Los resultados que necesitamos para comprobar la estructura son los siguientes:

1. Modos de vibración
2. Desplazamientos y giros
3. Esfuerzos en la estructura para las distintas combinaciones: axiles, momentos flectores, cortantes y momentos torsores
4. Reacciones en cimentación

Vamos a analizarlos, primero gráficamente en pantalla, y después listando los resultados o exportándolos a Excel, Word, Access.

16.1. Salida gráfica en pantalla

16.1.1. Modos de vibración

Vamos a comprobar primero que con los 12 modos de vibración que hemos calculado (el nº de modos a calcular lo hemos definido en el apartado 13.1) estamos capturando los modos que tenemos que contemplar según la NCSE-02: los dos primeros modos traslacionales (el primer modo traslacional en cada dirección principal del edificio, X e Y) y los dos primeros modos rotacionales en planta.

El primer modo de vibración que calcula el programa es el que presenta un periodo de vibración mayor, y los siguientes modos tienen periodos de vibración menores.

Para ver los doce primeros modos calculados, hacemos:

MENÚ SUPERIOR → Display → Show Deformed Shape → en “Case/Combo Name” seleccionamos “MODAL” → Multivalued Options → Mode Number → seleccionamos “1” para ver el primer modo de vibración en pantalla → OK (si activamos la opción “Wire Shadow” vemos superpuesta en pantalla la estructura sin deformar, y si activamos “Cubic Curve” vemos la deformada más finamente calculada, con su deformación más exacta, con forma curva)

En pantalla observamos la forma del primer modo de vibración. Si pinchamos en la pantalla abajo a la derecha en “Start Animation” vemos un animación del primer modo. Observamos que corresponde al primer modo de vibración en dirección global X del edificio. Si pinchamos en “Stop Animation” se para la animación. El primer modo vale $T_1 = 0.72524$ segundos.

Para ver el 2º modo de vibración pinchamos abajo a la derecha en la flecha que indica hacia la derecha, y aparece en pantalla, vale $T_2 = 0.68785$ segundos. Lo animamos pinchando en “Start Animation” y vemos que corresponde al primer modo de vibración en dirección global Y del edificio.

Si vemos el 3er modo de vibración comprobamos que es el primer modo rotacional en planta. El 4º modo es el segundo modo de vibración en dirección global X, el 5º modo es el segundo modo de vibración en dirección global Y, y el 6º modo es el segundo modo rotacional en planta. Es decir, con los 6 primeros modos nos hubiese bastado para analizar la estructura antes sismo. Los modos del 7º al 12º son modos verticales de vigas, que no nos interesan para el análisis de la estructura.

Un aspecto a destacar, con respecto al 1er y 2º modos de vibración ($T_1 = 0.72524$ seg, $T_2 = 0.68785$ seg), que son los más importantes en la respuesta del edificio ante sismo (primer modo de vibración traslacional en cada dirección principal del edificio X e Y) es ver cuánto vale la ordenada espectral en el espectro de respuesta. Esto nos dice cómo reacciona el edificio en el terreno donde está ubicado. Vamos a la función que define el espectro de respuesta que estamos utilizando → MENÚ SUPERIOR → Define → Functions → Response Spectrum → seleccionamos a la izquierda “2002-III” → pinchamos en “Show Spectrum” → si nos movemos con el ratón en la gráfica inferior que define la función del espectro de respuesta, vemos que para una abscisa de 0.72seg ó 0.69seg, estamos con ordenadas espectrales del orden de 2,35, muy cerca de la meseta espectral, donde se da la repuesta máxima de 2,50.

Si vemos el cortante basal total en el empotramiento del edificio, nos haremos una idea de la magnitud total de la fuerza sísmica actuante: MENÚ SUPERIOR → Display → Show tables → en el cuadro de la izquierda vamos abajo a “ANALYSIS RESULTS” → activamos “Structure Output” → en la celda de la derecha “Select Load Cases” seleccionamos con el ratón “MOD-ESP-X” y “MOD-ESP-Y” → OK, y vemos una tabla con los cortantes basales en arranque en cimentación:

- Cortante basal resultante del análisis modal espectral en dirección X: 5471.3kN
- Cortante basal resultante del análisis modal espectral en dirección Y: 5740.0kN

16.1.2. Desplazamientos y giros

Los desplazamientos y giros los calcula el programa en los nudos de la estructura. Los más importantes de cara a la comprobación de la estructura son:

- A) Flechas verticales (combinaciones 19, 20 y 21 en ELS)
- B) Desplazamientos horizontales con las combinaciones donde actúe el viento (combinaciones 22, 23, 24 y 25 en ELS)
- C) Desplazamientos horizontales con las combinaciones donde actúe el sismo (combinaciones 17 y 18 en ELU, que coinciden con las de ELS)

Los podemos visualizar en pantalla de la siguiente manera:

A) Flechas verticales en vigas: como no hemos creado nudos dentro de la longitud de las vigas, tenemos que ver las flechas en vigas tal y como sigue:

MENÚ SUPERIOR → Display → Show Forces/Stresses → Frames/Cables → en “Case/Combo Name” seleccionamos por ejemplo “FLECHA19” → en “Component” seleccionamos “Moment 3-3” (el resto de opciones del cuadro las dejamos por defecto) → OK → en pantalla visualizamos los momentos contenidos en el plano vertical de las vigas de carga, si pinchamos en la pantalla sobre la viga 126 (activar antes el número de vigas en pantalla → MENÚ SUPERIOR → View → Set Display Options → Frames/Cables/Tendons → activar “Labels” → OK) y hacemos click en el botón derecho del ratón, se nos abre un cuadro donde abajo vemos el desplazamiento vertical de la viga, que tiene un máximo de 2,412mm (activar “Show Max” arriba a la derecha del cuadro). Hay que decir que estas flechas son flechas instantáneas, calculadas por el programa SAP con la inercia bruta de la viga, es decir no nos valen para analizar la flecha activa, que debe incluir las deformaciones diferidas en el tiempo por retracción y fluencia, y que se calculan con la inercia fisurada. La flecha activa será normalmente varias veces superior a la que nos da SAP. Esta flecha activa se debe calcular con otro programa, por ejemplo con el Prontuario Informático del Hormigón, publicado por el Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones (IECA).

B) Desplazamientos horizontales con las combinaciones donde actúe el viento: estos sí se pueden analizar en nudos de la estructura. Se analizan de la siguiente manera:

MENÚ SUPERIOR → Display → Show Deformed Shape → en “Case/Combo Name” seleccionamos por ejemplo “LATVIENTOX+22” → OK (si activamos la opción “Wire Shadow” vemos superpuesta en pantalla la estructura sin deformar, y si activamos “Cubic Curve” vemos la deformada más finamente calculada, con su deformación más exacta, con forma curva). Nos aparece en pantalla el edificio desplazado con esta hipótesis actuando el viento en dirección X positivo. Si pinchamos con el ratón en cualquiera de los nudos de cabeza del edificio, vemos que se ha desplazado 4.04mm en dirección X+ (obsérvese que esto es así porque impusimos, con los diafragmas en

cada planta, que el desplazamiento es el mismo en todos los nudos de una misma planta). Se produce también un ligero desplazamiento con respecto al eje Z y pequeños giros con respecto a los ejes X e Y, que son despreciables. En todos estos resultados los números 1, 2, 3 se refieren a los ejes globales X, Y, Z, respectivamente.

Siguiendo el CTE, hay dos límites de desplazamiento horizontal para que no se rompan partes no estructurales (cerramientos, tabiques, etc):

1. El máximo desplome horizontal en cabeza del edificio debe ser $H/500$, donde "H" es la altura total del edificio, $H=16\text{m} = 1600\text{cm}$, con lo cual el máximo desplazamiento admisible es $H/500 = 1600\text{cm}/500 = 3.20\text{cm} = 32\text{mm}$, el desplazamiento que se produce de 4.04mm está muy por debajo. Los desplazamientos en el resto de combinaciones con viento en ELS son también muy pequeños (LATVIENTOX-23, LATVIENTOY+24, LATVIENTOY-25)
2. EL máximo desplome local en cada planta debe ser $h/250$, donde "h" es la altura de la planta. Este desplome local se debe comprobar en cada planta. Por ejemplo en planta baja, con $h=4.00\text{m}$, el límite es $h/250 = 400\text{cm}/250 = 1.60\text{cm} = 16\text{mm}$. Si leemos el desplazamiento en los nudos del forjado de planta primera en la hipótesis LATVIENTOX+22, vemos que vale 0.467mm , muy por debajo. Debemos comprobarlo en todas las plantas, y ver si nuestro edificio cumple.

C) Desplazamientos horizontales con las combinaciones donde actúe el sismo

Se analizan exactamente igual que para las combinaciones con viento, leyendo desplazamientos en nudos.

Para la combinación con el 100% del sismo en dirección X y el 30% del sismo en dirección Y (SISMO17) leemos un desplazamiento máximo en cabeza de 59.12mm en dirección X. Este desplazamiento es en régimen elástico, para obtener el desplazamiento real del edificio hay que multiplicar por la ductilidad que hemos considerado en el cálculo ($\mu=2$), que nos da un desplazamiento en cabeza de $59.12\text{mm} * 2 = 118.24\text{mm} = 11.824\text{cm}$.

La Norma NCSE-02 establece dos limitaciones para no tener que tener en cuenta los efectos de 2º orden, dándose por válido el comportamiento del edificio cuando se cumple una cualquiera de las dos (ver apartado 3.8 de la NCSE-02):

- 1ª) Desplazamiento máximo en cabeza: 2‰ de H (o $H/500$, es lo mismo), coincide con el CTE. Esta limitación no la cumple de largo pues $H/500 = 32\text{mm}$, muy por debajo de 118.24mm que es el desplazamiento en cabeza en SISMO17
- 2ª) El máximo desplazamiento relativo entre plantas debe cumplir la expresión:

$$P_k * d_k < 0.10 * V_k * h_k$$

donde P_k es el peso del edificio por encima de la planta considerada, d_k es el desplazamiento entre cabeza y pie de pilares de la planta considerada, V_k es el cortante correspondiente a la planta considerada y h_k es la altura de la planta considerada. Para la combinación SISMO17, y para la planta 3ª, que es donde se da el máximo desplazamiento relativo, los resultados son:

- $d_k = 4.585\text{cm} - 3.205\text{cm} = 1.38\text{cm}$
 - $P_k = 6123.2\text{kN}$
 - $h_k = 300\text{cm}$
 - $V_k = 3774\text{kN}$
- $P_k * d_k < 0.10 * V_k * h_k \rightarrow 6123.2\text{kN} * 1.38\text{cm} = 8450 < 0.10 * 3774\text{kN} * 300\text{cm} = 113220 \rightarrow$ CUMPLE, se pueden despreciar los efectos de 2º orden.

Las mismas comprobaciones de desplazamientos hay que realizarlas para la combinación con el 100% del sismo en dirección Y y el 30% del sismo en dirección X (SISMO18).

16.1.3. Esfuerzos en la estructura para las distintas combinaciones: axiles, momentos flectores, cortantes y momentos torsores

Se visualizan en pantalla de la siguiente manera:

Esfuerzos en vigas

Se dimensionarán a flexión y a cortante.

MENÚ SUPERIOR \rightarrow Display \rightarrow Show Forces/Stresses \rightarrow Frames/Cables \rightarrow en "Case/Combo Name" seleccionamos por ejemplo "PERSIS1" \rightarrow en "Component" seleccionamos "Moment 3-3" (el resto de opciones del cuadro las dejamos por defecto). En pantalla visualizamos los momentos contenidos en el plano vertical de las vigas de carga (tanto para vigas en dirección X como para vigas en dirección Y) y los momentos en pilares de eje Y (global), es decir contenidos en el plano global XZ. Si pinchamos en la pantalla sobre la viga 126 (activar antes el número de vigas en pantalla \rightarrow MENÚ SUPERIOR \rightarrow View \rightarrow Set Display Options \rightarrow Frames/Cables/Tendons \rightarrow activar "Labels" \rightarrow OK) y hacemos click en el botón derecho del ratón, se nos abre un cuadro donde abajo vemos no sólo los valores numéricos del momento en la viga a lo largo de toda su longitud, sino también el valor de sus esfuerzos cortantes, axiles, etc. Si queremos saber cuáles son los máximos esfuerzos para armar la viga, los veremos seleccionando la combinación "ENVOLVENTE", donde obtendremos los máximos momentos flectores y cortantes.

Para la viga 126 los esfuerzos pésimos de cálculo para su dimensionamiento son:

- Flexión: Momento negativo: $M_d = -131.0\text{kN}\cdot\text{m}$ (extremo derecho) y $M_d = -110.3\text{kN}\cdot\text{m}$ (extremo izquierdo), Momento positivo en centro de vano: $M_d = 52.8\text{kN}\cdot\text{m}$

- Cortante: $V_d=97.5\text{kN}$ (extremo derecho) y $V_d=95.5\text{kN}$ (extremo izquierdo)

SAP2000 permite armar secciones, pero no implementa la norma española EHE-08. Tendremos que armar con otro programa específico de armado. Un programa muy útil es el Prontuario Informático del Hormigón. Este programa permite calcular en ELU de flexión, flexión compuesta, flexión esviada, pandeo, cortante, punzonamiento y torsión. También calcula en ELS de flecha y fisuración. Se encuentra en la biblioteca en Caminos y en Arquitectura, y es gratis instalarlo. El inconveniente es que la última versión (3.0) sólo está adaptada a la EHE-98, no a la EHE-08. Para ELU de cortante y punzonamiento la EHE-08 ha cambiado con respecto a la EHE-98, pero para el resto de comprobaciones coinciden prácticamente la EHE-98 y la EHE-08.

Esfuerzos en pilares

Se dimensionarán a pandeo con flexión esviada (N , M_x , M_y) y a cortante en dos direcciones principales.

MENÚ SUPERIOR → Display → Show Forces/Stresses → Frames/Cables → en “Case/Combo Name” seleccionamos por ejemplo “SISMO17” → en “Component” seleccionamos “Moment 3-3” (el resto de opciones del cuadro las dejamos por defecto). En pantalla visualizamos los momentos contenidos en pilares de eje Y (global), es decir contenidos en el plano global XZ. Si pinchamos en la pantalla sobre el pilar 21 (activar antes el número de pilares en pantalla → MENÚ SUPERIOR → View → Set Display Options → Frames/Cables/Tendons → activar “Labels” → OK) y hacemos click en el botón derecho del ratón, se nos abre un cuadro donde abajo vemos no sólo los valores numéricos del momento en el pilar a lo largo de toda su longitud, sino también el valor de sus esfuerzos cortantes, axiales, etc, tanto en dirección global X como en dirección global Y. Si queremos saber cuáles son los máximos esfuerzos para armar el pilar, los veremos seleccionando la combinación “ENVOLVENTE”, donde obtendremos los máximos momentos flectores, cortantes y axiales.

¡OJO con el uso de ENVOLVENTE!

Para armar a cortante sí podemos usar ENVOLVENTE.

Si queremos armar a flexión esviada, necesitamos conocer el axil y dos momentos, uno en cada dirección principal del edificio. Pero usando ENVOLVENTE no sabemos si los máximos esfuerzos (N , M_x , M_y) pertenecen a la misma hipótesis. Es decir, puede que el máximo axil sea de PERSIS1 y los máximos momentos de hipótesis sísmicas, que no se pueden combinar. Habrá por tanto que ver particularmente la combinación N - M_x - M_y pertenecientes a la misma hipótesis, lo que nos llevará a analizar a veces varias hipótesis para obtener el armado necesario del pilar, en fin que ENVOLVENTE nos sirve sólo a medias para analizar los pilares (y las pantallas antisísmicas).

Para dimensionar el pilar a flexión esviada, analizamos por ejemplo dos combinaciones que a priori deberían ser desfavorables: PERSIS1 (con SC de uso en vivienda como

variable principal) y SISMO17 (con 100% del sismo en dirección global X y 30% del sismo en dirección global Y). Escogeremos la sección del pilar donde los esfuerzos sean más desfavorables.

Dimensionamos a flexión esviada el pilar 21 de planta baja (35x35):

- PERSIS1. Cogemos los esfuerzos en cabeza de pilar, sección donde los momentos son mayores:
 - Axil de cálculo: $N_d = 806.3\text{kN}$ (compresión)
 - Momento flector $M_3 = M_y$: $M_{dy} = 10.2\text{kN}\cdot\text{m}$
 - Momento flector $M_2 = M_x$: $M_{dx} = 3.4\text{kN}\cdot\text{m}$

Con el Prontuario Informático del hormigón resulta un armado (disponiéndolo simétrico a cuatro caras) de $3\varnothing 12$ por cara, que estaría muy sobrado.

- SISMO17. Cogemos los esfuerzos en arranque de pilar, sección donde los momentos son mayores:
 - Axil de cálculo: Hay dos valores, uno positivo y otro negativo: $N_d = 281.5\text{kN}$ (tracción) y $N_d = 1624.8\text{kN}$ (compresión).
 - Momento flector $M_3 = M_y$: $M_{dy} = 86.1\text{kN}\cdot\text{m}$
 - Momento flector $M_2 = M_x$: $M_{dx} = 18.0\text{kN}\cdot\text{m}$

Con el Prontuario Informático del hormigón comprobamos a flexión esviada, para el mínimo y máximo axil:

- Con máximo axil:
 - $N_d = 1624.8\text{kN}$ (compresión)
 - Momento flector $M_3 = M_y$: $M_{dy} = 86.1\text{kN}\cdot\text{m}$
 - Momento flector $M_2 = M_x$: $M_{dx} = 18.0\text{kN}\cdot\text{m}$

Resulta un armado (disponiéndolo simétrico a cuatro caras) de $3\varnothing 20$ por cara, que cumpliría con los requisitos de la NCSE-02 y el Anejo nº10 de la EHE-08.

- Con mínimo axil:
 - $N_d = 281.5\text{kN}$ (tracción)
 - Momento flector $M_3 = M_y$: $M_{dy} = 86.1\text{kN}\cdot\text{m}$
 - Momento flector $M_2 = M_x$: $M_{dx} = 18.0\text{kN}\cdot\text{m}$

Resulta también un armado (disponiéndolo simétrico a cuatro caras) de $3\varnothing 20$ por cara.

- Dimensionamos a cortante el pilar 21 de planta baja (35x35), analizando los máximos cortantes con la combinación ENVOLVENTE. En dirección global X el máximo cortante tiene un valor $V_d = 42.3\text{kN}$, y corresponde a la hipótesis en la cual el sismo actúa al 100% en dirección global X (SISMO17). En dirección global Y el máximo cortante tiene un valor $V_d = 17.6\text{kN}$, y corresponde a la hipótesis en la cual el sismo actúa al 100% en dirección global Y (SISMO18). Para armar a cortante emplearemos un programa que nos sirva (no usar el Prontuario Informático que no está adaptado a la EHE-08). Se puede fabricar uno mismo fácilmente una hoja de cálculo en Excel. Necesitaremos como datos el valor del

axil en el pilar, y la armadura de flexión traccionada. Por ejemplo, en la hipótesis sísmica SISMO17 tenemos:

- Cortante mayorado: $V_d = 42.3\text{kN}$
- Axil pésimo: 281.5 kN (tracción, a mayor tracción peor comportamiento a cortante, ver artículo 44º EHE-08))
- Armadura de flexión: 3Ø20 (armadura traccionada en la cara del pilar)
- Comprobando con hoja de cálculo se obtiene que el hormigón basta para soportar todo el cortante ($V_{cu} = 68\text{kN} > V_d$). Cumpliendo con todos los requisitos de la NCSE-02 y el Anejo nº10 de la EHE-08, se dispondrían al menos cØ8a8cm en arranque y cabeza del pilar, en una longitud de 70cm (2 veces el canto del pilar) y cØ8a15cm en el resto de la longitud central del pilar.

Esfuerzos en pantallas

Las pantallas antisísmicas se dimensionarán a flexión esviada (N, M_x , M_y) y a cortante en dos direcciones principales. Con respecto al uso de ENVOLVENTE caben los mismos comentarios dichos para pilares.

Habrà que analizar fundamentalmente las combinaciones sísmicas:

- SISMO17 para dimensionar las pantallas en dirección global X (PANT-1, PANT-2, PANT-3 y PANT-4):
- SISMO18 para dimensionar las pantallas en dirección global Y (PANT-5, PANT-6, PANT-7 y PANT-8).

Vemos los esfuerzos en la barra 1 del modelo (PANT-3, planta baja), con SISMO17. Los más desfavorables están en la sección de arranque de la pantalla.

Con el Prontuario Informático del hormigón comprobamos a flexión esviada, para el mínimo y máximo axil:

- Con máximo axil:
 - $N_d = 2027.0\text{kN}$ (compresión)
 - Momento flector $M_3=M_y$: $M_{dy} = 9016.5\text{kN}\cdot\text{m}$
 - Momento flector $M_2=M_x$: $M_{dx} = 42.6\text{kN}\cdot\text{m}$

Para que cumpla tenemos que disponer un armado de 3Ø32 en la cara corta y 18Ø32 en la cara larga, que supone una cuantía de 4.89%, supera el máximo del 4% permitido por la NCSE-02 y el Anejo nº10 de la EHE-08.

- Con mínimo axil:
 - $N_d = 320.9\text{kN}$ (tracción)
 - Momento flector $M_3=M_y$: $M_{dy} = 9016.5\text{kN}\cdot\text{m}$
 - Momento flector $M_2=M_x$: $M_{dx} = 42.6\text{kN}\cdot\text{m}$

Para que cumpla tenemos que disponer un armado de $3\varnothing 32$ en la cara corta y $20\varnothing 32$ en la cara larga, que supone una cuantía de 5.40%, supera el máximo del 4% permitido por la NCSE-02 y el Anejo nº10 de la EHE-08.

Las opciones podrían pasar por:

- A) Aumentar la sección de los pilares con objeto de rigidizar estos con relación a las pantallas, y que éstas se lleven menos sismo. Esta opción parece menos interesante, ya que lo que buscamos al introducir pantallas antisísmicas en el edificio es conseguir reducción de sección de pilares para que molesten menos a la arquitectura.
- B) Aumentar la sección de las pantallas (canto o ancho, o ambos) para que la cuantía geométrica se sitúe por debajo del 4%. Realizar esta medida, no obstante, aumenta todavía más el esfuerzo flector en la pantalla por dos motivos:
- Aumenta la rigidez del conjunto de la estructura, con lo cual el 1er y 2º modos de vibración ($T_1 = 0.72524\text{seg}$, $T_2 = 0.68785\text{ seg}$) serán menores, la ordenada espectral será mayor (más cerca de la meseta), aumentando los cortantes y flectores por sismo.
 - Aumenta la rigidez de las pantallas con respecto a los pilares, con lo que al repartir los esfuerzos entre ellos las pantallas se llevan más esfuerzo sísmico. Aún así, como las pantallas ya absorben mucho más sismo que los pilares (del orden de 100 veces más, comparando el momento flector del pilar 21 ($M_d=86.1\text{kN}\cdot\text{m}$) y la pantalla PANT-3 ($M_d=9016.5\text{kN}\cdot\text{m}$) el aumento de momento flector en las pantallas no será grande.

Probamos aumentando el espesor de 25cm a 30cm y la longitud de la pantalla de 2.50m a 3.00m. Los nuevos esfuerzos son:

- Con máximo axil:
 - $N_d = 1895.5\text{kN}$ (compresión)
 - Momento flector $M_3=M_y$: $M_{dy} = 12445.9\text{kN}\cdot\text{m}$
 - Momento flector $M_2=M_x$: $M_{dx} = 52.0\text{kN}\cdot\text{m}$

Cumple con $3\varnothing 32$ en la cara corta y $20\varnothing 32$ en la cara larga (prácticamente $\varnothing 32 \times 15\text{cm}$), que supone una cuantía de 3.76%, inferior al 4%.

- Con mínimo axil:
 - $N_d = 59.4\text{kN}$ (compresión)
 - Momento flector $M_3=M_y$: $M_{dy} = 12445.9\text{kN}\cdot\text{m}$
 - Momento flector $M_2=M_x$: $M_{dx} = 52.0\text{kN}\cdot\text{m}$

Cumple con $3\varnothing 32$ en la cara corta y $21\varnothing 32$ en la cara larga ($\varnothing 32 \times 15\text{cm}$), que supone una cuantía de 3.93%, inferior al 4%.

Las pantallas en dirección Y también cumplen con un armado similar.

Al aumentar las pantallas de 2.50mx0.25m a 3.00mx0.30m los dos primeros periodos de vibración han disminuido, resultan ahora $T_1 = 0.60416$ segundos y $T_2 = 0.57881$ segundos. Como curiosidad también, el 2º modo rotacional ya no se incluye en los 12 primeros modos, pues ha aumentado la rigidez del edificio a torsión al aumentar las pantallas. Diciéndole al programa que me calcule los 20 primeros modos y me los incluya en el análisis (modificándolo en Define → Load Cases → Modal) y corriéndolo de nuevo, vemos que el 2º modo rotacional se nos ha ido al nº16, y vale $T_{16} = 0.0891$ seg. No obstante, tiene muy poca importancia en la respuesta del edificio, si volvemos a leer los esfuerzos en la pantalla PANT-3, no han variado nada.

Dimensionamos a cortante la pantalla PANT-3 de planta baja para el último caso con pantallas de 3.00mx0.30m, analizando los máximos cortantes con la combinación ENVOLVENTE. En dirección global X el máximo cortante tiene un valor $V_d = 1450.6$ kN, y corresponde a la hipótesis en la cual el sismo actúa al 100% en dirección global X (SISMO17). En dirección global Y el máximo cortante tiene un valor $V_d = 40.7$ kN, y corresponde a la hipótesis en la cual el sismo actúa al 100% en dirección global Y (SISMO18). Para armar a cortante emplearemos una hoja de cálculo en Excel. Necesitaremos como datos el valor del axil en la pantalla, y la armadura de flexión traccionada. En la hipótesis sísmica SISMO17 tenemos por tanto:

- Cortante mayorado: $V_d = 1450.6$ kN
- Axil pésimo: 59.4 kN (compresión, a menor compresión peor comportamiento a cortante, ver artículo 44º EHE-08)
- Armadura de flexión: 3Ø32 (armadura traccionada en la cara corta de la pantalla)
- Comprobando con hoja de cálculo se obtiene que necesitamos una armadura de cortante compuesta por cØ12a15cm. Cumpliendo con todos los requisitos de la NCSE-02 y el Anejo nº10 de la EHE-08, se dispondrían además cercos de confinamiento entre todas las barras verticales de flexión, en los bordes de la pantalla, en $L/5 = 300\text{cm}/5 = 60\text{cm}$

16.1.4. Reacciones en cimentación

Las podemos ver haciendo: MENÚ SUPERIOR → Display → Show Forces/Stresses → Joints → Seleccionamos arriba la combinación que queramos ver “Case/Combo”, por ejemplo “SISMO17” → El programa dibuja en pantalla las reacciones (3 fuerzas y 3 momentos de empotramiento) en todos los nudos donde tengamos definidas condiciones de contorno (RESTRAINTS). Si pinchamos con el ratón un nudo empotrado (por ejemplo el empotramiento de PANT-3) y hacemos click en el botón derecho,

vemos una tablita con los valores numéricos, donde 1 es el eje global X, 2 es el eje global Y y 3 es el eje global Z.

ANÁLISIS DEL MISMO EDIFICIO SIN PANTALLAS

Con objeto de comparar el comportamiento del edificio con pantallas y sin pantallas, analizamos el mismo edificio, donde sustituimos las 8 pantallas por pilares con las mismas secciones que el resto.

Resulta lo siguiente.

Modos de vibración:

- $T_1 = 1.53874$ seg (1er modo traslacional en Y)
- $T_2 = 1.40301$ seg (1er modo traslacional en X)
- $T_3 = 1.36116$ seg (1er modo rotacional)
- $T_4 = 0.50969$ seg (2º modo traslacional en Y)
- $T_5 = 0.47447$ seg (2º modo traslacional en X)
- $T_6 = 0.45609$ seg (2º modo rotacional)
- Los modos del 7 al 9 son los terceros modos traslacionales y rotacional, y del 10 al 12 son los cuartos modos traslacionales y rotacional (no aparece antes ningún modo vertical de vigas).

Los modos más importantes (T_1 y T_2) observamos que se encuentran en el espectro de respuesta bastante a la derecha de la meseta espectral, con valores de dicha ordenada espectral del orden de 1.10 (recordemos que la meseta espectral tiene una ordenada de 2.50). Esto quiere decir que el cortante basal en cimentación será mucho más pequeño que en el caso del edificio con pantallas, donde vimos que estábamos muy cerca de la meseta. Comprobamos estos cortantes basales para compararlos con los que nos salían en el edificio con pantallas, reflejados en el siguiente cuadro:

	Cortante basal dirección X (kN)	Cortante basal dirección Y (kN)
Edificio con pantallas	5471.3	5740.0
Edificio sin pantallas	3044.1	2720.7

Como vemos, se han reducido bastante. No obstante, analicemos los esfuerzos en pilares ante sismo, y veamos qué pasa.

Esfuerzos en pilar 21 de planta baja (35x35):

SISMO17. Cogemos los esfuerzos en arranque de pilar, sección donde los momentos son mayores:

- Con máximo axil:
 - $N_d = 969.0$ kN (compresión)

- Momento flector $M3=My: Mdy = 303.1\text{kN}\cdot\text{m}$
- Momento flector $M2=Mx: Mdx = 81.7\text{kN}\cdot\text{m}$

Resulta un armado (disponiéndolo simétrico a cuatro caras) de $5\varnothing25$ por cara, que da una cuantía geométrica de 6.4%, superior al máximo permitido por la NCSE-02 y el Anejo nº10 de la EHE-08 (como máximo el 6%). Con esta cuantía máxima te obliga la norma a emplear pilares con más sección de hormigón. Habría que ir a pilares de mayor sección (40×40 como mínimo).

- Con mínimo axil:
 - $Nd = 728.7\text{kN}$ (compresión)
 - Momento flector $M3=My: Mdy = 303.1\text{kN}\cdot\text{m}$
 - Momento flector $M2=Mx: Mdx = 81.7\text{kN}\cdot\text{m}$

Resulta también un armado (disponiéndolo simétrico a cuatro caras) de $5\varnothing20$ por cara.

Es decir, el empleo de pantallas antisísmicas nos permite emplear pilares más pequeños, que molestarán menos a la arquitectura, consiguiendo que las pantallas absorban gran parte del sismo.

16.2. Salida con listados

Se accede con MENÚ PRINCIPAL → Display → Show Tables → aquí elegimos que nos muestre varias posibilidades de listados: geometría, cargas, resultados de esfuerzos, reacciones, etc. En la opción “Select Load Cases” seleccionamos la combinación para la cual listar los resultados. Por ejemplo si seleccionamos “ANALYS RESULTS” → Structure Output, para “SISMO17” → OK → vemos su tabla de resultados.

Todas las tablas se pueden exportar a Excel, Word o Access, haciendo por ejemplo, con la tabla abierta en pantalla, arriba a la izquierda de la tabla → File → Export Current Table → To Excel → SAP genera autocámicamente un fichero Excel ordenado incluso con pestañas.

MÓDULO 3

CÁLCULO DE UN TABLERO DE PUENTE DE VIGAS PREFABRICADAS MEDIANTE UN MODELO DE EMPARRILLADO

CURSO SAP2000

MÓDULO 3: CÁLCULO DE UN TABLERO DE PUENTE DE VIGAS PREFABRICADAS MEDIANTE UN MODELO DE EMPARRILLADO

DESCRIPCIÓN DEL PUENTE:

- Puente de dos vanos (dos estribos y una pila central) de 25.00m de luz de cálculo en cada vano, solucionado con tablero de vigas doble T
- Ancho de tablero: 10m formado por: dos carriles de 3.50m de anchura, más anchura de 1.50m a cada lado ocupada por arcén + barrera de seguridad
- Tablero formado por 5 vigas modelo "JABALÍ" (casa Pacadar). Losa superior hormigonada in situ, de espesor 25cm. Prelosas entre vigas (espesor 5cm) como encofrado perdido.
- Hormigón HP-50 en vigas prefabricadas ($f_{ck}=50\text{N/mm}^2$), HA-25 en losa superior hormigonada in situ ($f_{ck}=25\text{N/mm}^2$)
- Cargas sobre el tablero:
 - Vigas doble T, modelo "JABALÍ":
 - Área de vigas: $0.5172\text{m}^2 \rightarrow$ Peso propio de vigas: $0.5172\text{m}^2 \times 24.5\text{kN/m}^3 = 12.68\text{kN/m}$
 - Losa superior hormigonada in situ, espesor 25cm: $0.25\text{m} \times 24.5\text{kN/m}^2 = 6.13\text{kN/m}^2$
 - Asfalto:
 - 6cm de espesor $\rightarrow 0.06\text{m} \times 23\text{kN/m}^2 = 1.38\text{kN/m}^2$
 - Considerando un recrecido del 50% según IAP-11 $\rightarrow 0.09\text{m} \times 23\text{kN/m}^2 = 2.07\text{kN/m}^2$
 - Barreras de seguridad (imposta de hormigón armado + barrera metálica + zócalo de hormigón armado) $\sim 10\text{kN/m}$
 - Sobrecarga de uso:

Se considera una sobrecarga uniforme y una sobrecarga debida a vehículos pesados, según la tabla 4.1-b de la IAP-11

TABLA 4.1-b VALOR CARACTERÍSTICO DE LA SOBRECARGA DE USO

SITUACIÓN	VEHÍCULO PESADO $2Q_{rk}$ [kN]	SOBRECARGA UNIFORME q_{rk} (ó q_{rk}) [kN/m ²]
Carril virtual 1	2 · 300	9,0
Carril virtual 2	2 · 200	2,5
Carril virtual 3	2 · 100	2,5
Otros carriles virtuales	0	2,5
Área remanente (q_{rk})	0	2,5

La plataforma de ancho w se divide en n_l carriles virtuales, de anchura w_l cada uno, según la tabla 4.1-a de la IAP-11. La plataforma será toda la zona por donde puedan circular vehículos, comprendida entre caras interiores de zócalos de barreras de seguridad o de bordillos de aceras.

En nuestro caso los zócalos de las barreras de seguridad tienen un ancho de 50cm, por tanto la plataforma tiene una anchura de $10.00\text{m} - 2 \cdot 0.50\text{m} = 9.00\text{m}$

TABLA 4.1-a DEFINICIÓN DE LOS CARRILES VIRTUALES

ANCHURA DE LA PLATAFORMA (w)	NÚMERO DE CARRILES VIRTUALES (n_l)	ANCHURA DEL CARRIL VIRTUAL (w_l)	ANCHURA DEL ÁREA REMANENTE
$w < 5,4 \text{ m}$	$n_l = 1$	3 m	$w - 3 \text{ m}$
$5,4 \text{ m} \leq w < 6 \text{ m}$	$n_l = 2$	$\frac{w}{2}$	0
$w \geq 6 \text{ m}$	$n_l = \text{ent} \left(\frac{w}{3} \right)$	3 m	$w - 3n_l$

En nuestro caso tendremos 3 carriles de 3m de anchura, sin área remanente restante.

En la figura 4.1-b de la IAP-11 se observa la distribución de la sobrecarga uniforme y vehículos pesados. Se observa que cada carro tiene dos ejes, separados longitudinalmente a 1.20m, y las dos ruedas de cada eje están separadas transversalmente a 2.00m. Cada carro se sitúa centrado en el ancho del carril.

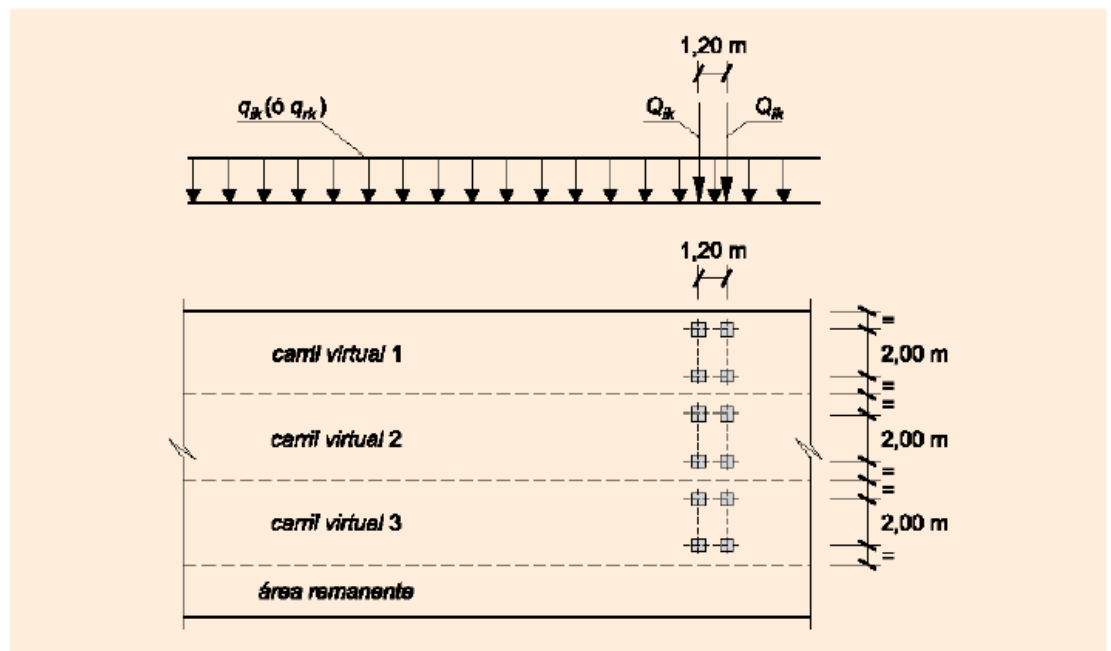
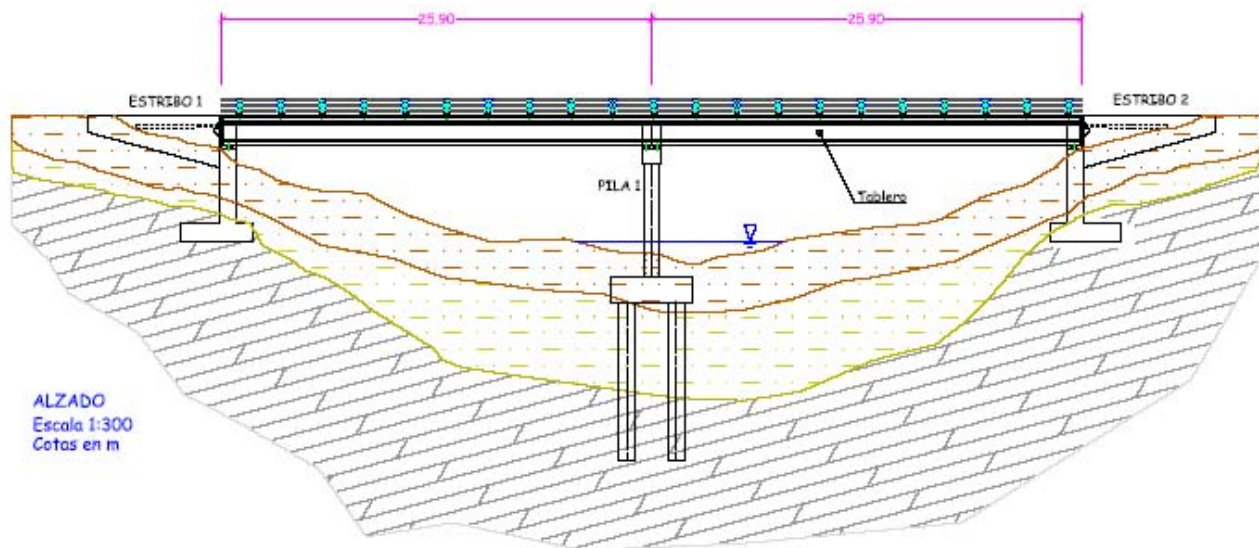


FIGURA 4.1-b DISTRIBUCIÓN DE VEHÍCULOS PESADOS Y SOBRECARGA UNIFORME

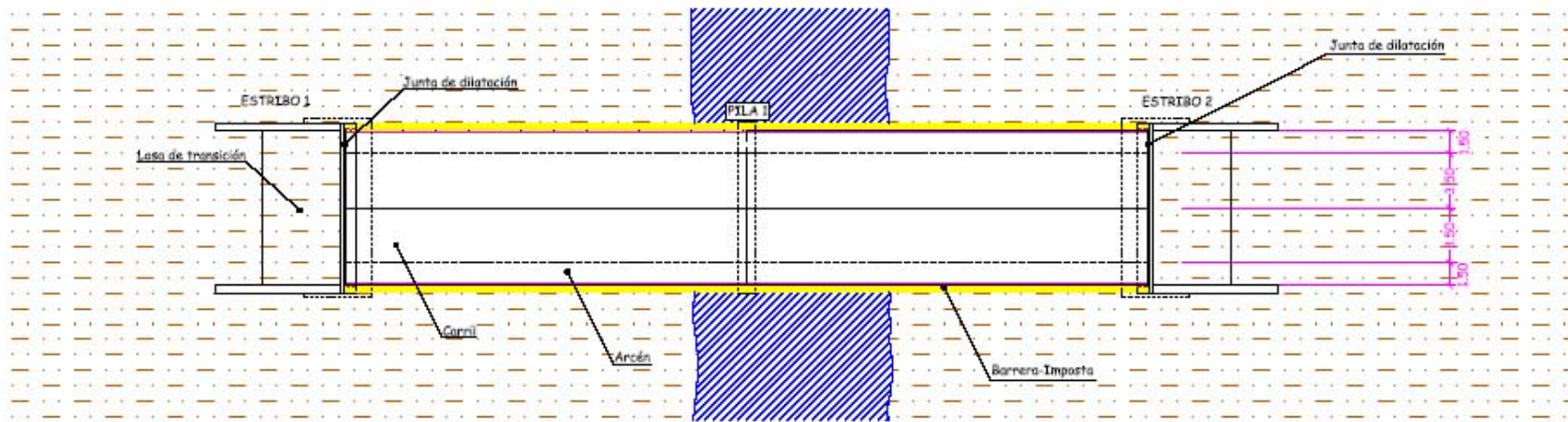
No aplicaremos acciones térmicas ni reológicas pues no afectan al cálculo del tablero, sólo afectan a estribos y pila. Estas acciones se analizan independientemente del tablero para esta tipología de puentes.

Igualmente las acciones horizontales de viento, frenado y sismo tampoco afectan al tablero en esta tipología de puentes, y no las incluiremos. Sólo afectan a estribos y pila, y se analizan independientemente del tablero. La componente vertical del sismo sí afecta al tablero, pero en este puente no resulta más desfavorable para el dimensionamiento del tablero que las hipótesis sin sismo pues las sobrecargas concomitantes con el sismo son pequeñas (20% de la sobrecarga uniforme según tabla 6.1.-a de la IAP-11).

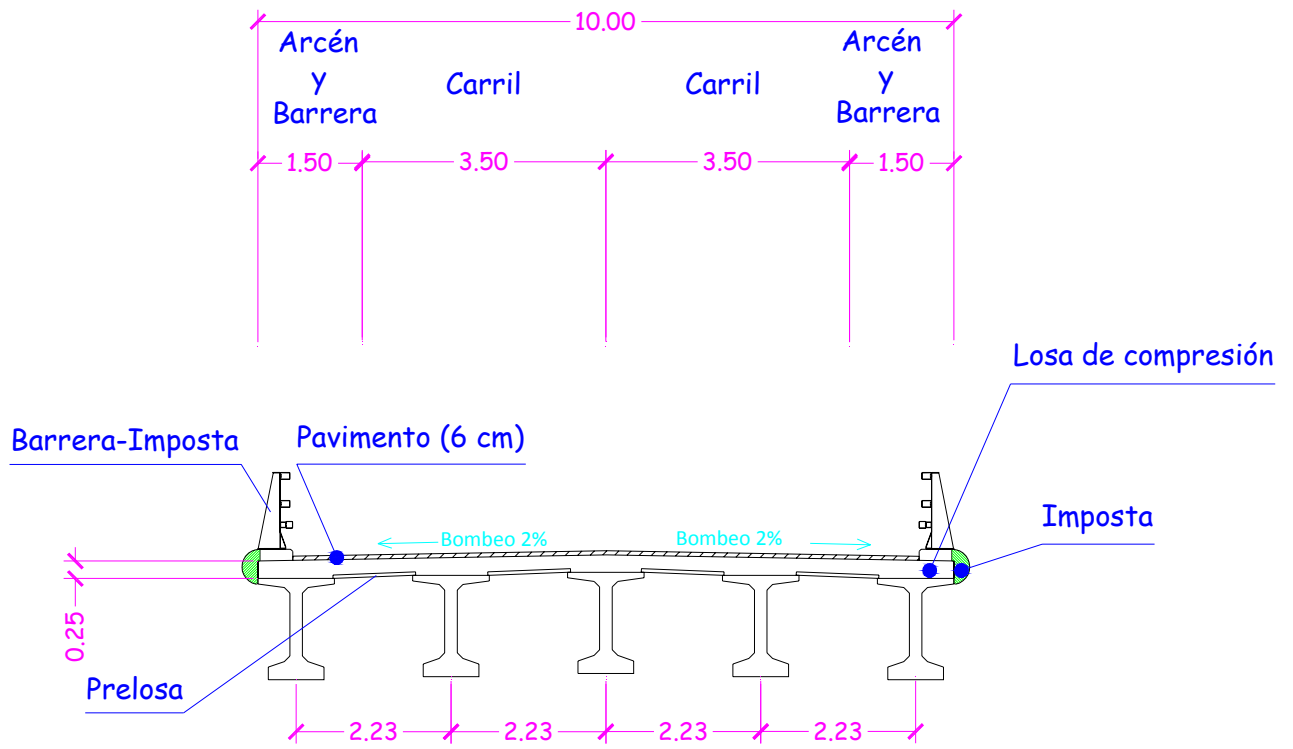
En las siguientes páginas se muestra la geometría del puente, del tablero, y sección de vigas.



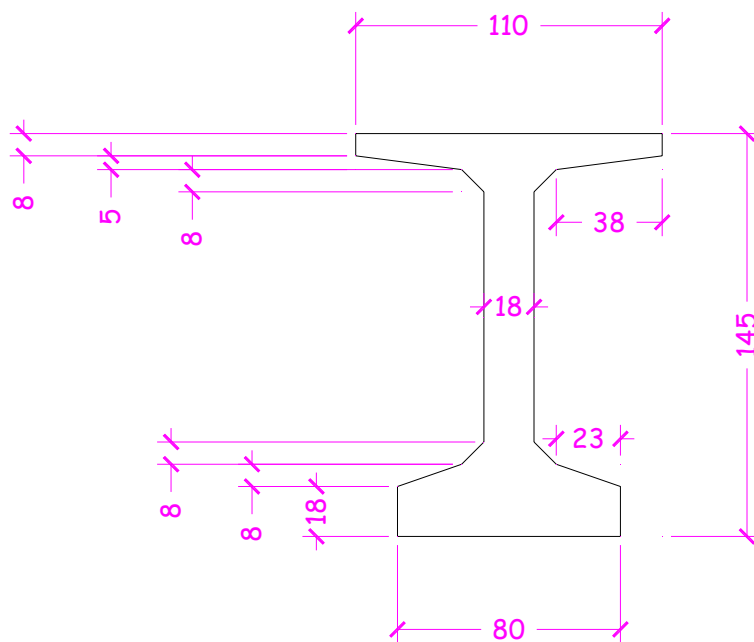
ALZADO
Escala 1:300
Cotas en m



PLANTA
Escala 1:300
Cotas en m



SECCIÓN TRANSVERSAL DEL TABLERO



GEOMETRÍA VIGA JABALÍ

1. SELECCIÓN DE UNIDADES

Tenemos que seleccionar las unidades de Fuerza, Distancia y Temperatura

- Pestaña inferior derecha de la pantalla → Seleccionamos Kn, m, C (C=grados centígrados)

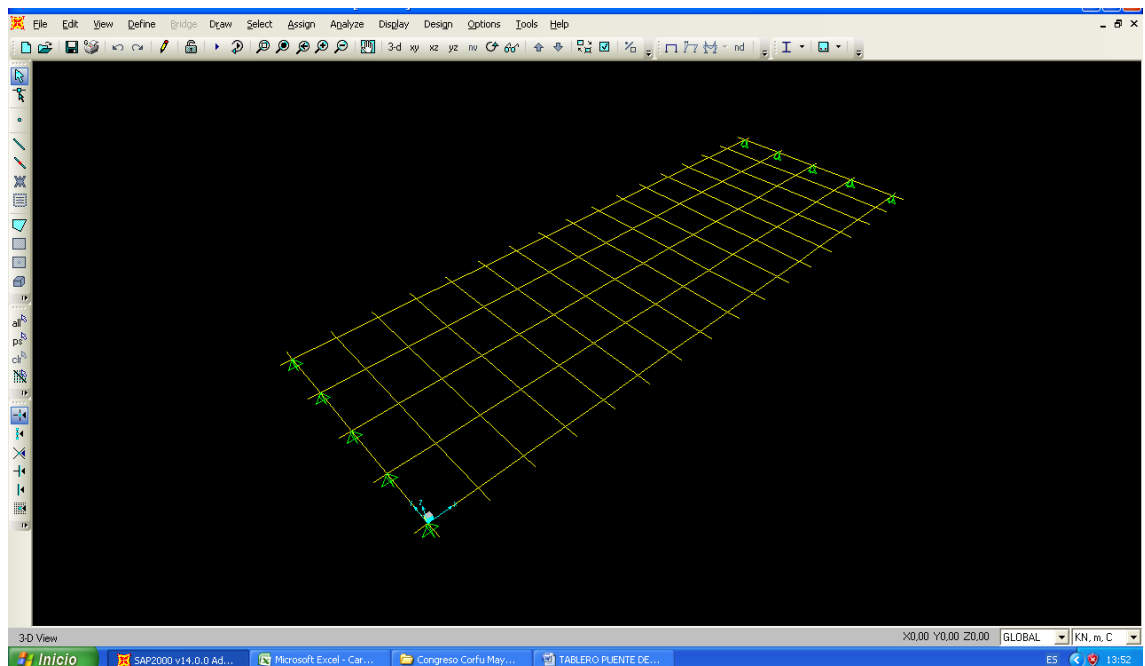
2. GEOMETRÍA DEL MODELO

La geometría del modelo se puede generar con dos opciones:

- 2.1. Generación automática con la biblioteca de SAP2000. Es la opción preferible con geometrías repetitivas estándar.
- 2.2. Importando un fichero DXF de autocad, con la geometría de las barras ya generada. Esta opción se reservará para geometrías complejas (cubierta espacial para un edificio deportivo, puente atirantado...). El tablero de vigas que vamos a modelizar es muy sencillo, pero emplearemos esta opción para aprender cómo se hace.

Con respecto al modelo de emparrillado que vamos a realizar, varias cuestiones:

- Únicamente modelizaremos un vano, pues el cálculo del tablero es independiente vano a vano en puentes de vigas simplemente apoyados
- Las vigas se apoyan con neoprenos zunchados en estribos y pila. Desde el eje de apoyos hasta los bordes extremos longitudinales del tablero, hay una distancia de 40cm
- Para la planta del tablero (10.00mx25.00m aproximadamente) hay que discretizar el modelo del emparrillado haciendo coincidir barras con los ejes de las 5 vigas longitudinales, y la losa superior se discretizará con barras transversales, dividiendo la longitud de 25.00m en al menos 10-15 tramos. Buscaremos mejor un número par en esta última discretización, de manera que el centro de luz del vano coincida con línea de nudos del modelo. En la siguiente figura vemos el modelo de emparrillado a generar.



Generación de la geometría del modelo importando un fichero DXF de autocad

Pasos a seguir:

1. Generamos en autocad el modelo de emparrillado (en 2D, eje X longitudinal e Y transversal), dentro de una capa que llamamos por ejemplo "BARRAS". Le llamamos al fichero por ejemplo "Modelo tablero" (OJO, no generarla en la capa "0" de autocad, que SAP no la reconoce)
2. Guardamos el fichero en dxf
3. MENÚ SUPERIOR → File → Import → AutoCAD.dxf_File → seleccionamos el fichero dxf desde la carpeta donde esté guardado → Abrir → en el cuadro para seleccionar X,Y,Z, seleccionamos Z+ → se abre un cuadro donde tenemos que seleccionar las capas donde está generado el modelo. Por tanto en "Frames" seleccionamos "BARRAS"
4. El emparrillado ya está importado en SAP
5. Seleccionamos todo el modelo hasta que el (0,0,0) coincida con el apoyo de la viga más cercano a nosotros.

3. CONDICIONES DE CONTORNO

Establecemos las condiciones de contorno del modelo, que son los apoyos de las vigas en estribo y pila.

Coaccionamos el desplazamiento en los tres ejes del espacio (X, Y, Z) a los 5 nudos de apoyo del tablero en un extremo de las vigas, y a los 5 nudos de apoyo del otro lado les permitimos el movimiento longitudinal en el eje X global, es decir coaccionamos desplazamientos sólo en Y y en Z.

4. MATERIALES

Las vigas se fabrican con HP-50 ($f_{ck}=50\text{N/mm}^2$) y la losa superior con HA-25 ($f_{ck}=25\text{N/mm}^2$). Sus características son:

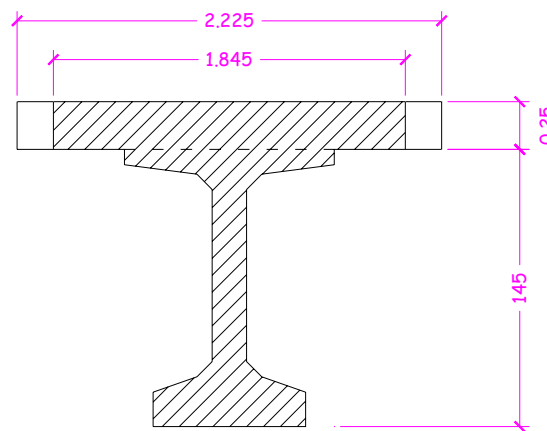
- Densidad: 2.5 T/m³
- Peso específico: $2.5 \cdot 9.8065 = 24.51625 \text{ kN/m}^3$
- Módulo de elasticidad (art. 39.6 de la EHE-08) → tomamos el módulo de deformación longitudinal secante a 28 días →
 - HP-50: $E_{cm} = 8500 \cdot (f_{cm})^{1/3} = 8500 \cdot (f_{ck}+8)^{1/3} = 8500 \cdot (50+8)^{1/3} = 27264.04 \text{ N/mm}^2 = 32902451 \text{ kN/m}^2$
 - HA-25: $E_{cm} = 8500 \cdot (f_{cm})^{1/3} = 8500 \cdot (f_{ck}+8)^{1/3} = 8500 \cdot (25+8)^{1/3} = 27264.04 \text{ N/mm}^2 = 27264042 \text{ kN/m}^2$
- Coeficiente de Poisson (art. 39.9 de la EHE-08) → $\mu = 0.20$
- Coeficiente de dilatación térmica (art. 39.10 de la EHE-08) → $\alpha = 1 \cdot 10^{-5}$
- Módulo de elasticidad transversal (o módulo de cortante) →
 - HP-50 → $G = E/[2 \cdot (1+\mu)] = 32902451 \text{ kN/m}^2 / [2 \cdot (1+0.20)] = 13709355 \text{ kN/m}^2$
 - HA-25 → $G = E/[2 \cdot (1+\mu)] = 27264042 \text{ kN/m}^2 / [2 \cdot (1+0.20)] = 11360018 \text{ kN/m}^2$

Introducimos estos datos en SAP2000. Ya sabemos hacerlo, ver módulo 2 (edificio).

5. CREACIÓN DE SECCIONES

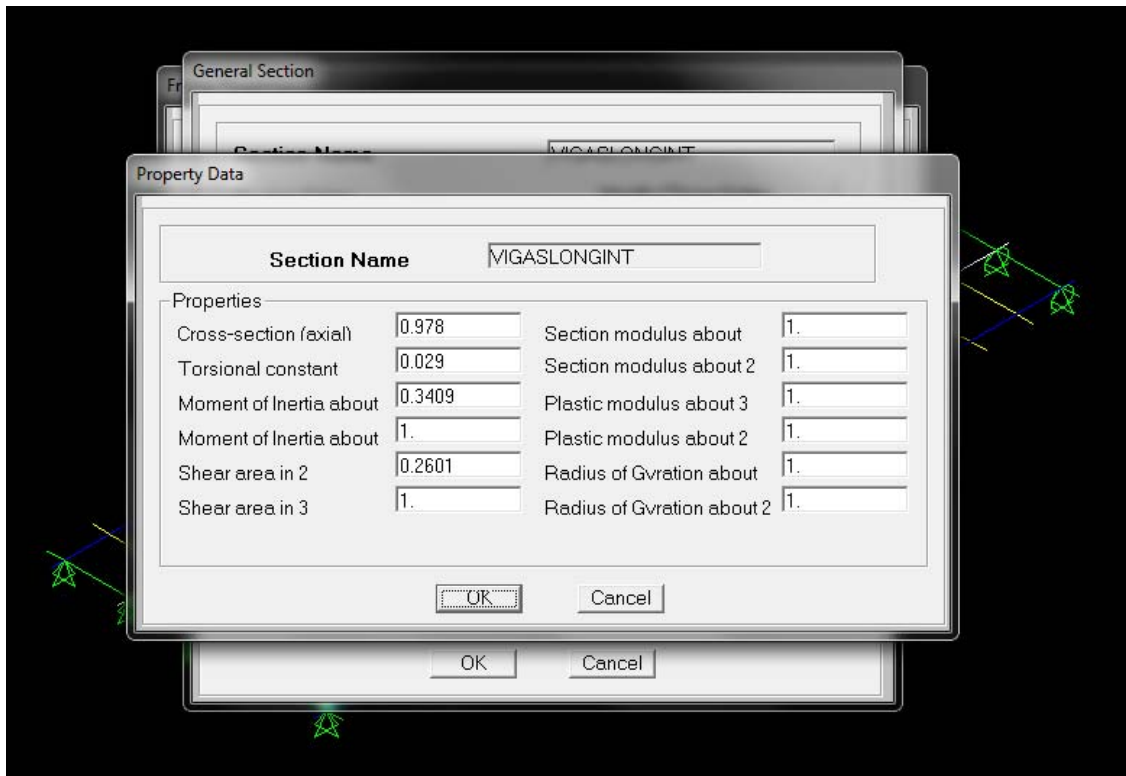
Creamos cuatro secciones:

- 1. VIGASLONGINT: Vigas longitudinales interiores, formadas por la viga jabalí y la parte de losa superior que forma con ellas la sección mixta (ancho de losa de 2.225m). Para obtener las características mecánicas transformamos todo a HP-50. Para ello el ancho real de 2.225m se multiplica por el coeficiente de equivalencia entre HA-25 y HP-50 ($n = E_{HA-25} / E_{HP-50} = (27264042 \text{ kN/mm}^2) / (32902451 \text{ kN/m}^2) = 0.829$), de manera que $2.225 \text{ m} \times 0.829 = 1.845 \text{ m}$, quedando la siguiente sección (área rayada):



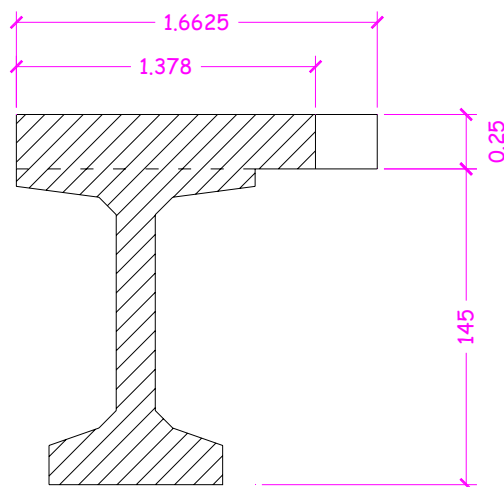
Para obtener las características mecánicas de la sección mixta viga+losa empleamos una hoja Excel, donde obtenemos el área y la inercia a flexión. También se pueden obtener las características mecánicas con la opción “section designer” de SAP2000 para definir secciones. El área de cortante es el área del alma multiplicada por 0.85 ($A_{\text{cortante}}: (1.45 \text{ m} + 0.25 \text{ m}) \times 0.18 \text{ m} \times 0.85 = 0.2601 \text{ m}^2$).

La sección VIGASLONGINT la generamos con una sección general: Define → Section Properties → Frame Sections → Concrete → Add New Property → en “Frame Section Property Type” seleccionamos “Other” → “General” y añadimos las características mecánicas que hemos creado anteriormente con una hoja de cálculo Excel, donde hemos homogeneizado a HP-50 al ancho de losa superior (2.225m) de hormigón HA-25 que le corresponde a esta viga interior.

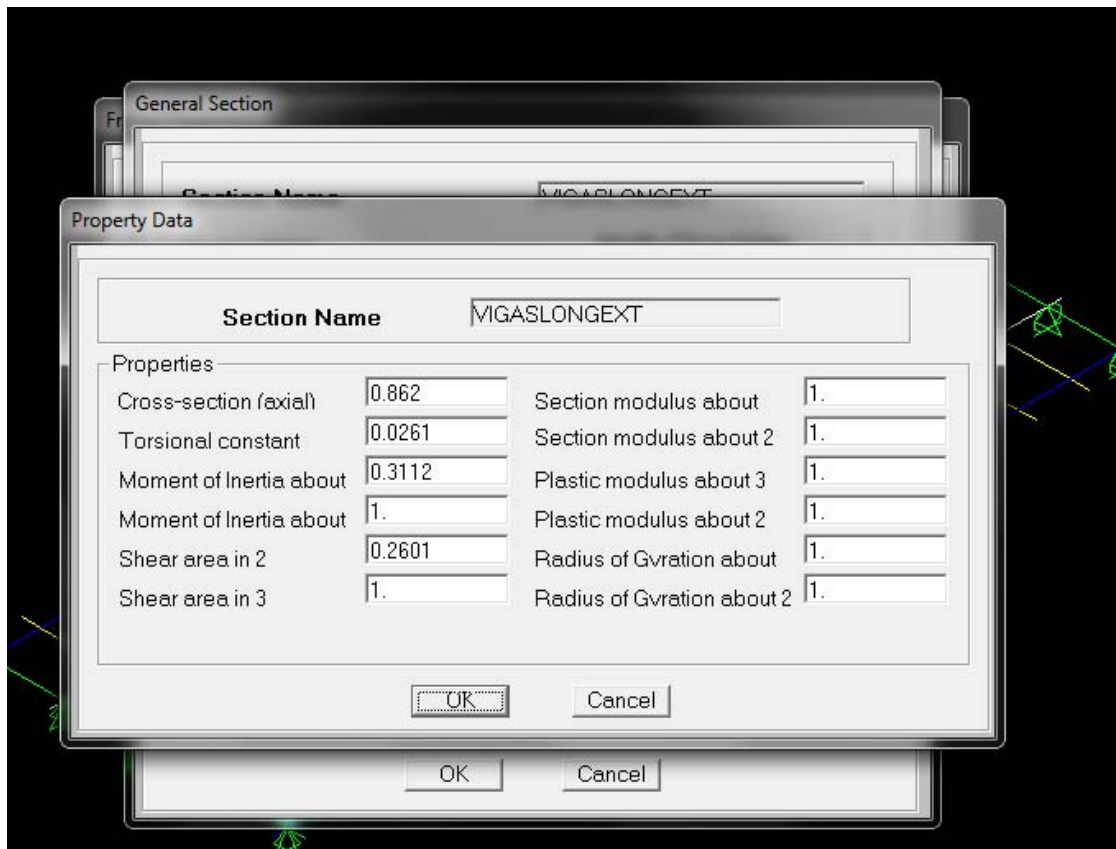


Seleccionamos material HP-50 para estas vigas.

- 2. VIGASLONGEXT: Vigas longitudinales exteriores, formadas por la viga jabalí y la parte de losa superior que forma con ellas la sección mixta (ancho de losa de $2.225\text{m}/2 + 1.10\text{m}/2 = 1.6625\text{m}$). Para obtener las características mecánicas transformamos todo a HP-50. Para ello el ancho real de 1.6625m se multiplica por el coeficiente de equivalencia entre HA-25 y HP-50 ($n = E_{\text{HA-25}}/E_{\text{HP-50}} = (27264042\text{kN}/\text{mm}^2)/(32902451\text{kN}/\text{m}^2) = 0.829$), de manera que $1.6625\text{m} \times 0.829 = 1.378\text{m}$, quedando la siguiente sección (área rayada):



La sección VIGASLONGEXT la generamos de igual manera, calculando previamente las características mecánicas con hoja Excel, o con “section designer” de SAP2000. El área de cortante es el área del alma multiplicada por 0.85 ($A_{\text{cortante}}: (1.45\text{m}+0.25\text{m})\times 0.18\text{m}\times 0.85 = 0.2601\text{m}^2$).



Seleccionamos material HP-50 para estas vigas.

- 3. VIGASTRANSINT: Vigas transversales interiores, formadas por la losa superior, de dimensiones rectangulares 1.5625m x 0.25m (ancho x canto). Las definimos con HA-25
- 4. VIGASTRANSEXT: Vigas transversales exteriores, que son las que van sobre las líneas de apoyo del tablero, en ambos extremos del mismo, de anchura $1.5625\text{m}/2 + 0.40\text{m} = 1.1813\text{m}$. Las definimos con sección rectangular 1.1813m x 0.25m (ancho x canto), asignándole material HA-25.

MUY IMPORTANTE:

El área de cortante la hemos definido porque el puente, al ser relativamente corto (25m) en relación con el canto total (1.70m), con una relación Luz/canto ~ 14.7 , presenta una deformación por cortante que tiene un peso proporcional apreciable, si bien la deformación por flexión es la que predomina. Para relaciones Luz/canto ≤ 10 no se puede despreciar la deformación por cortante. En elementos más esbeltos (relación Luz/canto $\geq 18-20$) la deformación por cortante es despreciable frente a la de flexión.

En nuestro caso establecemos un área de cortante (Shear area in 2 direction) igual a $0.18\text{m} \times 1.70\text{m} \times 0.85 = 0.2601\text{m}$ en las secciones VIGASLONGINT y VIGASLONGEXT. En las barras transversales las áreas de cortante las calcula directamente el programa a partir de la sección rectangular que hemos definido.

6. ASIGNACIÓN DE SECCIONES A BARRAS

Asignamos las secciones a barras, con la orden: Assign → Frame → Frame Sections (ver módulo 2 de edificio en 3D).

Al estar el modelo de barras contenido en un único plano (emparrillado) no hace falta crear grupos de barras, la asignación de secciones se hace seleccionando con el ratón directamente las barras (apoyándonos con las gafillas, icono del menú superior).

7. DEFINICIÓN DE TIPOS DE CARGAS

Las definimos con la orden: MENÚ SUPERIOR → Define → Load Patterns

Las cargas serán:

- Peso propio de vigas (VIGAS): se las aplicamos a las vigas longitudinales: $24.5\text{kN/m}^3 \times 0.5172\text{m}^2 = 12.672\text{kN/m}$
- Peso propio de losa superior (LOSA): la aplicamos en barras transversales del emparrillado:
 - En barras transversales interiores: $24.5\text{kN/m}^3 \times 0.25\text{m} \times 1.5625\text{m} = 9.571\text{kN/m}$
 - En barras transversales exteriores: $24.5\text{kN/m}^3 \times 0.25\text{m} \times 1.1813\text{m} = 7.236\text{kN/m}$
- Asfalto (ASFALTO): la aplicamos en barras transversales del emparrillado:
 - En barras transversales interiores: $23\text{kN/m}^3 \times 0.09\text{m} \times 1.5625\text{m} = 3.235\text{kN/m}$
 - En barras transversales exteriores: $23\text{kN/m}^3 \times 0.09\text{m} \times 1.1813\text{m} = 2.446\text{kN/m}$

En el ancho que ocupa el zócalo de la barrera no se dispone asfalto, por tanto no cargamos los 50cm de los extremos

- Barreras (BARRERAS): la aplicamos en los dos bordes laterales del tablero, como cargas en nudos:
 - En nudos intermedios del borde del tablero: $10\text{kN/m} \times 1.5625\text{m} = 15.625\text{kN}$
 - En nudos extremos del borde del tablero: $10\text{kN/m} \times 1.1813\text{m} = 11.813\text{kN}$
- Sobrecarga repartida: actuará en cada uno de los 3 carriles virtuales (C1, C2 y C3), con los valores de 9.0 kN/m^2 ó 2.5kN/m^2 en cada carril, según el esfuerzo más desfavorable que estemos calculando. La sobrecarga repartida actuará en toda la longitud del tablero (es lo más desfavorable), y se crearán 2 situaciones pésimas:

- a) Máxima sobrecarga repartida de 9.0kN/m^2 en carril central 2, y sobrecarga repartida de 2.5kN/m^2 en carriles laterales 1 y 3. Esta distribución de

sobrecarga provoca máximo momento flector y cortantes en la viga central del tablero

- b) Máxima sobrecarga repartida de 9.0kN/m^2 en carril lateral 1, y sobrecarga repartida de 2.5kN/m^2 en carriles central 2 y carril lateral 3. Esta distribución de sobrecarga provoca máximos momentos flectores y cortantes en las vigas laterales del tablero

Para ello tendremos que crear los siguientes “Load Patterns”:

- SCREPC1-2.5 (sobrecarga repartida en carril virtual 1, de valor 2.5kN/m^2). La aplicamos en barras transversales del emparrillado:
 - En barras transversales interiores: $2.5\text{kN/m}^3 \times 1.5625\text{m} = 3.91\text{kN/m}$
 - En barras transversales exteriores: $2.5\text{kN/m}^3 \times 1.1813\text{m} = 2.96\text{kN/m}$
 - SCREPC2-9 (sobrecarga repartida en carril virtual 2, de valor 9kN/m^2). La aplicamos en barras transversales del emparrillado:
 - En barras transversales interiores: $9\text{kN/m}^3 \times 1.5625\text{m} = 14.07\text{kN/m}$
 - En barras transversales exteriores: $9\text{kN/m}^3 \times 1.1813\text{m} = 10.64\text{kN/m}$
 - SCREPC3-2.5 (sobrecarga repartida en carril virtual 3, de valor 2.5kN/m^2). Con las mismas cargas que SCREPC1-2.5
 - SCREPC1-9 (sobrecarga repartida en carril virtual 1, de valor 9kN/m^2). Con las mismas cargas que SCREPC2-9
 - SCREPC2-2.5 (sobrecarga repartida en carril virtual 2, de valor 2.5kN/m^2). Con las mismas cargas que SCREPC1-2.5
- Sobrecarga del carro. Cada carro siempre irá centrado en cada carril 1, 2 y 3. Dispondremos los carros en 4 posiciones desfavorables:
 - a) Carro de 600kN en centro de vano en carril central 2 (CARROC2CL600), carro de 400 kN en centro de vano en carril lateral 1 (CARROC1CL400), y carro de 200kN en centro de vano en carril lateral 3 (CARROC3CL200). Esta distribución de carros provoca máximo momento flector en la viga central del tablero
 - b) Carro de 600kN en centro de vano en carril lateral 1 (CARROC1CL600), carro de 400 kN en centro de vano en carril central 2 (CARROC2CL400), y carro de 200kN en centro de vano en carril lateral 3 (CARROC3CL200). Esta distribución de carros provoca máximos momentos flectores en las vigas laterales del tablero
 - c) Carro de 600kN en extremo de vano en carril central 2 (CARROC2EX600), carro de 400 kN en extremo de vano en carril lateral 1 (CARROC1EX400), y carro de 200kN en extremo de vano en carril lateral 3 (CARROC3EX200). Esta distribución de carros provoca máximos cortantes en la viga central del tablero
 - d) Carro de 600kN en extremo de vano en carril lateral 1 (CARROC1EX600), carro de 400 kN en extremo de vano en carril central 2 (CARROC2EX400), y carro de 200kN en extremo de vano en carril lateral 3 (CARROC3EX200). Esta distribución de carros provoca máximos cortantes en las vigas laterales del tablero

Por tanto los "Load Patterns" a crear son: CARROC1CL400, CARROC2CL600, CARROC3CL200, CARROC1CL600, CARROC2CL400, CARROC1EX400, CARROC2EX600, CARROC3EX200, CARROC1EX600, CARROC2EX400

8. ASIGNACIÓN DE CARGAS A BARRAS Y NUDOS

- Las cargas en barras las aplicamos con la orden:
 - Sin son cargas distribuidas (todas menos el carro) → MENÚ SUPERIOR → Assign → Frame Loads → Distributed
 - Sin son cargas puntuales (las del carro) → MENÚ SUPERIOR → Assign → Frame Loads → Point
- Las cargas en nudos las aplicamos con la orden MENÚ SUPERIOR → Assign → Joint Loads → Forces

En el módulo 2 (edificio en 3D) aprendimos a introducir cargas. Vamos a explicar únicamente cómo introducir las cargas del carro.

Como el carro tiene unas dimensiones determinadas en planta (ver figura 4.1-b) que no coinciden con las distancias entre barras del emparrillado, tendríamos que situar las cargas puntuales del carro aplicando una regla de tres, según dónde caiga la rueda, sobre o entre barras.

Para simplificar, y como aproximación del lado de la seguridad, como la distancia entre ejes del carro en dirección longitudinal es de 1.20m y el tablero tiene 25m de luz, sumaremos la carga de los dos ejes y se la aplicaremos directamente a una barra transversal del modelo. Es decir, aplicamos cada carro sólo como dos cargas puntuales, separadas transversalmente 2.00m:

- CARROC1CL400: en centro de vano del carril 1, centrado en el ancho del tablero:
 - Barra 74 → desde $l=72$ → carga de 200kN a 0.45m
 - Barra 75 → desde $l=74$ → carga de 200kN a 0.225m
- CARROC2CL600: en centro de vano del carril 2, centrado en el ancho del tablero:
 - Barra 75 → desde $l=74$ → carga de 300kN a 1.225m
 - Barra 76 → desde $l=75$ → carga de 300kN a 1.00m
- CARROC3CL200: en centro de vano del carril 3, centrado en el ancho del tablero:
 - Barra 76 → desde $l=75$ → carga de 100kN a 2.00m
 - Barra 77 → desde $l=76$ → carga de 100kN a 1.775m
- CARROC1CL600: en centro de vano del carril 1, centrado en el ancho del tablero:
 - Barra 74 → desde $l=72$ → carga de 300kN a 0.45m
 - Barra 75 → desde $l=74$ → carga de 300kN a 0.225m

- CARROC2CL400: en centro de vano del carril 2, centrado en el ancho del tablero:
 - Barra 75 → desde l=74 → carga de 200kN a 1.225m
 - Barra 76 → desde l=75 → carga de 200kN a 1.00m
- CARROC1EX400: en extremo de vano del carril 1, centrado en el ancho del tablero:
 - Barra 32 → desde l=23 → carga de 200kN a 0.45m
 - Barra 33 → desde l=25 → carga de 200kN a 0.225m
- CARROC2EX600: en extremo de vano del carril 2, centrado en el ancho del tablero:
 - Barra 33 → desde l=25 → carga de 300kN a 1.225m
 - Barra 34 → desde l=26 → carga de 300kN a 1.00m
- CARROC3EX200: en extremo de vano del carril 3, centrado en el ancho del tablero:
 - Barra 34 → desde l=26 → carga de 100kN a 2.00m
 - Barra 35 → desde l=27 → carga de 100kN a 1.775m
- CARROC1EX600: en extremo de vano del carril 1, centrado en el ancho del tablero:
 - Barra 32 → desde l=23 → carga de 300kN a 0.45m
 - Barra 33 → desde l=25 → carga de 300kN a 0.225m
- CARROC2EX400: en extremo de vano del carril 2, centrado en el ancho del tablero:
 - Barra 33 → desde l=25 → carga de 200kN a 1.225m
 - Barra 34 → desde l=26 → carga de 200kN a 1.00m

9. DEFINICIÓN DEL TIPO DE ANÁLISIS ASOCIADO A CADA CARGA (LOAD CASES)

Se realiza con MENÚ SUPERIOR → Define → Load Cases, como ya vimos en el módulo 2. Todos los casos son cálculos lineales estáticos.

10. HIPÓTESIS DE COMBINACIÓN DE CARGAS

El siguiente paso es crear las combinaciones de cálculo de la IAP-11, para Estados Límite Últimos (ELU) y Estados Límite de Servicio (ELS), que son las siguientes:

6.3.1 COMBINACIONES PARA COMPROBACIONES EN ELU

Las combinaciones de acciones a tener en cuenta para las verificaciones en ELU, excluida la fatiga, serán las indicadas a continuación.

6.3.1.1 En situación persistente o transitoria

La combinación de acciones se hará de acuerdo con la expresión siguiente (*combinación fundamental*):

$$\sum_{j=1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \sum_{m=1} \gamma_{G,m} G_{k,m}^* + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{j=1} \gamma_{Q,j} \psi_{0,j} Q_{k,j}$$

donde:

- $G_{k,j}$ valor característico de cada acción permanente
- $G_{k,m}^*$ valor característico de cada acción permanente de valor no constante
- $Q_{k,1}$ valor característico de la acción variable dominante
- $\psi_{0,j} Q_{k,j}$ valor de combinación de las acciones variables concomitantes con la acción variable dominante
- $\gamma_G \gamma_Q$ coeficientes parciales

Deberán realizarse tantas hipótesis o combinaciones como sea necesario, considerando, en cada una de ellas, una de las acciones variables como dominante y el resto como concomitantes.

Al combinar las diferentes acciones variables, se tendrán en cuenta las prescripciones siguientes:

- La sobrecarga de uso estará representada, para su combinación con el resto de las acciones, mediante los grupos de cargas definidos en la *tabla 4.1-c*, que son excluyentes entre sí.

- Cuando se considere el viento transversal sobre el tablero, se considerará la actuación simultánea de la componente vertical del viento y el momento de vuelco correspondiente, definidos en el apartado 4.2.5.1.
- Cuando se considere el viento longitudinal sobre el tablero, según el apartado 4.2.5.2, no se considerará la actuación simultánea del viento transversal, ni el empuje vertical, ni el momento de vuelco correspondiente.
- La concomitancia de la componente uniforme de temperatura y de la componente de diferencia de temperatura se regirá por lo expuesto en el apartado 4.3.1.3.
- Cuando se considere la acción del viento como predominante, no se tendrá en cuenta la actuación de la sobrecarga de uso.
- Cuando se considere la sobrecarga de uso como predominante, se considerará el viento concomitante correspondiente, con las indicaciones que figuran en el apartado 4.2.3.
- Cuando se considere el grupo de cargas de tráfico *gr 2* (fuerzas horizontales con su valor característico), no se considerará la actuación del viento ni de la nieve.
- No se considerará la acción simultánea del viento y de la acción térmica.
- En general, no se considerará la acción simultánea de la carga de nieve y la sobrecarga de uso salvo en zonas de alta montaña, en cuyo caso se estudiará para el proyecto concreto la distribución espacial y la concomitancia de ambas acciones.

6.3.1.2 En situación accidental

La combinación de acciones en situación accidental se hará de acuerdo con la expresión siguiente:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + \sum_{m \geq 1} G'_{k,m} + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i \geq 2} \psi_{2,i} Q_{k,i} + A_d$$

donde:

- $G_{k,j}$ valor representativo de cada acción permanente
- $G'_{k,m}$ valor representativo de cada acción permanente de valor no constante
- $\psi_{1,1} Q_{k,1}$ valor frecuente de la principal acción variable concomitante con la acción accidental
- $\psi_{2,i} Q_{k,i}$ valor casi-permanente del resto de las acciones variables concomitantes
- A_d valor de cálculo de la acción accidental

En general, en situación accidental, no se considerará la actuación del viento ni de la nieve.

Cuando la situación accidental esté provocada por un impacto contra el sistema de contención de vehículos, se tendrá en cuenta lo expuesto en el apartado 5.1.2, respecto a la combinación con otras acciones.

6.3.1.3 En situación sísmica

La combinación de acciones en situación sísmica se hará de acuerdo con la expresión siguiente:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + \sum_{m \geq 1} G'_{k,m} + \psi_{2,1} Q_{k,1} + A_{Ed}$$

donde:

- $G_{k,j}$ valor representativo de cada acción permanente
- $G'_{k,m}$ valor representativo de cada acción permanente de valor no constante
- $\psi_{2,1} Q_{k,1}$ valor casi-permanente de la sobrecarga de uso (según tabla 6.1-a)
- A_{Ed} valor de cálculo de la acción sísmica

6.3.2 COMBINACIONES PARA COMPROBACIONES EN ELS

Según el estado límite de servicio que se vaya a verificar, se adoptará uno de los tres tipos de combinación de acciones indicados a continuación.

- Combinación característica (poco probable o rara):

$$\sum_{j=1}^n \gamma_{G,j} G_{k,j} + \sum_{m=1}^n \gamma_{G,m} G'_{k,m} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i=1}^n \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Esta combinación, que coincide formalmente con la combinación fundamental de ELU, se utiliza en general para la verificación de ELS irreversibles.

- Combinación frecuente:

$$\sum_{j=1}^n \gamma_{G,j} G_{k,j} + \sum_{m=1}^n \gamma_{G,m} G'_{k,m} + \gamma_{Q,1} \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i=1}^n \gamma_{Q,i} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

Esta combinación se utiliza en general para la verificación de ELS reversibles.

- Combinación casi-permanente:

$$\sum_{j=1}^n \gamma_{G,j} G_{k,j} + \sum_{m=1}^n \gamma_{G,m} G'_{k,m} + \sum_{i=1}^n \gamma_{Q,i} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

Esta combinación se utiliza también para la verificación de algunos ELS reversibles y para la evaluación de los efectos diferidos.

Serán también de aplicación las prescripciones recogidas en el apartado 6.3.1.1.

En las siguientes tablas obtenidas de la IAP-11 se observan los coeficientes gamma “ γ ” de mayoración:

TABLA 6.2-b COEFICIENTES PARCIALES PARA LAS ACCIONES γ_F
(PARA LAS COMPROBACIONES RESISTENTES)

ACCIÓN		EFECTO	
		FAVORABLE	DESFAVORABLE
Permanente de valor constante (G)	Peso propio	1,0	1,35
	Carga muerta	1,0	1,35
Permanente de valor no constante (G*)	Pretensado P_1	1,0	1,0 / 1,2 ⁽¹⁾ / 1,3 ⁽²⁾
	Pretensado P_2	1,0	1,35
	Otras presolicitaciones	1,0	1,0
	Reológicas	1,0	1,35
	Empuje del terreno	1,0	1,5
	Asientos	0	1,2 / 1,35 ⁽³⁾
	Rozamiento de apoyos deslizantes	1,0	1,35
Variable (Q)	Sobrecarga de uso	0	1,35
	Sobrecarga de uso en terraplenes	0	1,5
	Acciones climáticas	0	1,5
	Empuje hidrostático	0	1,5
	Empuje hidrodinámico	0	1,5
	Sobrecargas de construcción	0	1,35

- (1) El coeficiente $\gamma_{G^*} = 1,2$ será de aplicación al pretensado P_1 en el caso de verificaciones locales tales como la transmisión de la fuerza de pretensado al hormigón en zonas de anclajes, cuando se toma como valor de la acción el que corresponde a la carga máxima (tensión de rotura) del elemento a tasar.
- (2) El coeficiente $\gamma_{G^*} = 1,3$ se aplicará al pretensado P_1 en casos de inestabilidad (pandeo) cuando ésta pueda ser inducida por el axil debido a un pretensado exterior.
- (3) El coeficiente $\gamma_{G^*} = 1,35$ corresponde a una evaluación de los efectos de los asientos mediante un cálculo elasto-plástico, mientras que el valor $\gamma_{G^*} = 1,2$ corresponde a un cálculo elástico de esfuerzos.

TABLA 6.2-c COEFICIENTES PARCIALES PARA LAS ACCIONES γ_F (ELB)

ACCIÓN		EFECTO	
		FAVORABLE	DESFAVORABLE
Permanente de valor constante (G)	Peso propio	1,0	1,0
	Carga muerta	1,0	1,0
Permanente de valor no constante (G^*)	Pretensado P_1	0,9 ⁽¹⁾	1,1 ⁽¹⁾
	Pretensado P_2	1,0	1,0
	Otras presolicitaciones	1,0	1,0
	Reológicas	1,0	1,0
	Empuje del terreno	1,0	1,0
	Asientos	0	1,0
	Rozamiento de apoyos deslizantes	1,0	1,0
Variable (Q)	Sobrecarga de uso	0	1,0
	Sobrecarga de uso en terraplenes	0	1,0
	Acciones climáticas	0	1,0
	Empuje hidrostático	0	1,0
	Empuje hidrodinámico	0	1,0
	Sobrecargas de construcción	0	1,0

(1) Para la acción del pretensado se tomarán los coeficientes que indique la EHE-08 o normativa que la sustituya. En la tabla figuran los valores que la EHE-08 recoge para el caso de estructuras postesas. En el caso de estructuras pretesas, los coeficientes parciales son 0,95 y 1,05 para efecto favorable y desfavorable, respectivamente.

Los coeficientes de simultaneidad Ψ_0 , Ψ_1 y Ψ_2 se deben obtener de la tabla 6.1.-a de la IAP-11, se observan en el siguiente cuadro:

TABLA 6.1-a FACTORES DE SIMULTANEIDAD ψ

ACCIÓN		ψ_0	ψ_1	ψ_2	
Sobrecarga de uso	Vehículos pesados	0,75	0,75	0	
	gr 1, Cargas verticales				
	Sobrecarga uniforme	0,4	0,4	0 / 0,2 ⁽¹⁾	
	Carga en aceras	0,4	0,4	0	
	gr 2, Fuerzas horizontales	0	0	0	
	gr 3, Peatones	0	0	0	
	gr 4, Aglomeraciones	0	0	0	
	Sobrecarga de uso en pasarelas	0,4	0,4	0	
Viento	F_{vic}	En situación persistente	0,6	0,2	0
		En construcción	0,8	0	0
		En pasarelas	0,3	0,2	0
Acción térmica	T_k	0,6	0,6	0,5	
Nieve	$Q_{on,k}$	0,8	0	0	
Acción del agua	W_k	Empuje hidrostático	1,0	1,0	1,0
		Empuje hidrodinámico	1,0	1,0	1,0
Sobrecargas de construcción	Q_c	1,0	0	1,0	

[1] El factor de simultaneidad ψ_2 correspondiente a la sobrecarga uniforme se tomará igual a 0, salvo en el caso de la combinación de acciones en situación sísmica (apartado 6.3.1.3), para la cual se tomará igual a 0,2.

Vamos a crear las combinaciones en ELU y ELS.

10.1. Combinaciones en ELU

Nos crearemos cuatro combinaciones en ELU, una con cada combinación desfavorable de carros (ver apartado 7). Las variables son las sobrecargas repartidas y los carros, pero como su origen realmente es el mismo (sobrecarga de uso) las consideraremos las dos como principales, tal y como establece la IAP-11. Sólo analizaremos para el cálculo del tablero hipótesis persistentes, pues el sismo sólo afecta a estribos y pila. El sismo también afecta a los neoprenos, pero se analiza junto a estribos y pila, con un modelo independiente al del tablero.

Hipótesis persistentes: creamos 4 combinaciones para analizar esfuerzos en las vigas pretensadas.

- PERSIS1) 1.35*VIGAS+1.35*LOSA+1.35*ASFALTO+1.35*BARRERAS+1.35*SCREPC1-2.5 + 1.35*SCREPC2-9+1.35*SCREPC3-2.5+1.35*CARROC1CL400 + 1.35*CARROC2CL600 + 1.35*CARROC3CL200 (PARA OBTENER MÁXIMO MOMENTO EN VIGA CENTRAL)

- PERSIS2) $1.35*VIGAS+1.35*LOSA+1.35*ASFALTO+1.35*BARRERAS+1.35*SCREPC1-9 + 1.35*SCREPC2-2.5+1.35*SCREPC3-2.5+1.35*CARROC1CL600 + 1.35*CARROC2CL400 + 1.35*CARROC3CL200$ (PARA OBTENER MÁXIMO MOMENTO EN VIGAS LATERALES)
- PERSIS3) $1.35*VIGAS+1.35*LOSA+1.35*ASFALTO+1.35*BARRERAS+1.35*SCREPC1-2.5 + 1.35*SCREPC2-9+1.35*SCREPC3-2.5+1.35*CARROC1EX400 + 1.35*CARROC2EX600 + 1.35*CARROC3EX200$ (PARA OBTENER MÁXIMO CORTANTE EN VIGA CENTRAL)
- PERSIS4) $1.35*VIGAS+1.35*LOSA+1.35*ASFALTO+1.35*BARRERAS+1.35*SCREPC1-9 + 1.35*SCREPC2-2.5+1.35*SCREPC3-2.5+1.35*CARROC1EX600 + 1.35*CARROC2EX400 + 1.35*CARROC3EX200$ (PARA OBTENER MÁXIMO CORTANTE EN VIGAS LATERALES)

Estas combinaciones nos servirán para dimensionar a flexión y a cortante las vigas, pero no la losa superior del tablero, ya que ¡OJO! para analizar la acción del carro sobre la losa superior se debe realizar un emparrillado más fino, fabricándonos un modelo parcial, con más barras, discretizando la losa del tablero situada entre vigas.

Por tanto crearemos otras dos hipótesis persistentes sin el carro, para después añadir sus esfuerzos con otro modelo de emparrillado más fino.

- PERSIS5) $1.35*VIGAS+1.35*LOSA+1.35*ASFALTO+1.35*BARRERAS+1.35*SCREPC1-2.5 + 1.35*SCREPC2-9 + 1.35*SCREPC3-2.5$
- PERSIS6) $1.35*VIGAS+1.35*LOSA+1.35*ASFALTO+1.35*BARRERAS+1.35*SCREPC1-9 + 1.35*SCREPC2-2.5 + 1.35*SCREPC3-2.5$

10.2. Combinaciones en ELS

Tendremos que analizar:

A) Máxima Flecha del tablero provocada por las acciones gravitatorias (con la combinación característica): probamos con las dos combinaciones de carros que están en centro de vano:

- FLECHA7) $1.0*VIGAS+1.0*LOSA+1.0*ASFALTO+1.0*BARRERAS+1.0*SCREPC1-2.5 + 1.0*SCREPC2-9+1.0*SCREPC3-2.5+1.0*CARROC1CL400 + 1.0*CARROC2CL600 + 1.0*CARROC3CL200$
- FLECHA8) $1.0*VIGAS+1.0*LOSA+1.0*ASFALTO+1.0*BARRERAS+1.0*SCREPC1-9 + 1.0*SCREPC2-2.5+1.0*SCREPC3-2.5+1.0*CARROC1CL600 + 1.0*CARROC2CL400 + 1.0*CARROC3CL200$

Estas flechas verticales se contrarrestarán en gran medida con la contraflecha que generará el pretensado, cuyo efecto no se incluye en este emparrillado.

A) Máxima y mínima reacción vertical en neoprenos, para el dimensionamiento de dichos neoprenos: las reacciones mínimas se obtienen sin sobrecargas. Las reacciones máximas con las dos combinaciones de carros que están en extremo de vano:

- REACCMIN9) $1.0*VIGAS+1.0*LOSA+1.0*ASFALTO+1.0*BARRERAS$

- REACCMAX10) 1.0*VIGAS+1.0*LOSA+1.0*ASFALTO+1.0*BARRERAS+1.0*SCREPC1-2.5 +
1.0*SCREPC2-9+1.0*SCREPC3-2.5+1.0*CARROC1EX400 + 1.0*CARROC2EX600 +
1.0*CARROC3EX200
- REACCMAX11) 1.0*VIGAS+1.0*LOSA+1.0*ASFALTO+1.0*BARRERAS+1.0*SCREPC1-9 +
1.0*SCREPC2-2.5+1.0*SCREPC3-2.5+1.0*CARROC1EX600 + 1.0*CARROC2EX400 +
1.0*CARROC3EX200

Todas las combinaciones aprendimos a crearlas en el módulo 2.

10.3. Envoltente en ELU

Por último, crearemos la combinación ENVOLVENTE, definida como la envoltente de las cuatro hipótesis creadas en ELU para el cálculo de las vigas longitudinales (PERSIS1, PERSIS2, PERSIS3 y PERSIS4), con objeto de obtener los esfuerzos pésimos para dimensionar dichas vigas.

11. CÁLCULO Y SUS OPCIONES

Antes de que el programa realice el cálculo del tablero, tenemos que establecer las opciones de cálculo:

MENÚ SUPERIOR → Analyze → Set Analysis Options → al tener un emparrillado, tenemos que activar la opción “Plane Grid”, con la que el programa realiza un cálculo con 3 grados de libertad por nudo (desplazamientos en Z, giros en X e Y) → OK (el resto de opciones se dejan por defecto).

También tenemos que decirle al programa que calcule todos los estados de carga que hemos definido → MENÚ SUPERIOR → Analyze → Set Load Cases to Run → en la columna “Action” debe aparecer “Run” en todos los estados de carga, esto lo activamos o desactivamos con la celda “Run/Do Not Run All”. También podríamos decirle que no calcule ciertos estados de carga, si no me interesa, activando o desactivando el cálculo de alguno de ellos en cuestión.

Una vez definidas estas opciones, calculamos haciendo → MENÚ SUPERIOR → Analyze → Run Analysis → Run Now

El cálculo es relativamente rápido en ordenadores modernos (tarda unos 15-25 segundos).

12. SALIDA DE RESULTADOS

Los resultados que necesitamos para comprobar el tablero son los siguientes:

1. Desplazamientos y giros
2. Esfuerzos en la estructura para las distintas combinaciones: fundamentalmente nos interesan los esfuerzos flectores y los cortantes en vigas y losa superior
3. Reacciones en los apoyos de las vigas, que los utilizaremos para dimensionar neoprenos, estribos y pila, y sus cimentaciones.

Como vimos en el módulo 2, se pueden obtener gráficamente en pantalla, o listando los resultados y/o exportándolos a Excel, Word, Access.

12.1. Máxima flecha instantánea en el tablero provocada por las acciones exteriores

Se produce en la hipótesis FLECHA8, y vale 32.36mm, en centro de una de las vigas laterales del tablero. No obstante es una flecha orientativa, pues no se incluyen los efectos diferidos en el tiempo (retracción y fluencia). Además, habría que contar con la contraflecha producida por el pretensado.

12.2. Máximo flector en vigas

Se da para la hipótesis PERSIS2, y vale Md: 7498.66 kNxm, en centro de vano de la primera viga interior del tablero. Todas las vigas de un tablero de vigas se arman igual, por dos motivos: por facilidad constructiva y para solucionar el posible error de que se confunden al colocar las vigas en el tablero cuando las traigan de fábrica. Con este máximo flector en vigas saldrían, aproximadamente, 28 cordones Ø15.2mm de acero activo Y1860S7 (15 cordones en una capa inferior y 13 cordones en una capa situada por encima, a 50mm de la inferior).

12.3. Máximo cortante en vigas

Se ha de coger a un canto útil del apoyo en los neoprenos. Se da para la hipótesis PERSIS4 y vale Vd = 1211.73 kN a un canto útil del apoyo en el neopreno de la primera viga interior del tablero.

12.4. Máxima y mínima reacción en neoprenos

La mínima reacción en neoprenos vale 400.73kN (hipótesis REACCMIN9) en los neoprenos de la primera viga interior del tablero.

La máxima reacción en neoprenos vale 978.65kN (hipótesis REACCMAX11) en los neoprenos de la primera viga interior del tablero.

Todos los neoprenos de un tablero de vigas se disponen con las mismas dimensiones.

Empleando el catálogo de MECANOGUMBA, las dimensiones en planta resultan:

- Con reacción mínima se admite como mínimo 3N/mm² → Área máxima del neopreno: $400730\text{N}/(3\text{N}/\text{mm}^2) = 133577\text{mm}^2$
- Con reacción máxima se admite como máximo 15N/mm² → Área mínima del neopreno: $978650\text{N}/(15\text{N}/\text{mm}^2) = 65243\text{mm}^2$
- Por tanto $65243\text{mm}^2 \leq \text{Área} \leq 133577\text{mm}^2$ → elegimos del catálogo un neopreno 250mmx400mm (área 100000mm²). El espesor del neopreno se elegirá una vez analizadas las acciones horizontales

Con las reacciones en neoprenos se dimensionarán estribos, pila y sus cimentaciones.

MÓDULO 4

CÁLCULO DE MUROS DE SÓTANO EN UN EDIFICIO DE UN MUSEO SOLUCIONADO A MODO DE PATIO INGLÉS

Cálculo de Estructuras con el Programa SAP2000

E.T.S. Ing. Caminos, Canales y Puertos
Dpto. Mecánica de Estructuras e Ing. Hidráulica

MÓDULO 4

CÁLCULO DE MUROS DE SÓTANO EN UN EDIFICIO DE UN MUSEO SOLUCIONADO A MODO DE PATIO INGLÉS

(Modelo 3D: elementos lámina y barras)

Impartido por el prof. J. J. Granados

Índice (1/2)

1. Nuevo modelo: unidades y archivo base
2. Geometría del modelo:
 - a. Generación automática con la biblioteca y generación manual
 - b. Edición y modificación de la geometría
3. Materiales
4. Secciones tipo Área
 - a. Shell
 - b. Plane
 - c. Asolid
5. Sección Shell
 - a. Membrana (Membrane)
 - b. Placa (Plate)
 - c. Lámina (Shell)
 - d. Mallado de los muros con elementos placa: división y mallado automático
6. Condiciones de contorno: ligaduras y acciones
7. Definición de cargas y asignación a las láminas

Índice (2/2)

8. Hipótesis de cargas: definición y tipos de análisis
9. Combinación de hipótesis de cargas
10. El cálculo y la comprobación del mallado
11. Salida de resultados:
 - a. Esfuerzos en elementos barra
 - b. Esfuerzos de membrana
 - c. Esfuerzos de placa
 - d. Desplazamientos y giros
 - e. Reacciones
 - f. Impresión gráfica en pantalla y exportación de ficheros
 - g. Listados en pantalla y exportación de ficheros
12. Diseño

I. Nuevo modelo: unidades y archivo base

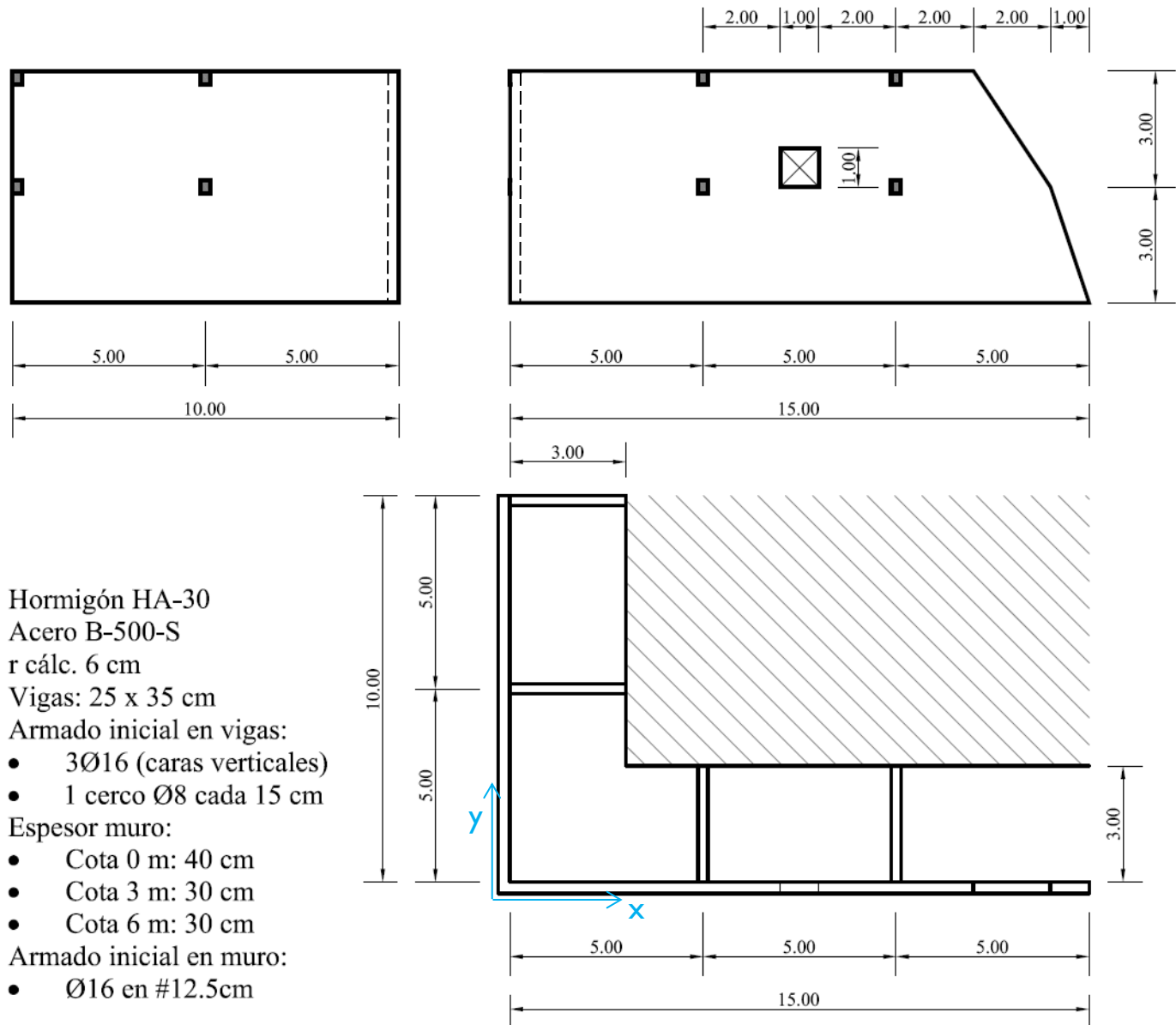
- Nota: Quizás sea más cómodo configurar en Windows el **punto decimal**.
- Es recomendable seleccionar las unidades antes de generar el nuevo modelo en el menú de la esquina inferior derecha.
- Es posible cambiar de unidades a posteriori, pero no es recomendable.
- Usaremos un archivo existente como archivo base para inicializar diversos parámetros (materiales, secciones, etc.):
`modl_pto_07_08.sdb`

2. Geometría del modelo

El objetivo es calcular los esfuerzos de un muro sótano (de un patio inglés).

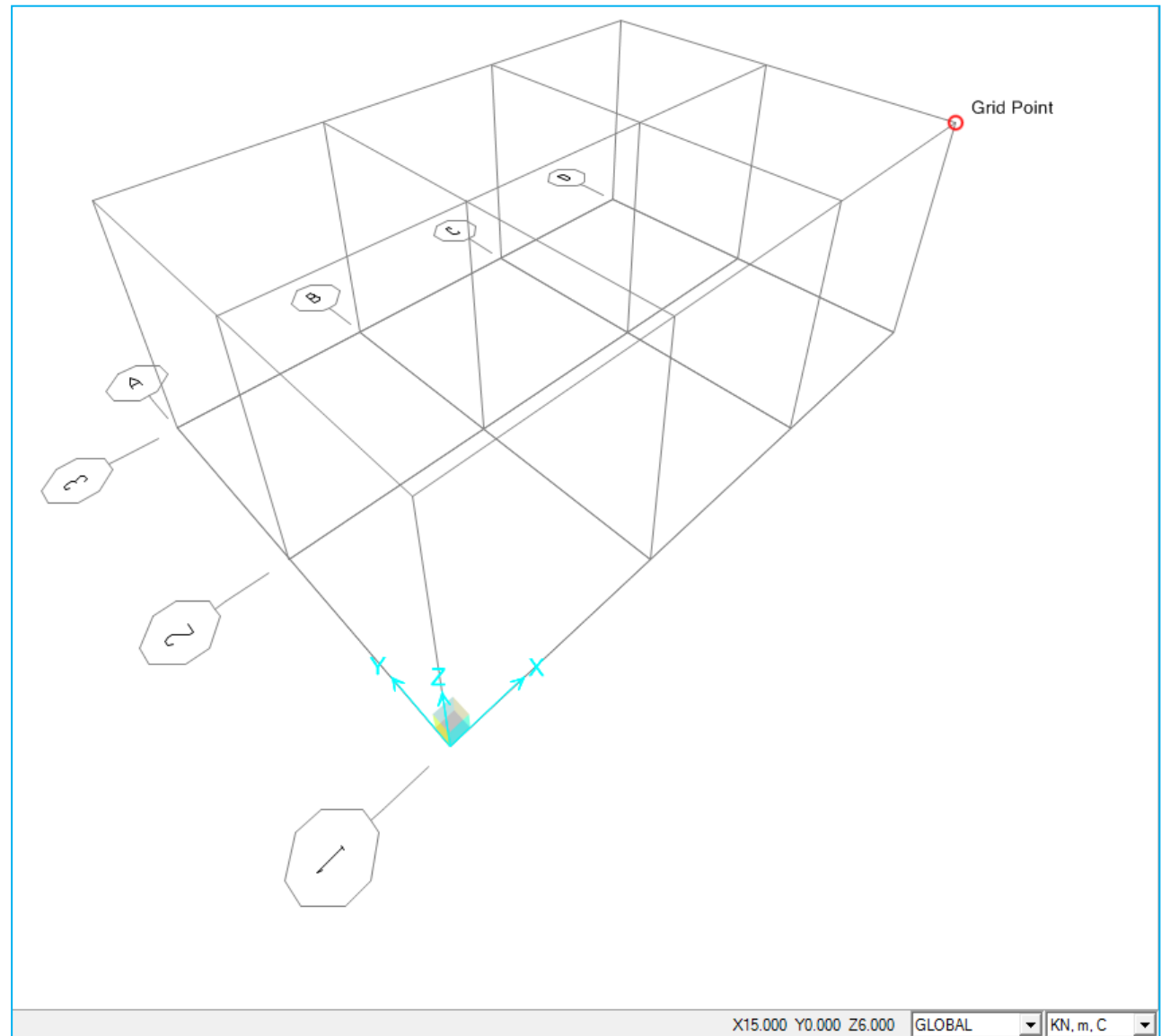
La geometría y materiales están definidos en el siguiente gráfico:

2. Geometría del modelo



2. Geometría del modelo

Rejilla:



2. Geometría del modelo

Rejilla
ampliada:

Define Grid System Data

Edit Format

System Name: GLOBAL Units: KN, m, C

Grid Lines: Quick Start...

X Grid Data

	Grid ID	Ordinate	Line Type	Visibility	Bubble Loc.	Grid Color
1	A	0.	Primary	Show	End	
2	B	5.	Primary	Show	End	
3	C	10.	Primary	Show	End	
4		12.	Secondary	Show	End	
5		14.	Secondary	Show	End	
6	D	15.	Primary	Show	End	
7						
8						

Y Grid Data

	Grid ID	Ordinate	Line Type	Visibility	Bubble Loc.	Grid Color
1	1	0.	Primary	Show	Start	
2	2	5.	Primary	Show	Start	
3	3	10.	Primary	Show	Start	
4						
5						
6						
7						
8						

Z Grid Data

	Grid ID	Ordinate	Line Type	Visibility	Bubble Loc.	Grid Color
1	Z1	0.	Primary	Show	End	
2		3.	Secondary	Show	End	
3	Z2	6.	Primary	Show	End	
4						
5						
6						
7						
8						

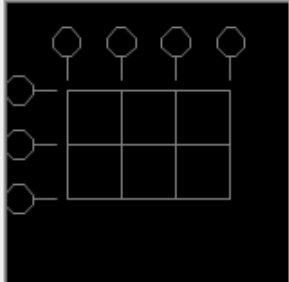
Display Grids as: Ordinates Spacing

Hide All Grid Lines
 Glue to Grid Lines

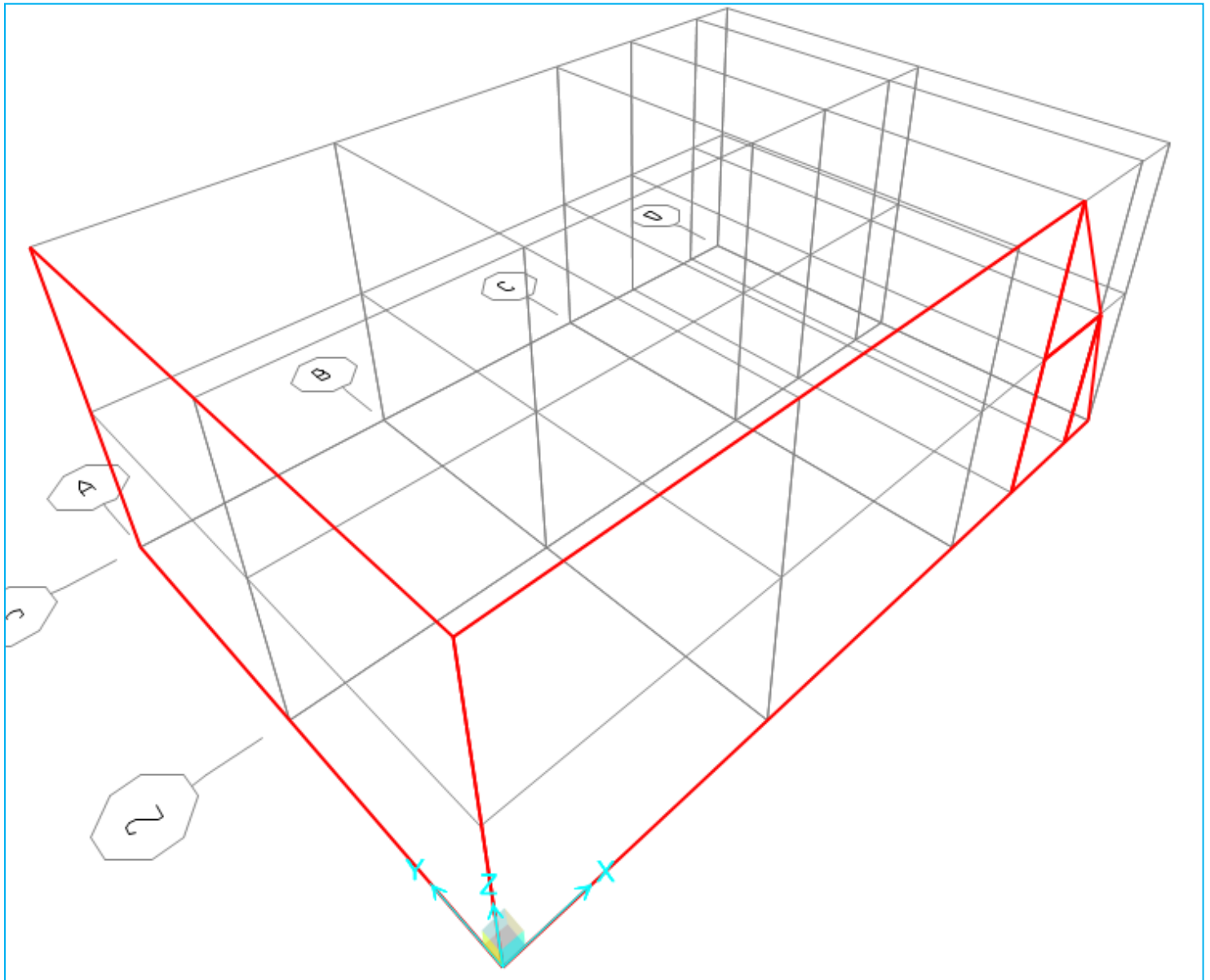
Bubble Size: 1.3125

Reset to Default Color
Reorder Ordinates

OK Cancel



2. Geometría del modelo



2. Geometría del modelo

- a. Generación automática con la biblioteca y generación manual
 - Utilidad “Define Views”
- b. Edición y modificación de la geometría
 - Utilidad de los grupos: “Define Groups ...”, “Assign to Group ...”, “Show Selection Only”.
 - Si un área está dentro de un grupo, y la dividimos, las áreas resultantes quedan dentro de dicho grupo.
- c. Dividir las áreas en cuadrados de 1m x 1m (ver diapositiva siguiente)
- d. Definir sección de vigas y colocarlas en el modelo. Nota: una vez definidas las vigas de cota 6 m se pueden copiar usando la orden Replicate (la orden Copy sólo copia la geometría, pero no la sección).

2. Geometría del modelo

Divide Selected Areas

Divide Area Into This Number of Objects (Quads and Triangles Only)

Along Edge from Point 1 to 2

Along Edge from Point 1 to 3

Divide Area Into Objects of This Maximum Size (Quads and Triangles Only)

Along Edge from Point 1 to 2

Along Edge from Point 1 to 3

Divide Area Based On Points On Area Edges (Quads and Triangles Only)

Points Determined From:

Intersections of Visible Straight Grid Lines With Area Edges

Intersections of Selected Straight Line Objects With Area Edges

Selected Point Objects On Area Edges

Divide Area Using Cookie Cut Based On Selected Straight Line Objects

Extend All Lines To Intersect Area Edges

Divide Area Using Cookie Cut Based On Selected Point Objects

Rotation of Cut Lines From Area Local Axes (Deg)

Divide Area Using General Divide Tool Based On Selected Points and Lines

Maximum Size of Divided Object

Units:

Local Axes For Added Points

Make same on Edge if adjacent corners have same local axes definition

Make same on Face if all corners have same local axes definition

Restrains and Constraints For Added Points

Add on Edge when restrains/constraints exist at adjacent corner points
(Applies if added edge point and adjacent corner points have same local axes definition)

Add on Face when restrains/constraints exist at all corner points
(Applies if added face point and all corner points have same local axes definition)

OK

Cancel

3. Materiales

Ya están definidos en el archivo que ha servido de base.

4. Secciones tipo Área

a. Shell

(Se analizará en detalle en la siguiente diapositiva)

b. Plane

- Stress
- Strain

c. Asolid

- Axisymmetric Solid

Las áreas tipo Plane y Asolid son sólidos bidimensionales.

Ejemplos de aplicación de los distintos tipos de áreas.

5. Sección Shell

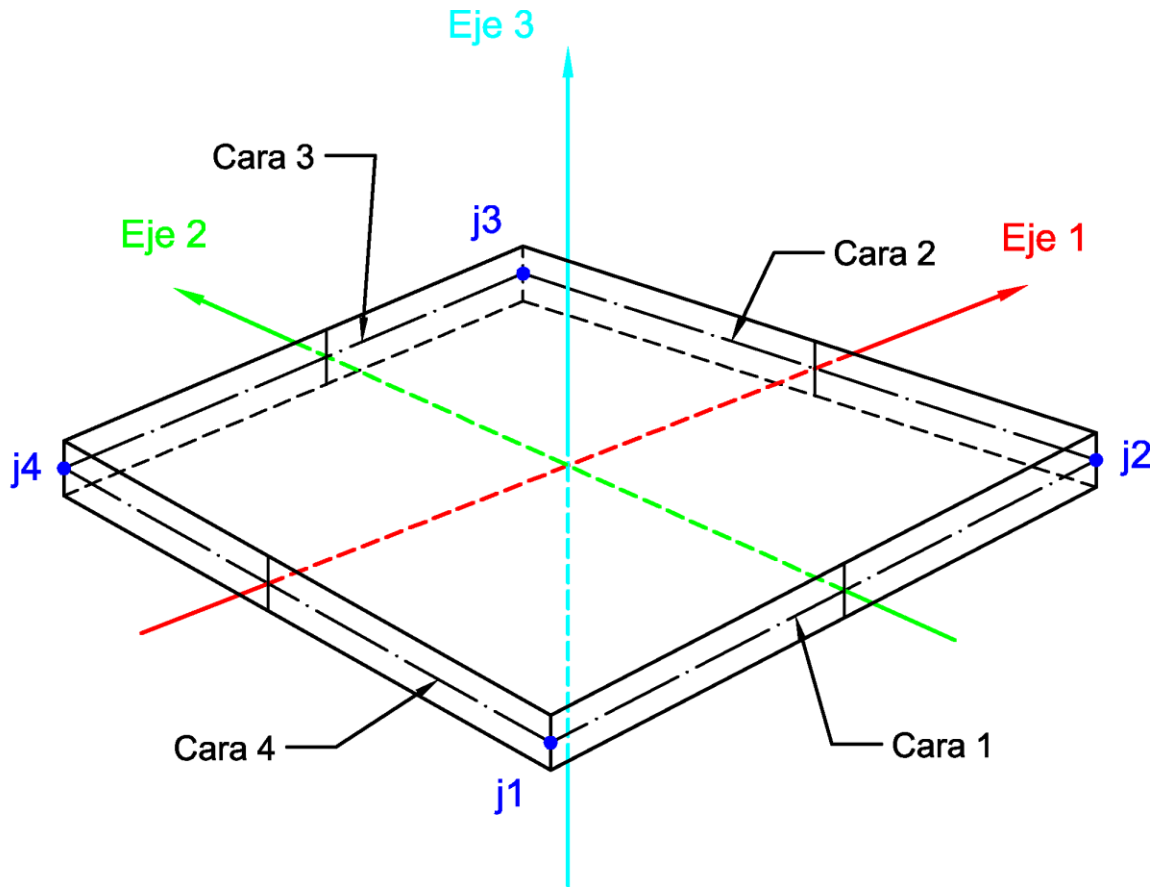
- a. **Lámina (Shell)**
 - Es una combinación de las dos siguientes (plate + membrane)
- b. **Placa (Plate)**
 - Soporta cargas perpendiculares al plano
- c. **Membrana (Membrane)**
 - Sólo soporta fuerzas en el plano y momento perpendicular al mismo (taladro)

Ejemplos de aplicación de los distintos tipos de Shell.

A continuación veremos el mallado en dos tipos de elementos ...

5. Sección Shell

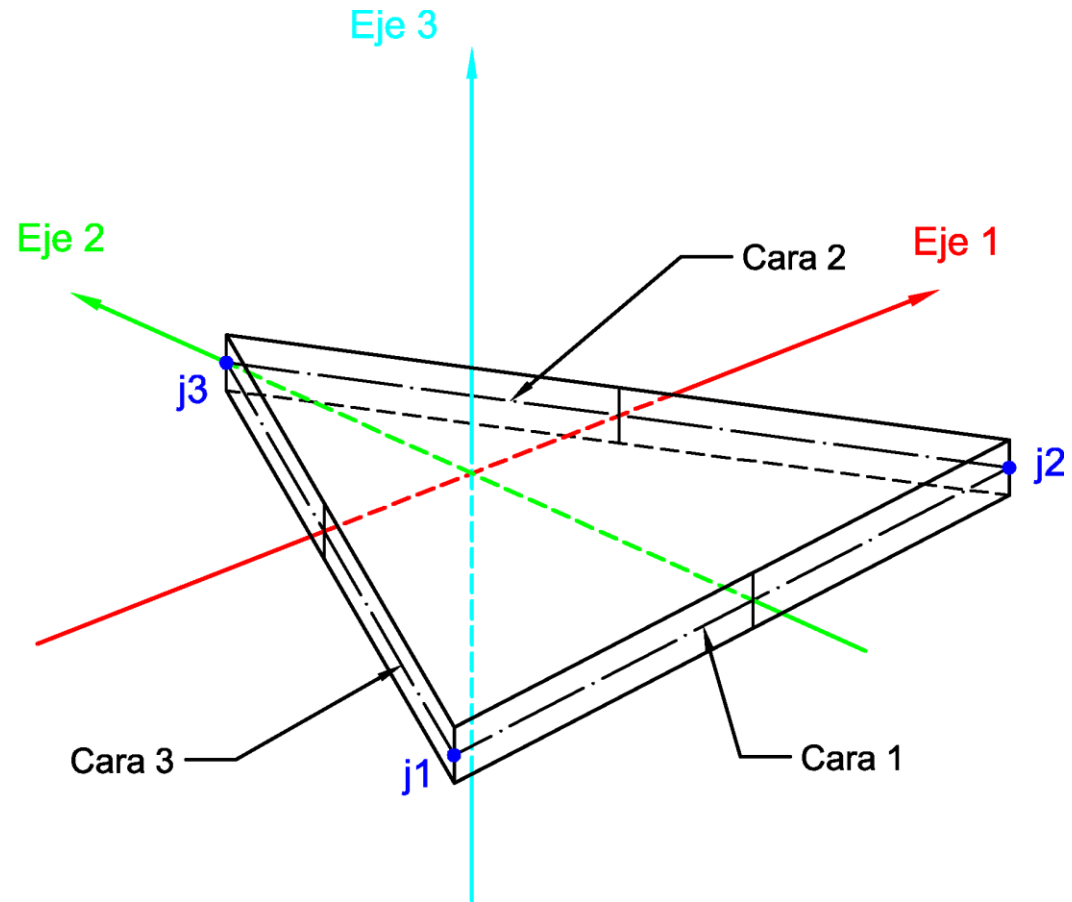
- Elemento lámina cuadrilateral de cuatro nodos



Cara 5: Inferior (eje -3)
Cara 6: Superior (eje +3)

5. Sección Shell

- Elemento lámina triangular de tres nodos



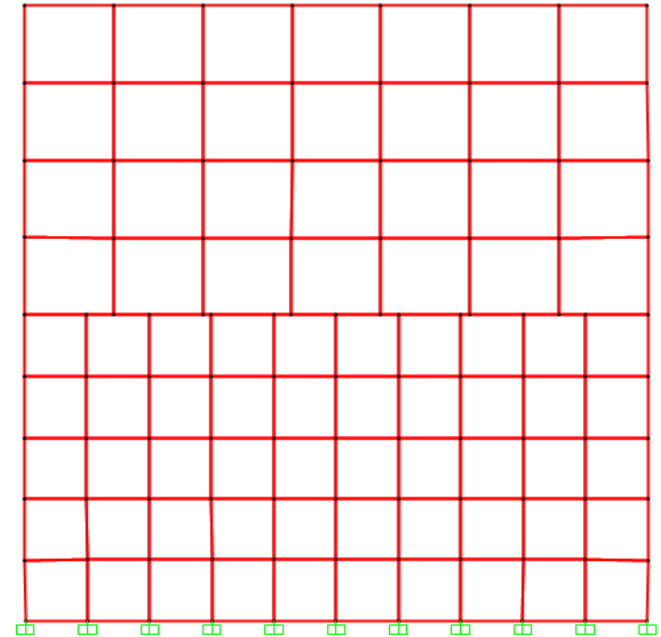
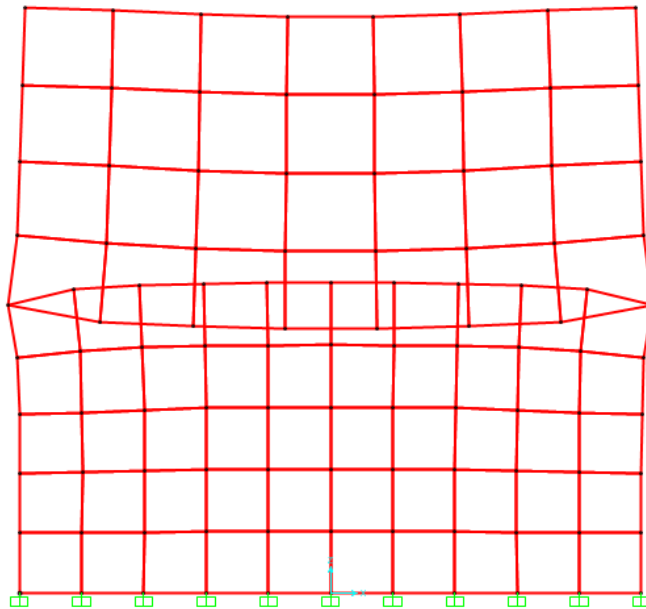
Cara 5: Inferior (eje -3)
Cara 6: Superior (eje +3)

5. Sección Shell

- d. **Mallado de los muros con elementos placa: división y mallado automático.**
 - Cambiar la orientación del eje local 3 para que apunten hacia el trasdós.
 - Junto al hueco de 1 m x 1 m: “Automatic Area Mesh”: Mesh type 2x2
 - Los dos triángulos: “Assign” → “Area” → “Automatic Area Mesh” → “Mesh area using general divide tool ...” usando un tamaño máximo de 0.5 m (marcando la opción de generar condiciones de contorno automáticamente en el borde).
- **Definición de la sección tipo Lámina**
- **Armaduras. Recubrimientos de cálculo:**
 - Armadura vertical (2): 44 mm
 - Armadura horizontal (1): 60 mm
- **Espesor constante y variable: “Area Thickness Overwrites”**
- **Utilidad “Joint Pattern” (“Define” y “Assign”)**

6. Condiciones de contorno: ligaduras y acciones

- Cada nodo posee seis grados de libertad: situar ligaduras
- Restricciones de borde automáticas:
“Assign” → “Area” → “Generate Edge Constraints ...”
- Esto evita tener que distorsionar el mallado para que los elementos se comporten de forma solidaria a lo largo del borde común.



7. Definición de cargas y asignación a las láminas

- Define Joint Patterns ... → Empuje tierras
- “Load patterns”:
 - LDead: peso propio
 - LEmpuje: empuje pasivo: $K_0 = 0.5$; $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$
- Assign → Joint Patterns ... → Empuje tierras
- Get previous selection
- Assign → Area loads ... → Surface pressure: By joint pattern (comprobar que la dirección de la presión es la adecuada).

8. Hipótesis de cargas: definición y tipos de análisis

- “Load Cases”:
 - HDead
 - HEmpuje

9. Combinación de hipótesis de cargas

- “Load Combinations”:
 - $CI = 1.35 H_{Dead} + 1.50 H_{Empuje}$

10. El cálculo y la comprobación del mallado

- Analyze → Set Analysis Options ... (comprobar 3D)
- Analyze → Run Analysis ... (F5)
- Los saltos en los valores de los distintos resultados en los bordes de los elementos nos dan una idea de si el mallado es lo suficientemente fino.

11. Salida de resultados

- a. Esfuerzos en elementos barra**
- b. Esfuerzos de membrana
- c. Esfuerzos de placa
- d. Desplazamientos y giros
- e. Reacciones
- f. Impresión gráfica en pantalla y exportación de ficheros
- g. Listados en pantalla y exportación de ficheros

11. Salida de resultados

- a. Esfuerzos en elementos barra
- b. Esfuerzos de membrana**
- c. Esfuerzos de placa
- d. Desplazamientos y giros
- e. Reacciones
- f. Impresión gráfica en pantalla y exportación de ficheros
- g. Listados en pantalla y exportación de ficheros

11. Salida de resultados

- Esfuerzos de membrana:

- Axiles:

$$F_{11} = \int_{-th/2}^{+th/2} \sigma_{11} dx_3$$

$$F_{22} = \int_{-th/2}^{+th/2} \sigma_{22} dx_3$$

- Cortante en el plano 12:

$$F_{12} = \int_{-th/2}^{+th/2} \sigma_{12} dx_3$$

- Torsor:

$$M_{12} = - \int_{-thb/2}^{+thb/2} x_3 \sigma_{12} dx_3$$

11. Salida de resultados

- a. Esfuerzos en elementos barra
- b. Esfuerzos de membrana
- c. **Esfuerzos de placa**
- d. Desplazamientos y giros
- e. Reacciones
- f. Impresión gráfica en pantalla y exportación de ficheros
- g. Listados en pantalla y exportación de ficheros

11. Salida de resultados

- Esfuerzos de placa:

- Momentos flectores:

$$M_{11} = - \int_{-thb/2}^{+thb/2} x_3 \sigma_{11} dx_3$$

$$M_{22} = - \int_{-thb/2}^{+thb/2} x_3 \sigma_{22} dx_3$$

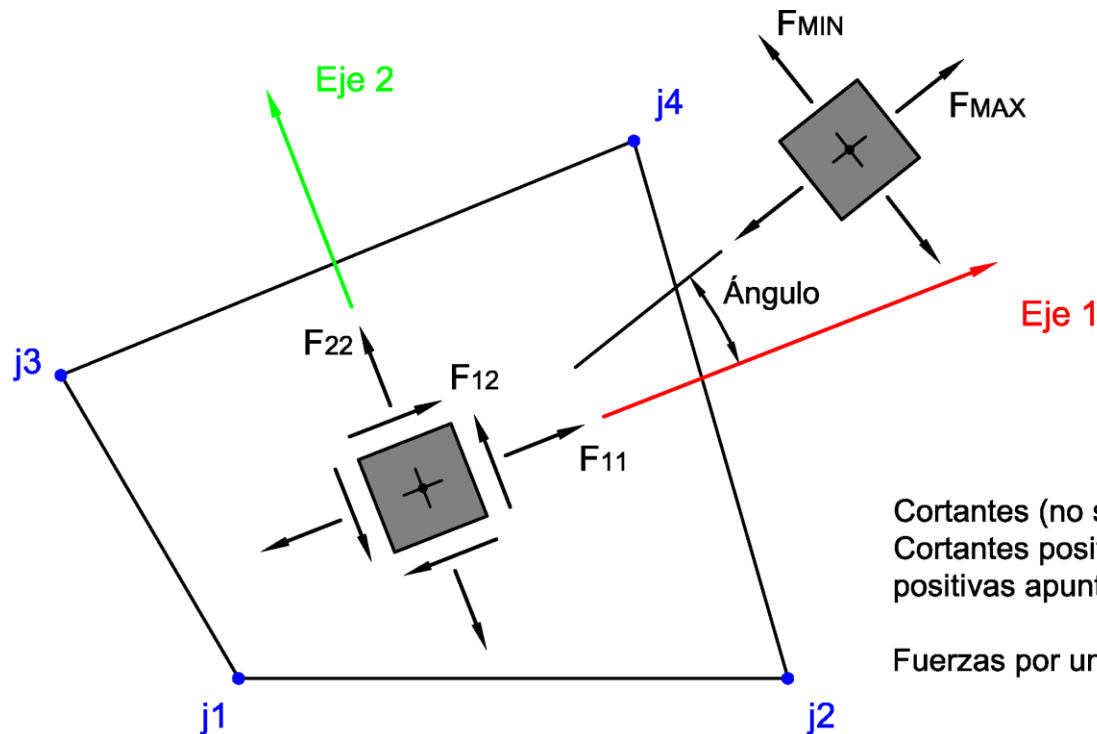
- Cortantes:

$$V_{13} = \int_{-thb/2}^{+thb/2} \sigma_{13} dx_3$$

$$V_{23} = \int_{-thb/2}^{+thb/2} \sigma_{23} dx_3$$

11. Salida de resultados

- Elemento lámina: tensiones y esfuerzos (1/2):



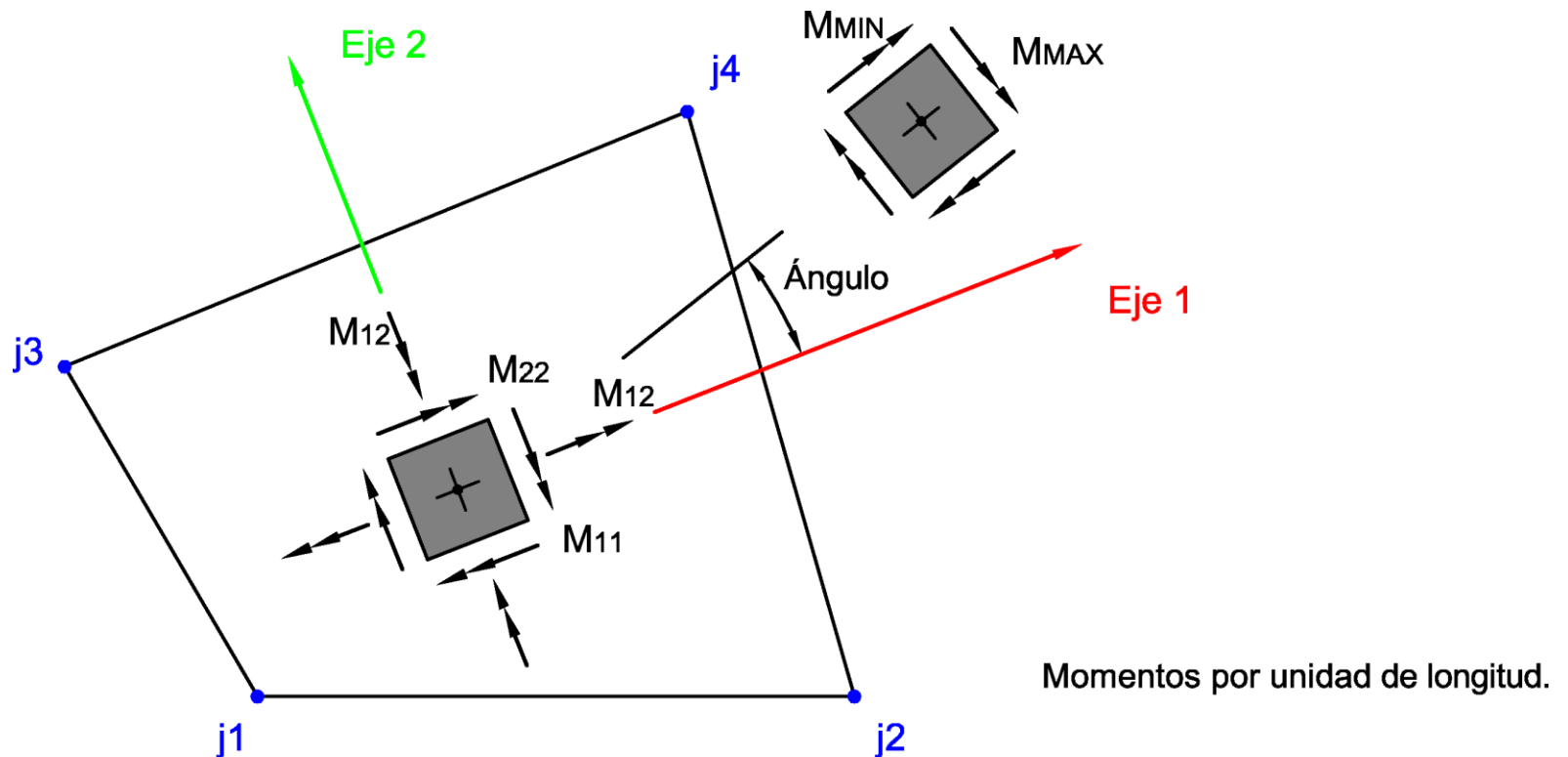
Cortantes (no se muestran):
Cortantes positivos (fuerzas y tensiones) en las caras positivas apuntan hacia el lector.

Fuerzas por unidad de longitud.

TENSIONES Y FUERZAS DE MEMBRANA
La tensión S_{ij} tiene la misma definición que la fuerza F_{ij}

1.1. Salida de resultados

- Elemento lámina: tensiones y esfuerzos (2/2):



MOMENTOS FLECTORES Y TORSOR DE PLACA

11. Salida de resultados

- **$M_{11} > 0$** : dimensiona la armadura de tracción en la cara de abajo, en la dirección del eje 1.
- **$M_{11} < 0$** : dimensiona la armadura de tracción en la cara de arriba, en la dirección del eje 1.
- **$M_{22} > 0$** : dimensiona la armadura de tracción en la cara de abajo, en la dirección del eje 2.
- **$M_{22} < 0$** : dimensiona la armadura de tracción en la cara de arriba, en la dirección del eje 2.

11. Salida de resultados

- a. Esfuerzos en elementos barra
- b. Esfuerzos de membrana
- c. Esfuerzos de placa
- d. **Desplazamientos y giros**
- e. Reacciones
- f. Impresión gráfica en pantalla y exportación de ficheros
- g. Listados en pantalla y exportación de ficheros

11. Salida de resultados

- a. Esfuerzos en elementos barra
- b. Esfuerzos de membrana
- c. Esfuerzos de placa
- d. Desplazamientos y giros
- e. **Reacciones**
- f. Impresión gráfica en pantalla y exportación de ficheros
- g. Listados en pantalla y exportación de ficheros

11. Salida de resultados

- a. Esfuerzos en elementos barra
- b. Esfuerzos de membrana
- c. Esfuerzos de placa
- d. Desplazamientos y giros
- e. Reacciones
- f. Impresión gráfica en pantalla y exportación de ficheros**
- g. Listados en pantalla y exportación de ficheros

11. Salida de resultados

- a. Esfuerzos en elementos barra
- b. Esfuerzos de membrana
- c. Esfuerzos de placa
- d. Desplazamientos y giros
- e. Reacciones
- f. Impresión gráfica en pantalla y exportación de ficheros
- g. Listados en pantalla y exportación de ficheros**

12. Diseño

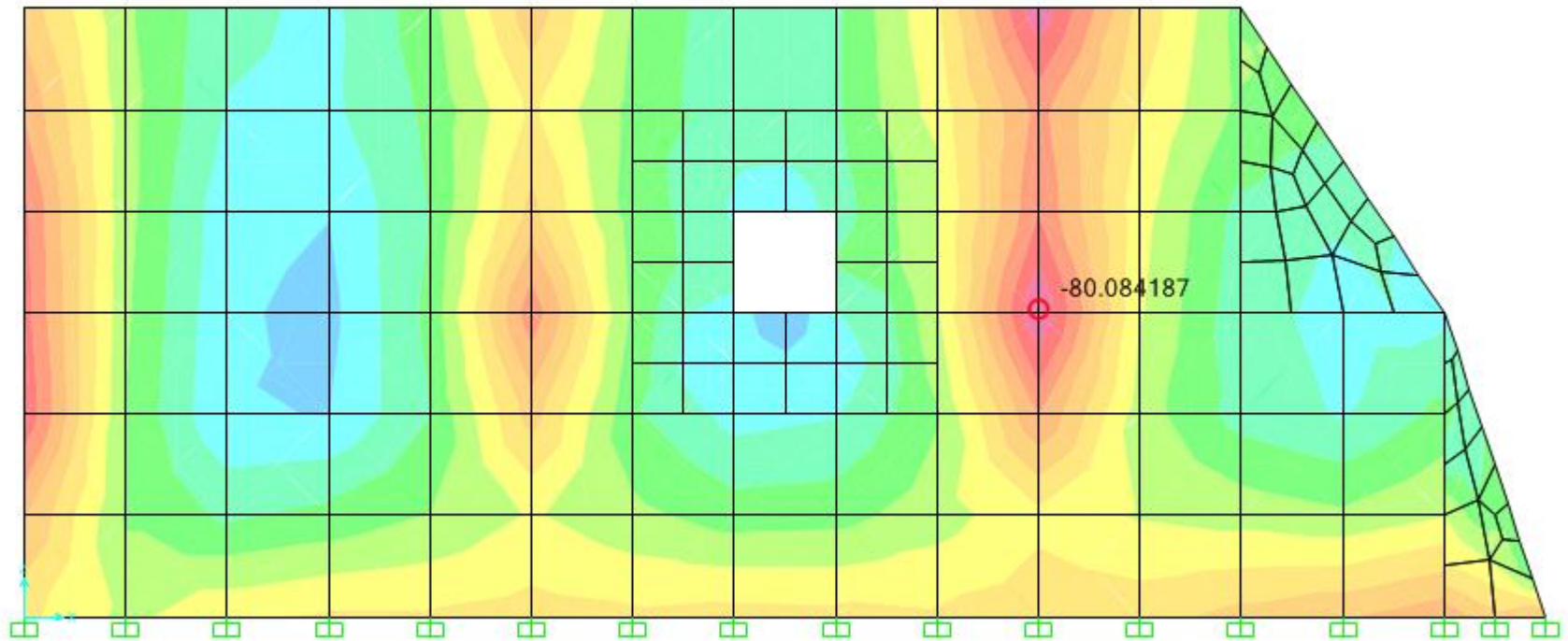
- “Technical notes” →
→ “Concrete Shell Reinforcement Design”:

The design of reinforcement for concrete shells in accordance with a predetermined field of moments, as implemented in SAP2000, is based on the provisions in DD ENV 192-1-1 1992 Eurocode 2: Design of Concrete Structures.

12. Diseño

- Dimensionamiento armadura horizontal en el trasdós (cara de arriba): -80.1 kNm/m

Resultant M11 Diagram (C1)



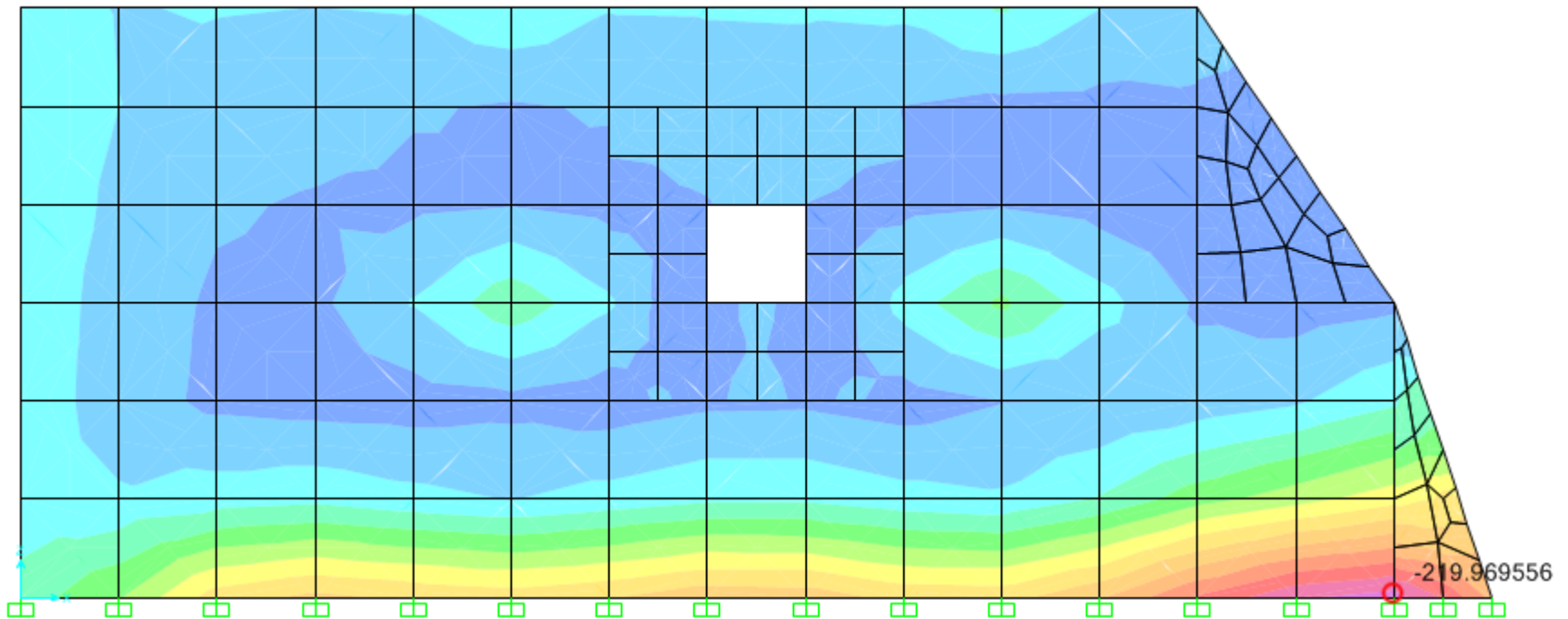
12. Diseño

- Dimensionamiento SAP: $10.8 \text{ cm}^2/\text{m}$ armadura horizontal en el trasdós (cara de arriba)
- Según la EHE-08 la armadura necesaria sería de $8.05 \text{ cm}^2/\text{m}$ ($\cong 1\text{Ø}16$ a 25 cm)
- Exceso de armadura $(10.8-8.05)/8.05 = 34\%$
- El axil tiene efecto favorable y se ha despreciado
- El torsor: -7.5 kNm/m requiere una armadura longitudinal uniformemente repartida de 0.1 cm^2
- El cortante tampoco es restrictivo
- Habría que comprobar a punzonamiento
- Comprobar las vigas a pandeo

12. Diseño

- Dimensionamiento armadura vertical en el trasdós (cara de arriba): -220.0 kNm/m

Resultant M22 Diagram (C1)



12. Diseño

- Dimensionamiento SAP: $23.2 \text{ cm}^2/\text{m}$ armadura vertical en el trasdós (cara de arriba)
- Según la EHE-08 la armadura necesaria sería de $15.03 \text{ cm}^2/\text{m}$ ($\cong 1\text{Ø}16$ a 13.3 cm)
- Exceso de armadura $(23.20-15.03)/15.03 = 54\%$
- El axil tiene efecto favorable y se ha despreciado
- El torsor es despreciable
- El cortante tampoco es restrictivo