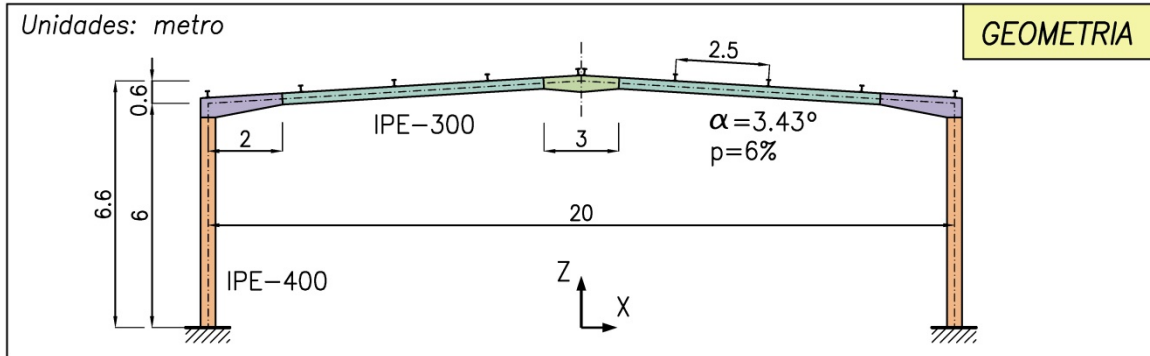
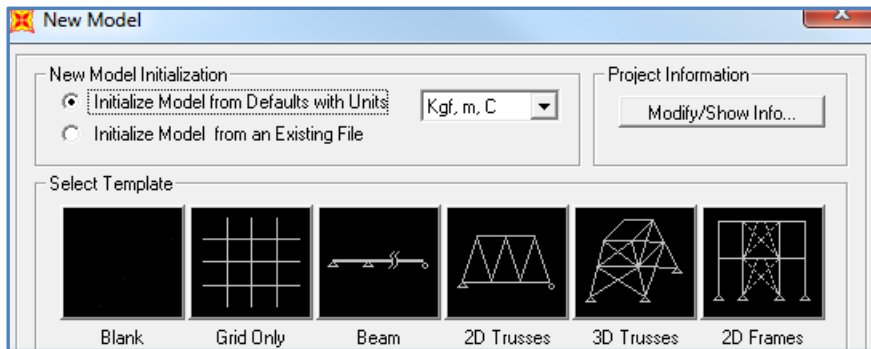


16.- PÓRTICO A DOS AGUAS (SAP2000 v. 15)

16.1 - Datos



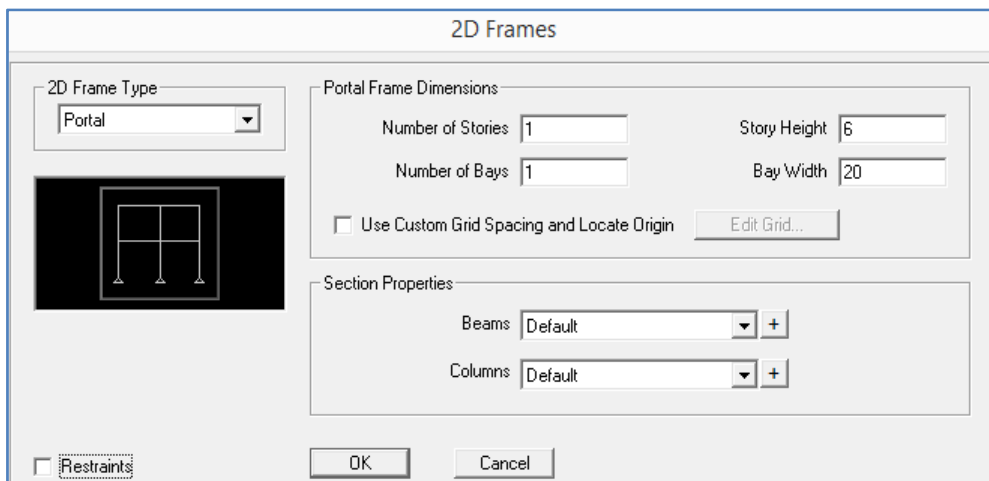
16.1.1 - GEOMETRÍA. UNIDADES.



Paso 1: Mediante *File* → *New Model* → *Initialize Model from Defaults with Units*, se selecciona un modelo o plantilla estructural adecuada al pórtico. Se especifican las unidades (kgf, m, C), aunque pueden modificarse cuando se desee, en la esquina inferior derecha.

La estructura del pórtico consta de 4 barras. El dintel es una barra con tramos de inercia variable (acartelamientos de esquina y cumbrera). Se define con una única barra.


Paso 2: Se elige el modelo **2D Frames** en *File* → *New Model* → *Select Template*. Se observa que no existe un modelo para generar directamente un pórtico a dos aguas, por lo que se dibujará a partir de un pórtico plano. El *2D Frame Type* será *Portal*.



En el cuadro de diálogo, la definición del número de alturas (*Stories*) y de vanos (*Bays*) se realiza con tramos de igual longitud. Podemos generar por ejemplo el rectángulo interior de dimensiones (6x20) m y luego construir los dos faldones o vertientes de la cubierta.

Aparecerá en pantalla el pórtico definido en dos ventanas: una en perspectiva, la otra según el plano **global** XZ (X: eje horizontal, Z: eje vertical), que será la que se seleccione, cerrando la pestaña superior izquierda de la vista en perspectiva.

Aparecen unas líneas y letras grises que son una malla o rejilla (*Grid*) soporte para dibujar la estructura. Como no son necesarias, para no visualizarla, con el botón derecho del ratón seleccionamos *Edit Grid Data* → *Modify/Show System* → *Hide all Grid Lines*.

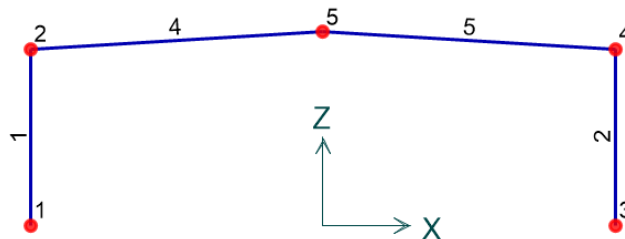
Se tiene información de la numeración y activa la visualización de nudos y barras, y otras opciones, mediante *View* → **Set Display Options** o la tecla . Se tecldea *Labels* en las columnas de *Joints* y *Frames/Cables*. Se desactiva *Invisible* en la de *Joints*.

En algunas órdenes, para visualizar de forma inmediata los cambios, teclear *Ctrl-Shift-W* (icono lápiz, *Refresh Window*)

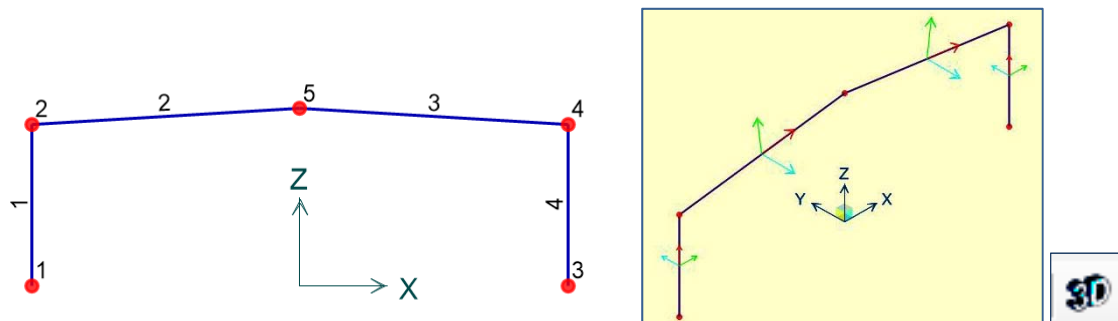
Nota: el formato de alguna orden puede variar ligeramente según la versión del programa

Paso 3: Vamos a construir el dintel mediante la siguiente secuencia:

- 1.- *Dividimos en 2 barras el dintel:* Para ello se selecciona el dintel y se ejecuta la orden *Edit* → *Edit Lines* → *Divide Frames*. Se dejan los valores por defecto: *Divide into...* Number of Frames **2 Frames**. *Last/First Length Ratio* **1**
- 2.- *Movemos el nudo central la distancia de 0.6 m. hacia arriba (+Z).* Pinchamos el nudo (no seleccionar las barras) y a continuación se abre la orden *Edit* → *Move* (*Ctrl-M*). En el cuadro *Change coordinates by* → *Delta Z* anotamos **0.6**. Se mueve el nudo y las barras hasta formar las dos vertientes.




Paso 5 (Optativo): Se cambia la numeración de cualquier nudo o barra (no es obligatorio), pinchando sobre ella con el botón derecho del ratón, modificando el cuadro que aparece en *Identification Label.*, *Update Display*. Barras: (5 → 3), (2 → 5), (4 → 2), (5 → 4).



Tipos de ejes:

Ejes globales: aparecen en el eje central del pórtico: X, Y, Z. El eje Y lleva la dirección hacia opuesta al observador. Se desactiva su visualización en *View* → *Show Axes*.

Ejes **locales** de barra: mediante *Set Display Options* (*Ctrl-E*, ) , *Frames*, *Local Axes*, puede obtenerse la visualización de los ejes locales de las barras. Los ejes son el **1** (eje x local, desde nudo origen hacia el nudo extremo) en rojo, y el **2** (eje local z) en verde. El eje local **3** en color azul (o eje local y) es normal al plano de la estructura. Este último eje, en pilares lleva la dirección de Y, en dinteles la dirección -Y.

Paso 6: Guardar el dibujo con un nombre de fichero en *File* → *Save*. Se crea un fichero "**Nombre**".*sdb* con toda la información introducida.

16.1.2 - PROPIEDADES DEL MATERIAL

Paso 1: Tecleamos *Define* → *Materials* → *Add New Material* (Versión.15: *Region, Spain*)

Paso 2: En el cuadro, se van a definir sólo las variables necesarias para el cálculo:

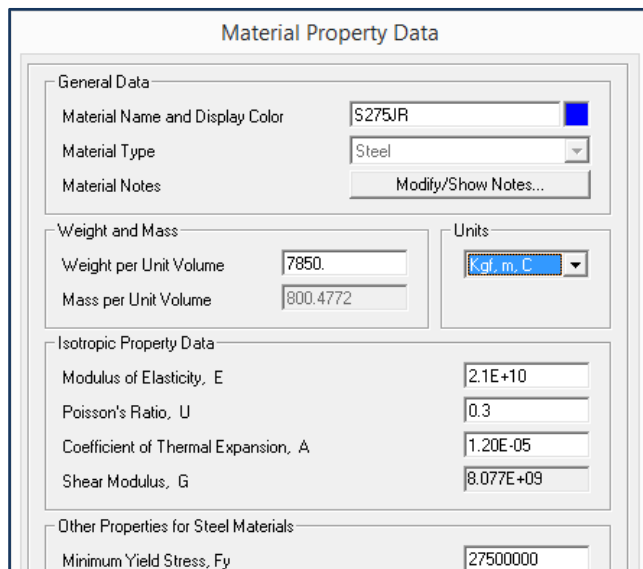
- *Material Name*: por ejemplo, S275JR.
- *Peso por unidad de volumen (Weight per Unit Volume)*: 7850 kg/m³ (Uds. Kgf, m).
- *Módulo de deformación (Modulus of Elasticity, E)*: $2.1 \cdot 10^{10}$ kg/m² se escribe 2.1E10¹⁰

El coeficiente de Poisson $U = 0.3$ es la relación entre la deformación transversal y la longitudinal. Con él se calcula el módulo de rigidez transversal G o *Shear Modulus* ($8.08 \cdot 10^9$ kg/m²).

La masa (*Mass*) se usa en cálculos dinámicos ($M = W/9.807$ m/sg² = 800.48).

El coeficiente de expansión térmica A para cambios de longitud debidos a la temperatura ($1.2 \cdot 10^{-5}$ m/m °C).

Minimum Yield Stress, Fy. se utiliza para comprobar la resistencia si se realiza el **dimensionado** de la barra después del cálculo estructural (2750 kg/cm² = $2.75 \cdot 10^7$ kg/m²)

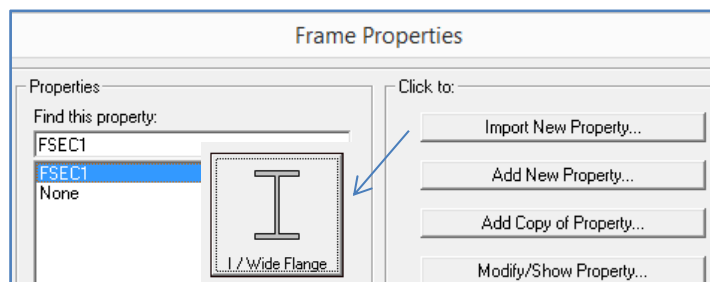


16.1.3 - PROPIEDADES DE LAS BARRAS

Paso 1: Seleccionamos, por ejemplo, los pilares. La definición y asignación de las propiedades se realiza mediante la orden *Assign* → *Frame* → *Frame Sections* a las barras previamente seleccionadas. La propiedad, FSEC1, es la que asigna el programa por defecto a las barras a las que todavía no se ha asignado ningún perfil.

Paso 2: El pilar es una sección IPE-400 y el dintel una sección IPE-300. En el cuadro de *Frame Properties* se selecciona, *Import New Property*. En el siguiente cuadro (*Steel*) se teclaea *I/Wide Flange*.

Paso 3: Se localiza y abre la base de datos o fichero "*EURO.PRO*" que contiene las propiedades de los perfiles. Se encuentra en el subdirectorio donde se instaló el



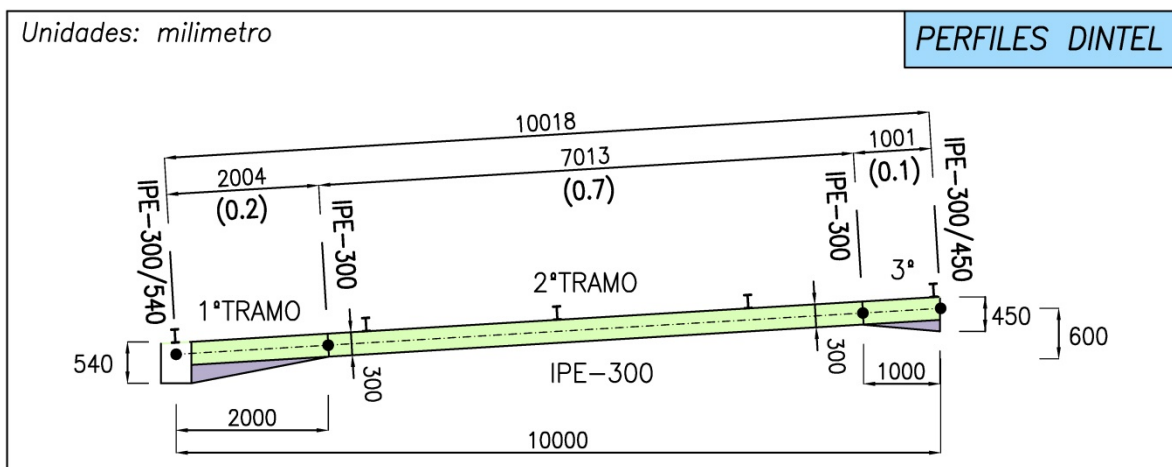
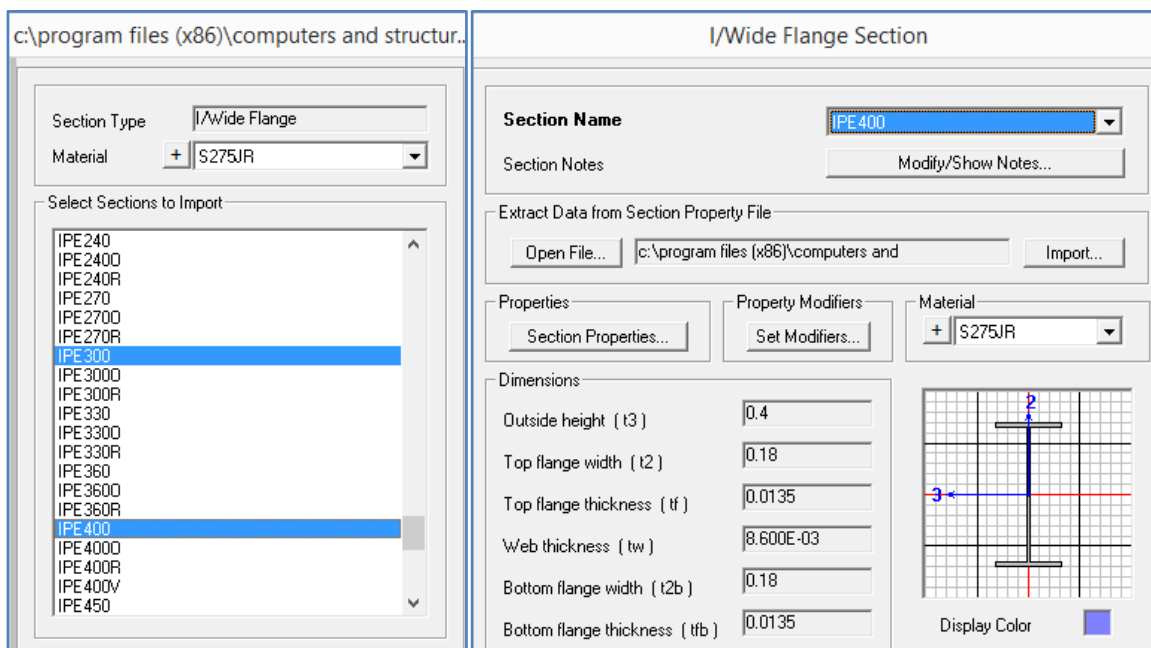
programa (por ejemplo c:> Program Files\Computers and Structures\SAP2000 15\).

Indicamos el material (S275JR). Manteniendo la tecla Ctrl. pulsada, localizamos en el listado de perfiles la **IPE-300** (dintel) e **IPE-400** (pilar), que se añadirán a la lista de propiedades.

En el cuadro que aparece quedan reflejadas las dimensiones geométricas del perfil IPE-400. En ese mismo cuadro de diálogo, tecleando *Sections Properties*, podemos conocer las propiedades mecánicas (Area A, inercia I, **momento resistente W o Section Modulus**, etc.) de la sección introducida. Se recuerda que el eje 3 es el eje y o eje fuerte según la EAE. El eje 2 es el eje z o eje débil.

Modificaciones posteriores de sección pueden realizarse con la orden *Define* → *Section Properties* → *Frame Sections*.

Confirmamos con *Ok* tres veces hasta cerrar todas las ventanas. Aparecen los pilares con la IPE-400 asignada.



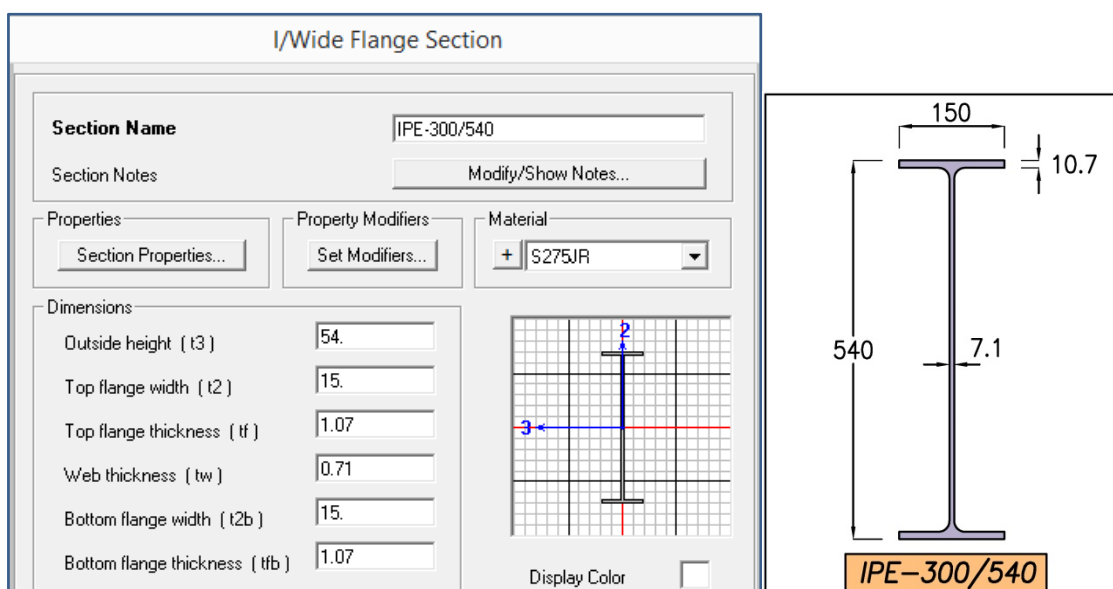
Paso 4: Vamos a definir el dintel y sus acartelamientos. En la esquina inferior derecha de la pantalla, **cambiamos las unidades a cm (kg cm C)**.

Es necesario establecer la geometría de las secciones del dintel, la separación entre ellas y la forma de variación de la inercia. Todo el dintel se fabrica a base de perfil IPE-300. Si indicamos como x la distancia al origen de la barra, los datos necesarios son:

Abcisa x (m)	0	2.00	9.02	10.02
Canto del perfil h (cm)	54	30	30	45
Tramo		1° (esquina)	2° (canto cte.)	3° (cumbreira)
Longitud del tramo L	(m)	2.00	7.02	1.00
	(%)	20	70	10
Variación de la inercia $I(x)$		≈ parabólica	constante	≈ parabólica

La variación de la inercia $I(x)$ de una sección rectangular maciza es cúbica. La inercia es $I = b \cdot h^3 / 12$, el canto varía linealmente con la abcisa x y la inercia con el cubo de h .

La inercia de una doble T es la suma de la inercia de cada ala más la del alma. La inercia del ala es bastante superior a la del alma. Se calcula como $I_{ala} = 2 \cdot A_f \cdot y_{G,f}^2$ (A_f : área del ala, $y_{G,f}$: baricentro del ala), despreciando la inercia respecto a su propio eje. La posición del baricentro del ala varía linealmente como el canto h . La variación de la inercia $I(x)$ es sobre todo de **2º grado** o parabólica. Este parámetro tiene escasa influencia.



4.1. Sección de acartelamiento de esquina: mediante un *Prontuario de Perfiles*, se buscan las dimensiones de la sección IPE-300 cuyo canto se aumentará a 540 mm.

Seleccionamos los dinteles y abrimos nuevamente la orden *Assign* → *Frame* → *Frame Sections* → *Add New Property* → *I/Wide Flange*. Se denomina la sección por ejemplo:

Section Name IPE-300/540

Material → S275JR

$h = 54$ cm (canto) (t_3 : *Outside height*)

$b = 15$ cm (ancho ala) (t_2 : *Top flange width*); (t_{2b} : *Bottom flange width*)

$t_f = 1.07$ cm (espesor ala) (t_f : *Top flange thickness*); (t_{fb} : *Bottom flange thickness*)

$t_w = 0.71$ mm (espesor alma) (t_w : *Web thickness*)

Consultamos las propiedades *Section Properties ...* y anotamos los valores del área (68.92 cm^2) y de **Section Modulus about 3 axis** o momento resistente elástico, $W_{y,el}$, para comprobar la cartela (1138 cm^3).

Se recomienda que ese valor sea del orden del $W_{y,el}$ del pilar (IPE-400, 1160 cm^3) ya que el flector es común para ambas barras. Para el canto de 540 mm, consultando la Tabla 8.1, $W_{y,el} = 1185 \text{ cm}^3$ (se tiene en cuenta el radio de acuerdo ala-alma).

Property Data			
Section Name		IPE-300/540	
Properties			
Cross-section (axial) area	68.9206	Section modulus about 3 axis	1138.4472
Moment of Inertia about 3 axis	30738.074	Section modulus about 2 axis	80.4562
Moment of Inertia about 2 axis	603.4218	Plastic modulus about 3 axis	1326.9056
Product of Inertia about 2-3	0.	Plastic modulus about 2 axis	126.9107
Shear area in 2 direction	38.34	Radius of Gyration about 3 axis	21.1185
Shear area in 3 direction	26.75	Radius of Gyration about 2 axis	2.9589
Torsional constant	17.8336	Shear Center Eccentricity (x3)	0.

4.2. Acartelamiento de cumbrera:

En lugar de definirlo de nuevo, con la orden *Add Copy of Property*, hacemos una copia del IPE-300/540 y en el cuadro que aparece le cambiamos el nombre y el canto $h = 45 \text{ cm}$. Comprobamos que el material es correcto S275JR:

Section Name: IPE-300/450

$h = 450 \text{ mm}$ (canto) (t_3 : Outside height)

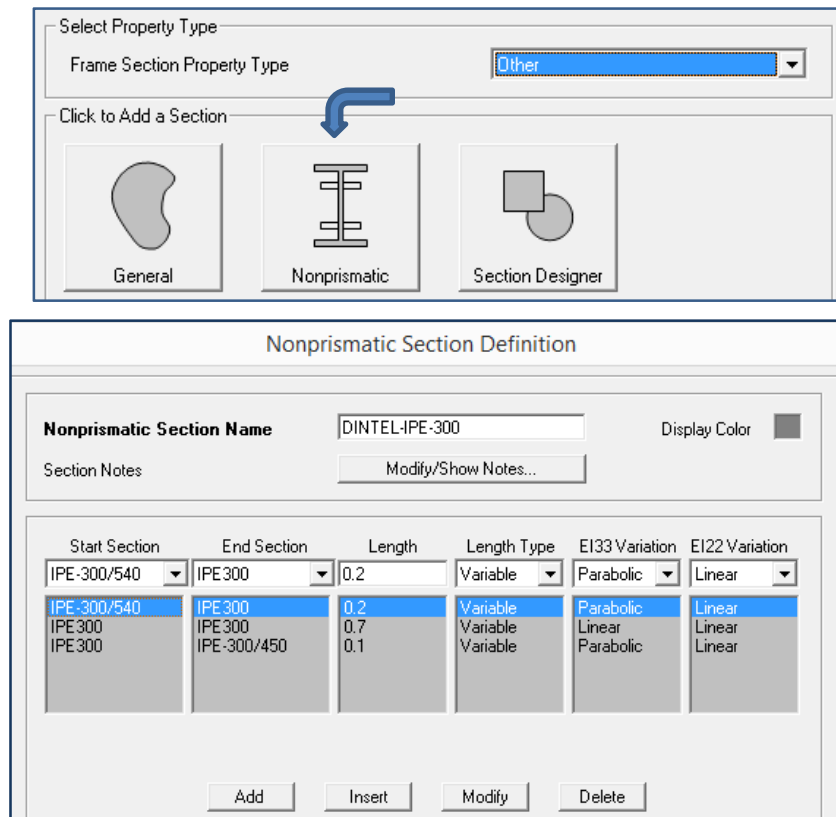
El resto es similar al acartelamiento de esquina, por lo que no es necesario modificar.

I/Wide Flange Section			
Section Name		IPE-300/450	
Section Notes		Modify/Show Notes...	
Properties		Property Modifiers	
Section Properties...		Set Modifiers...	
		Material	
		+ S275JR	
Dimensions			
Outside height (t3)	45		
Top flange width (t2)	15.		
Top flange thickness (tf)	1.07		
Web thickness (tw)	0.71		
Bottom flange width (t2b)	15.		
Bottom flange thickness (tfb)	1.07		
		Display Color <input type="checkbox"/>	


4.3. Definición de cada tramo de dintel (L = 10018 mm) y asignación de propiedades:

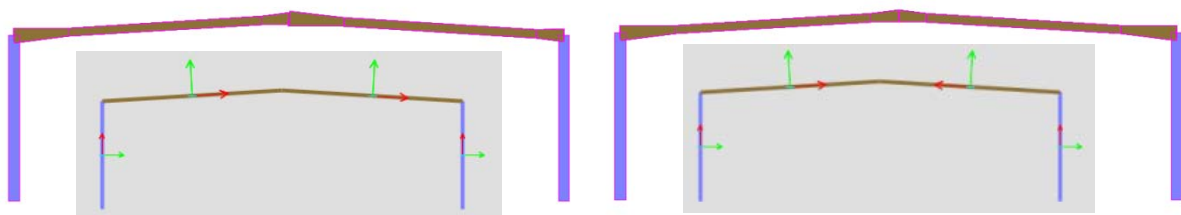
Tramo	Sección inicio	Sección final	Longitud absoluta	Longitud relativa
1°	IPE-300/540	IPE-300	2004	0.2
2°	IPE-300	IPE-300	7013	0.7
3°	IPE-300	IPE-300/450	1001	0.1

Se seleccionan ambos dinteles y se activa *Assign* → *Frame Properties* → *Add New Property* → *Select Property Type (Frame Section Property Type): Other* → *Nonprismatic*.



Se elige un nombre a la viga: DINTEL-IPE-300. Se especifican: la sección en el origen de la barra (*Start Section*), al final de la barra (*End Section*), la longitud (relativa a la longitud total, si se selecciona *variable*, o la longitud real de la barra, si se elige *Absolute*), la variación de la inercia (lineal, parabólica o cúbica) tanto para la inercia en su plano I33 como la inercia lateral I22 (esta última sólo necesaria en cálculos espaciales). Al finalizar cada línea, se tecldea *Add*, con lo que se adjunta a las filas de la tabla inferior. Si es necesario corregir, se pincha en la fila incorrecta, se rectifica el error y se tecldea *Modify*.

4.4. El nudo origen del dintel debe ser el acartelamiento de esquina, lo cual **no se verifica** para el dintel derecho, ya que el origen está en cumbrera. Se debe cambiar el origen del dintel a sotavento o sentido del eje 1 (local *x*). Se selecciona el dintel derecho y abre la orden *Assign* → *Reverse Connectivity* → *Keep Assigns in the Same Global Orientation*. La Figura del pórtico se activa mediante *Ctrl-E* (), y en *General*, los modos *Extrude View* y *View by Color of* → *Sections*.



Incorrecto

Correcto

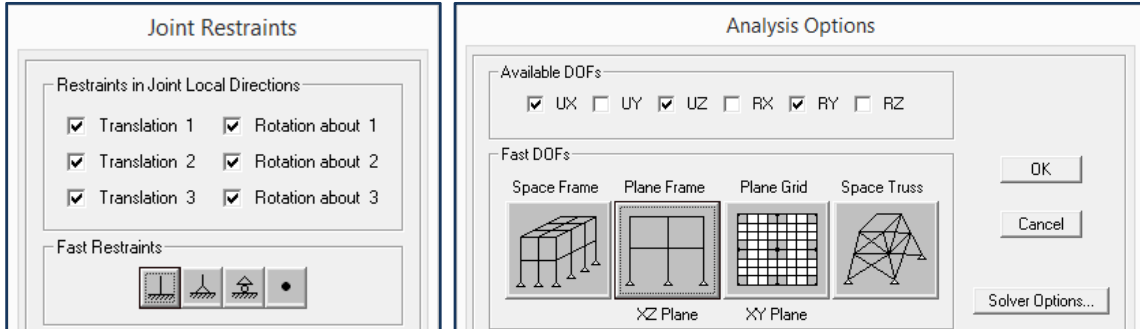
Al final es importante recordar que las **unidades** vuelven a cambiarse a **m** en la esquina inferior derecha. Se desactiva la opción *Extrude View* (*Ctrl-E*).

16.1.4 - RESTRICCIONES

Paso 1: Apoyos

Son los empotramientos de las bases de los pilares. Se restringen (son nulos) todos los movimientos posibles, las traslaciones y giros según los ejes globales X, Y, Z.

Se seleccionan los nudos de las bases de los pilares y se abre *Assign* → *Joint* → *Restraints*, marcamos todas las casillas o seleccionamos el icono de empotramiento.



Paso 2: Estructura plana

Los movimientos libres (*available* o permitidos) de los nudos de una estructura plana son:

- Desplazamiento según X: *Translation 1*
- Desplazamiento según Z: *Translation 3*
- Giro según Y: *Rotation about 2*

Mediante la orden *Analyze* → *Set Analysis Options* → *Available DOFs* (Grados de libertad disponibles) mediante *Fast DOFs* → *Plane Frame, XZ Plane*.

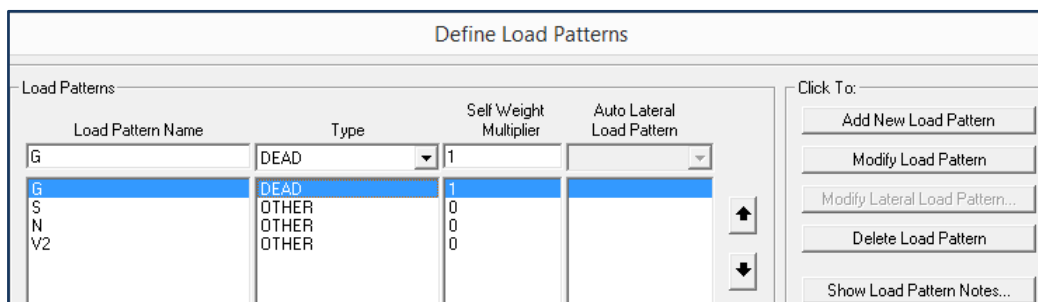
16.1.5 - ACCIONES

Paso 1: Definir las **hipótesis de carga**, que se encuentran en el siguiente cuadro:

Se utiliza la orden *Define* → **Load Patterns**. En el cuadro hay 4 columnas: la 1ª en la que se anota el nombre de las hipótesis. En la 2ª seleccionamos *Other* (valor no necesario para el cálculo). En la 3ª se escribe un factor del **peso propio de la estructura** *self weight*, según la dirección -Z.

Tipo	Designación
<i>Acción permanente (Peso propio)</i>	G
<i>Sobrecarga uso</i>	S
<i>Nieve</i>	N
<i>Viento – izq.der. Presión cubierta.</i>	V2

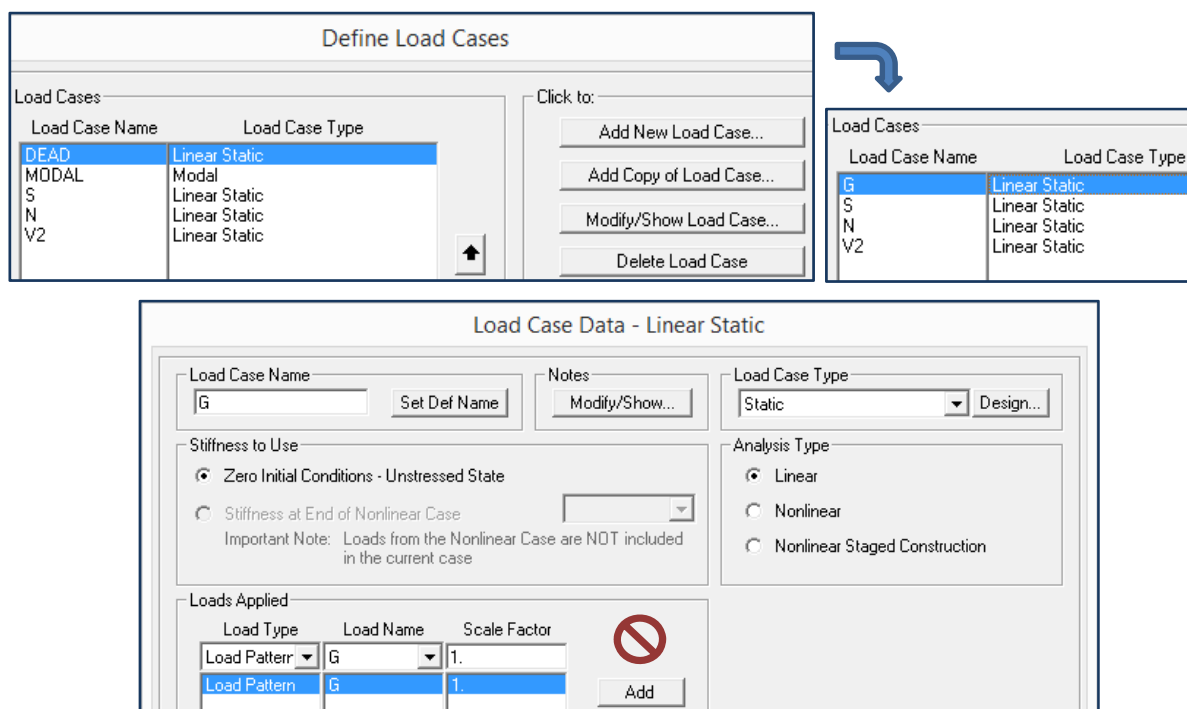
Una vez modificado el nombre por defecto *Dead* por *G*, pinchar en *Modify Load*. Las siguientes hipótesis de carga, al ser nuevas, se añaden a la lista con *Add New Load*. En la 3ª columna, sólo la hipótesis G tiene el coeficiente 1 multiplicativo del peso propio de la estructura. El resto es nulo.



Paso 2: Definir el tipo de análisis a efectuar. Se trata de un análisis estático lineal.

En el menú *Define* → *Load Cases*:

- Borramos el 2º tipo de análisis (Modal o vibración) mediante *Delete Load Case*. Con este análisis el programa calcula los modos de vibración de la estructura
- Cambiamos, mediante *Modify/Show Case...*, el nombre de la 1º hipótesis *Dead* por *G* en *Analysis Case Name*. De esta forma, cada *Load Pattern* tiene el mismo nombre que el *Load Case* correspondiente. No modificar el cuadro *Loads Applied*



Paso 3: Definir las combinaciones de carga: *Define* → *Combinations...*, abriéndose un cuadro de diálogo. Dentro de él teclearemos *Add New Combo*.

Las combinaciones de carga (*Loads Combinations*), son:

	Denominación	G	S	N	V2
E.L.U.	Comb1	1.35	1.50	0.75	
	Comb2	1.35	1.50	0.75	0.90
E.L.S.	ELS-1	1.00	1.00	0.50	
	ELS-2	1.00	1.00	0.50	0.60

Introducimos la primera combinación, *Comb1*, escribiendo el título en las casillas (*Load Combination Name* y *Title*). En *Define Combinations* se selecciona la primera hipótesis *G* *Load Case*, y su factor de carga 1.35 (*Scale Factor*). Tecleamos a continuación *Add* y para finalizar *OK*. A continuación añadimos (*Add*) la hipótesis *S* con su factor de mayoración 1.50, y por último la hipótesis *N* con su factor 0.75.

Repetimos el procedimiento para el resto de las combinaciones de carga:

- La *Comb2* es la *Comb1* más el viento *V2* por 0.9
- La *ELS-2* es la *ELS-1* más viento *V2* por 0.6

No se define el viento como acción variable principal debido a que no suele proporcionar los mayores esfuerzos al combinarse con la carga permanente y con la nieve.

Define Load Combinations

Load Combinations

COMB1
COMB2
ELS-1
ELS-2

Click to:

Add New Combo...

Add Copy of Combo...

Modify/Show Combo...

Delete Combo

Load Combination Data

Load Combination Name (User-Generated)

Notes

Load Combination Type

Options

Define Combination of Load Case Results

Load Case Name	Load Case Type	Scale Factor
G	Linear Static	1.35
G	Linear Static	1.35
S	Linear Static	1.50
N	Linear Static	0.75

Load Combination Data

Load Combination Name (User-Generated)

Notes

Load Combination Type

Options

Define Combination of Load Case Results

Load Case Name	Load Case Type	Scale Factor
G	Linear Static	1.35
G	Linear Static	1.35
S	Linear Static	1.5
N	Linear Static	0.75
V2	Linear Static	0.9

Load Combination Data

Load Combination Name (User-Generated)

Notes

Load Combination Type

Options

Define Combination of Load Case Results

Load Case Name	Load Case Type	Scale Factor
G	Linear Static	1
G	Linear Static	1
S	Linear Static	1
N	Linear Static	0.5

Load Combination Data

Load Combination Name (User-Generated)

Notes

Load Combination Type

Options

Define Combination of Load Case Results

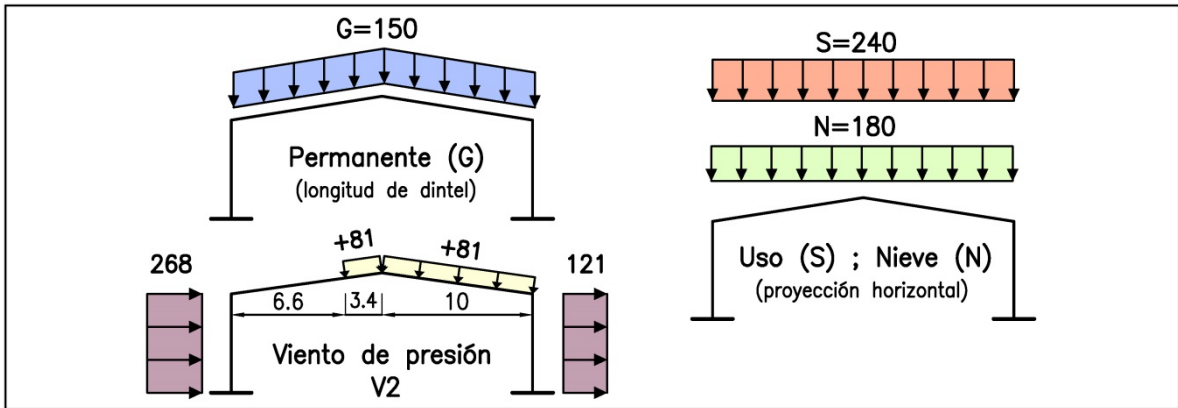
Load Case Name	Load Case Type	Scale Factor
G	Linear Static	1.
G	Linear Static	1.
S	Linear Static	1.
N	Linear Static	0.5
V2	Linear Static	0.6

Paso 4: Definición de las cargas en barras y asignación a las mismas. Se seleccionan los dinteles y se abre: **Assign** → **Frame Loads** → **Distributed**. Los pasos son:

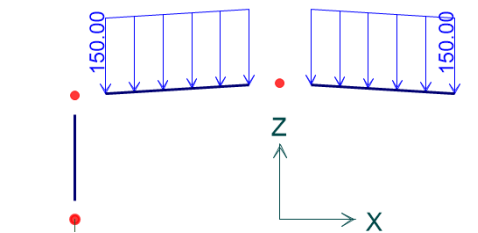
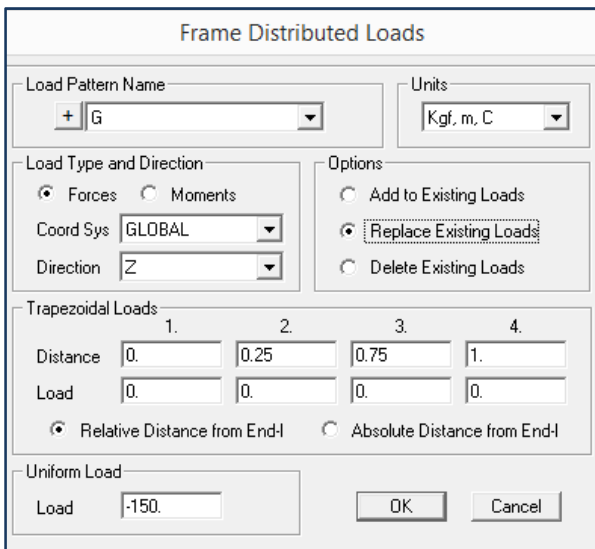
- Seleccionar la barra o barras sobre las que vamos definir cargas
- Definir la dirección de la carga (Z: gravitatorias ; X: viento)
- Definir el valor de la carga (signo negativo para las gravitatorias -Z)
- Seleccionar la hipótesis a la que pertenece la carga definida

Para visualizar en cualquier momento las cargas, teclear en **Display** → **Show Load Assigns** → **Frame**, aunque aparecen en pantalla según las vamos definiendo. Se representan hipótesis por hipótesis.

Importante: Unidades actuales, **kg m**. Se recuerda y debe comprobarse que se modificó de **kg·cm** (*Section Properties*) a **kg·m** (*Loads*) en la esquina inferior derecha de la pantalla de trabajo.



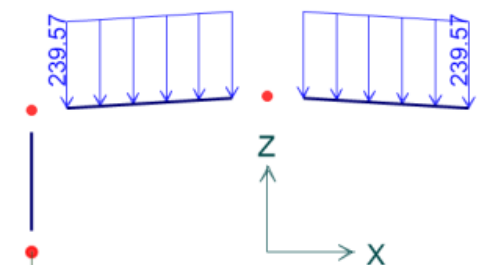
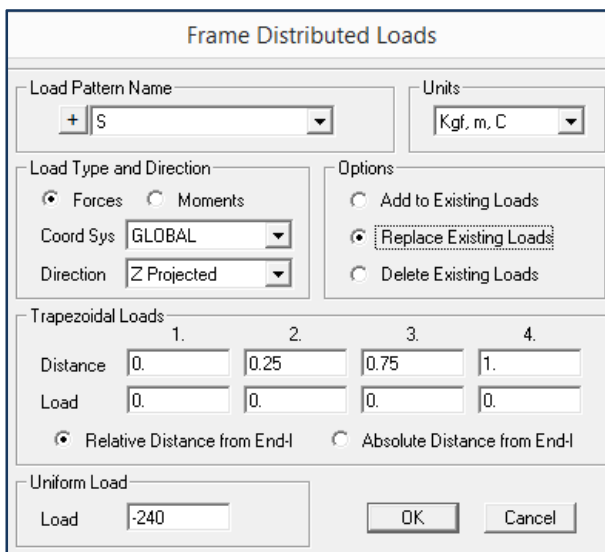
a) **Cargas permanentes:** $G = 25 \text{ kg/m}^2 \cdot 6 \text{ m}$ (separación pórticos) = 150 kg/ml.



En el cuadro y figura se ha representado, la aplicación de una carga uniforme de $20 \cdot 6 = 150 \text{ kg/ml}$ según el eje global Z negativo y perteneciente a la hipótesis G.

Es de destacar que al seleccionar el eje global Z la carga se aplica por metro lineal **según la directriz de la barra**, tal como corresponde al peso del panel, aunque no es así en el caso del falso techo.

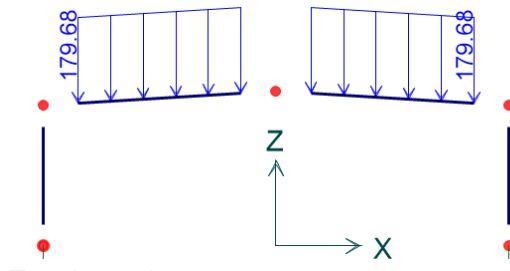
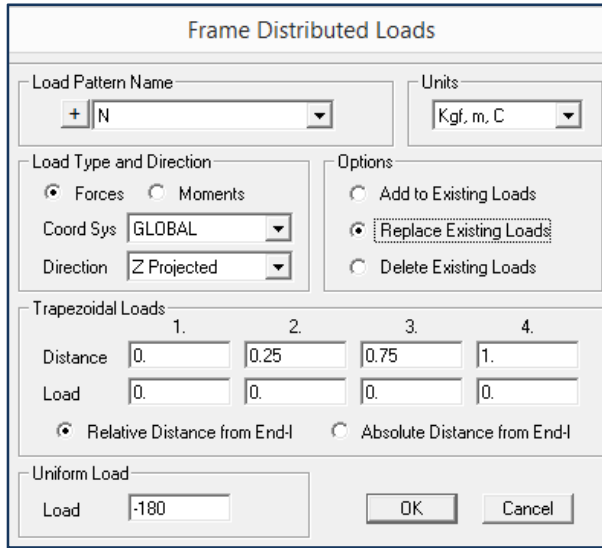
b) **Sobrecarga de uso** $S = 40 \text{ kg/m}^2 \cdot 6 \text{ m}$ (separación pórticos) = 240 kg/ml.



Se seleccionan nuevamente los dinteles. La carga uniforme es de $40 \cdot 6 = 240 \text{ kg/m}$ según el eje global Z negativo de la hipótesis S. Al seleccionar el eje *Global Z Projected*.

La carga se aplica por metro lineal **según la proyección respecto a la directriz de la barra** ($40 \cdot 6 \cdot \cos \alpha = 239.57 \text{ kg/ml}$).

Nieve $N = 30 \text{ kg/m}^2 \cdot 6 \text{ m (separación p\u00f3rticos)} = 180 \text{ kg/ml}$



En el cuadro se representa, tras repetir la selecci\u00f3n de los dinteles, la aplicaci\u00f3n de una carga uniforme de $30 \cdot 6 = 180 \text{ kg/ml}$ seg\u00fan el eje global Z negativo y perteneciente a la hip\u00f3tesis N.

La carga se aplica por metro lineal seg\u00fan la proyecci\u00f3n respecto a la directriz de la barra ($30 \cdot 6 \cdot \cos \alpha = 179.68 \text{ kg/ml}$).

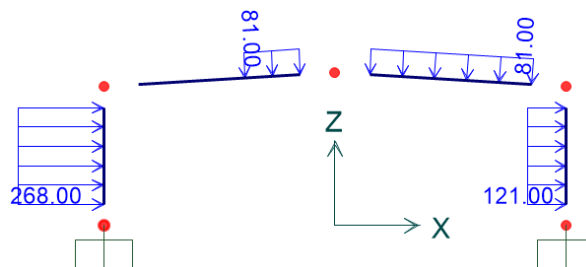
c1) C\u00e1lculo del viento en pilares y cubierta

La presi\u00f3n din\u00e1mica del viento es de 45 kg/m^2 . En el cuadro siguiente se obtienen las cargas uniformes en pilares en kg/m seg\u00fan la direcci\u00f3n del eje +X global.

Pilares	q_B	Coficiente de exposici\u00f3n c_e	Coficiente e\u00f3lico c_p	Separaci\u00f3n p\u00f3rticos (m)	Presi\u00f3n kg/m
Barlovento	45 x	1.4	+0.71	6	= 268
Sotavento			-0.32		= -121

El coeficiente de exposici\u00f3n para una altura del fald\u00f3n de 7 m, es de $c_e = 1.5$. La luz es $d = 20 \text{ m}$ (longitud en la direcci\u00f3n del viento). La longitud de la zona I es 13.4 m.

Dinteles	Distancia relativa a la longitud de la barra	q_B	Coficiente exposici\u00f3n c_e	Coficiente e\u00f3lico c_p	Separaci\u00f3n p\u00f3rticos (m)	Presi\u00f3n kg/m
Barlovento	$[(d-L_1)/(d/2) ; 1] = [0.66 ; 1]$	45	1.5	+0.2	6	+81
Sotavento	$[0, 1]$					



c2) Introducci\u00f3n de las cargas de viento

En pilares, a barlovento, se ha introducido una carga uniforme de 268 kg/ml , a sotavento de 121 kg/m , ambas seg\u00fan la direcci\u00f3n del eje global +X.

Para los dinteles, al ser la carga perpendicular a la directriz de la barra, vamos a definirla seg\u00fan los ejes locales de la barra, es decir, el eje 2 (local y, seg\u00fan EAE). Respecto a los ejes globales, ser\u00eda necesario proyectarla previamente seg\u00fan Z y X.

Es **IMPORTANTE** conocer la dirección positiva del eje 2. Según convenio de SAP2000, en elementos horizontales o inclinados (no verticales) el eje 2 siempre tiene una componente en la **dirección positiva del eje Z global** (“se dirige hacia arriba”).

Por ello los valores de las cargas se definen con **SIGNO NEGATIVO** con presión del viento. En caso de error, se detecta pronto si observamos la representación de las cargas.

En el cuadro de *Frame Distributed Loads*, dintel a barlovento, la carga se ha definido como *Trapezoidal Loads*, no porque sea linealmente variable, sino porque afecta al tramo entre 0.66 a 1 (longitudes relativas), con un valor constante de -81 kg/m.

PILARES:

BARLOVENTO

SOTAVENTO

Trapezoidal Loads				
	1.	2.	3.	4.
Distance	0.	0.25	0.75	1.
Load	0.	0.	0.	0.

Trapezoidal Loads				
	1.	2.	3.	4.
Distance	0.	0.25	0.75	1.
Load	0.	0.	0.	0.

DINTELES

BARLOVENTO

SOTAVENTO


Trapezoidal Loads				
	1.	2.	3.	4.
Distance	0.66	1	0.75	1.
Load	-81	-81	0.	0.

Trapezoidal Loads				
	1.	2.	3.	4.
Distance	0.	0.25	0.75	1.
Load	0.	0.	0.	0.

Paso 5 (Opcional pero recomendable): El programa realiza la salida de resultados de esfuerzos en los extremos de barras, cambios de sección (cartabones) y en secciones interiores a la barra. La siguiente orden no altera el cálculo, pero influye en las gráficas de esfuerzos y en los listados, ya que el programa calcula los esfuerzos en cada sección definida. Cuanto mayor sea el número, más preciso será el cálculo de momentos cuando la variación sea parabólica o cúbica, pero listados serán más extensos.

La orden es *Assign* → *Frame* → *Output Station* → *Min Number Station*. Se utilizará el valor por defecto del programa (9 secciones, pero puede variar según versiones).

16.2 - Cálculo

El cálculo se inicia al teclear el botón  de la botonera horizontal o bien en el menú desplegable *Analyze* → *Run*, o bien la tecla F5. El cálculo se inicia al teclear en la parte inferior *Run now*.

En el caso de ocurrir errores (*analysis incomplete*), el cálculo quedaría abortado.


FICHERO DE DATOS:


- El nombre del fichero en formato SAP2000 se crea con la extensión “.sdb”. Incluye toda la información del fichero y configuración gráfica que se haya definido.

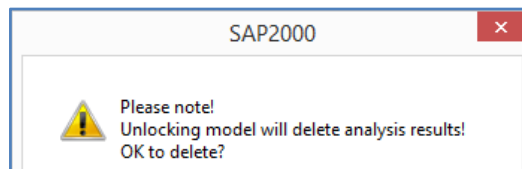
FICHERO DE COPIA DE SEGURIDAD

- También se crea un archivo “\$2k” que sólo contiene las instrucciones necesarias para definir el modelo, según los procedimientos o sentencias particulares del programa, que pueden editarse o modificarse mediante editores o procesadores de texto.

Este fichero puede ser modificado con cualquier editor de texto (*bloc de notas*). Por ejemplo, cuando se utiliza un fichero con una versión diferente respecto al programa, si éste es más antiguo, no se puede abrir. Sin embargo con un editor de texto podemos cambiar la *versión* a la del programa que se usa.

 **Es importante** destacar que si el cálculo ha sido correcto, SAP2000 **cierra** la introducción de datos y aparece el candado cerrado o bloqueo del cálculo *Unlock Model*. No se pueden hacer modificaciones.

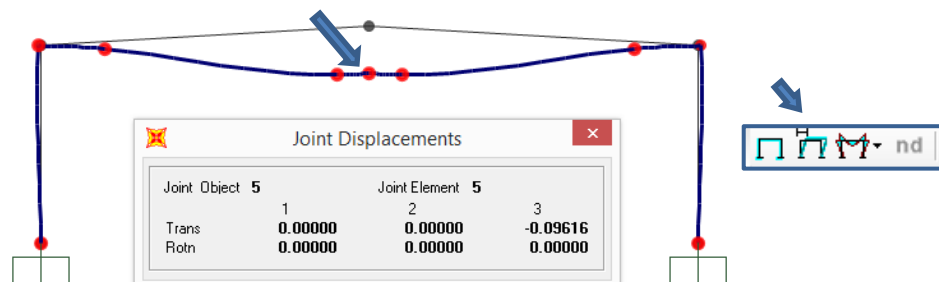
 Si hay que deshacer el cálculo para introducir nuevos datos o modificarlos, es necesario abrir el candado pinchando sobre él. SAP2000 advertirá de ese hecho con una ventana de aviso. De esta forma también se eliminan una gran cantidad de ficheros generados por el programa al calcular y que no tienen ninguna utilidad práctica.



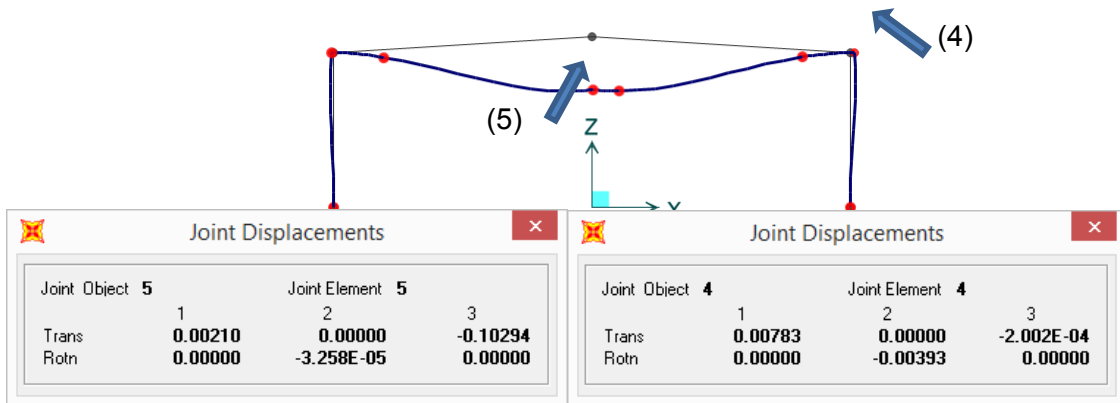
16.3 - Resultados

16.3.1 - INFORMACIÓN GRÁFICA

- a) Deformaciones en nudos: Es el dibujo que se activa al finalizar el cálculo. Puede seleccionarse mediante el menú de *Display* → *Show Deformed Shape* ó F6. A continuación se han adjuntado los resultados gráficos de los desplazamientos del nudo de cumbrera para cada combinación de carga en estado límite de servicio (se pincha con el botón derecho del ratón sobre el nudo). Se comprueba la simetría, ya que el desplazamiento y giro según 1 (X) son nulos.

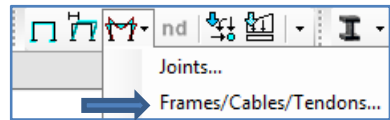


ELS-1: Cumbre, 9.62 cm según -Z.



ELS-2: Cumbre, 10.29 cm según $-Z$. Esquina a sotavento, 0.78 cm según $+X$.
 Con estos dos valores es suficiente para comprobar la deformación del pórtico.

b) **Esfuerzos:** En el menú de *Display* → *Show Forces/Stresses* → *Frames*, se selecciona la hipótesis o combinación, tipo de esfuerzo, tensiones, factor de escala, dibujo o valores.

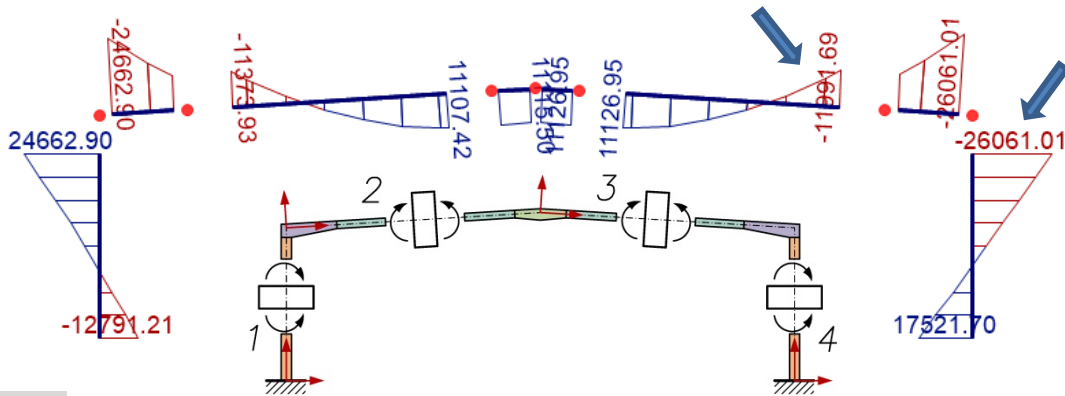


El convenio de signos coincide con el utilizado en Resistencia de Materiales. El esfuerzo positivo también se representa en la ordenada negativa:

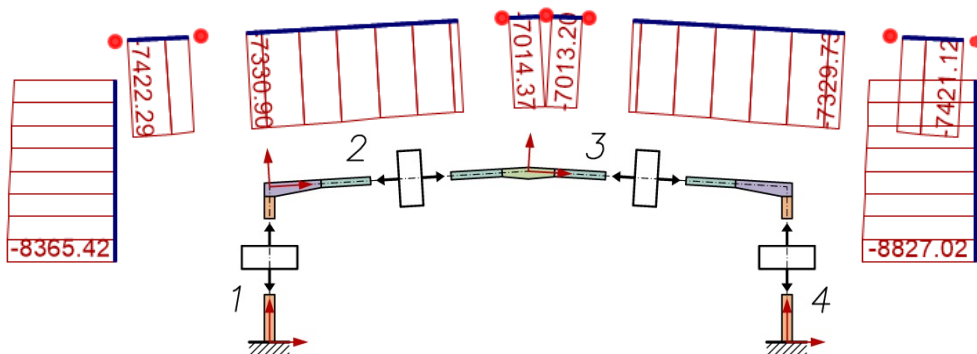
- **Axil:** es positivo un axil de tracción, sentido del eje local 1 (x) de la barra
- **Flector:** es positivo si origina tracción en el lado negativo del eje 2 local (y)

Para la combinación 2:

FLECTORES



AXILES:



Respecto a los flectores en pilares, si bien la gráfica coincide con la representación habitual, el signo de los momentos del **pilar izquierdo** es opuesto al común en *Cálculo de estructuras*. Se debe a la asimetría de ejes locales, causado por el pilar izquierdo cuyo eje local 2 tiene un sentido opuesto (+X) a lo habitual. En este texto se considera positivo el flector en la base y negativo en el nudo de esquina para ambos pilares.

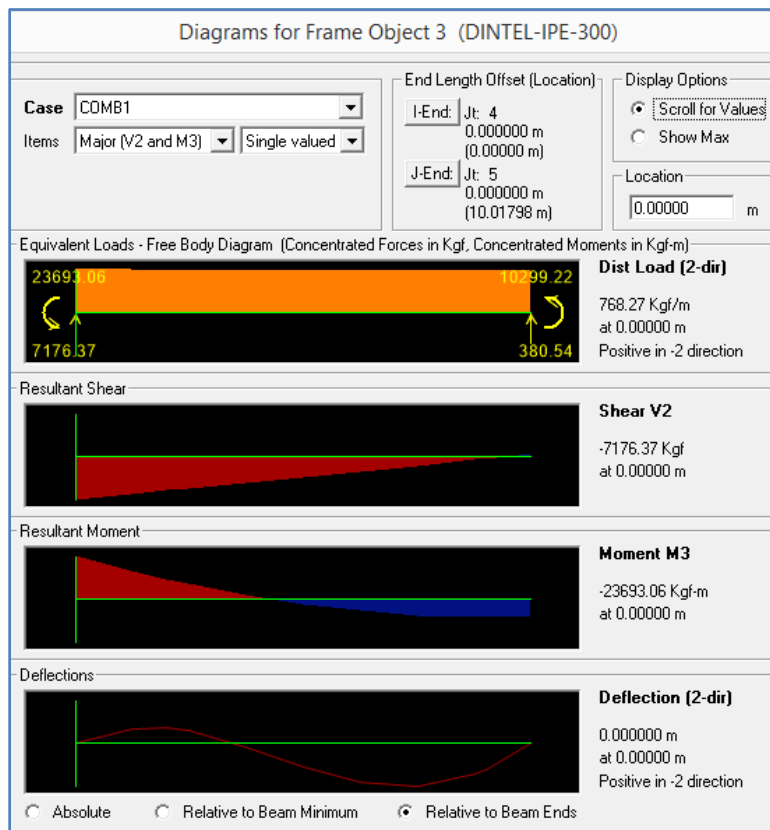
En la gráfica de axiles sólo se representa el valor máximo de cada barra.

d) Esfuerzos por barra:

El esfuerzo a lo largo de una barra y su abcisa (*Location*) puede conocerse de forma gráfica con sólo pinchar encima de la barra en cuestión con el botón derecho del ratón.

En la Figura aparecen los esfuerzos para el dintel y la Comb1. Las opciones son:

- *Case*: Comb1. Selección de la combinación
- *Items*: M3 (flexión simple vertical) y P (axil)
- *Display Options*. *Scroll for Values*: consultar el esfuerzo en la abcisa que se desea. *Show max* nos indica donde se encuentra el esfuerzo absoluto máximo
- *Equivalent Loads - Free Body Diagram*: este gráfico es muy ilustrativo de cómo actúan los esfuerzos en extremos de barra y valor de las acciones en barra. El sentido de los momentos dibujados en extremos de barras es el real
- *Shear V2* (cortante), *Moment M3* y *deflections* (flechas):



Desplazando la barra vertical verde se obtienen los esfuerzos en cada sección

Los flectores y flechas son exactos para las secciones en que se encuentre dividida la barra (*Output Stations*) y para las posiciones intermedias las calcula por interpolación lineal.

e) Obtención de la información gráfica:

Puede hacerse de diversas formas:

- Rápida: mediante la tecla *Impr Pant* (*Imprimir pantalla* del teclado) realizamos una copia al portapapeles de Windows de la pantalla. Podemos *pegarlo* en cualquier programa o manipularlo si se dispone de herramientas para procesar gráficos (*Photoshop*). Con la tecla *Alt + Impr Pant* copiamos sólo la ventana activa en la pantalla. Debemos cambiar el fondo de pantalla (negro) para economizar tinta si se imprime (*Options* → *Colors* → *Display, Background*, seleccionar un color blanco o claro)
- Fichero: se obtiene una imagen *jpg* o *bmp* con la orden *File* → *Capture Picture*.
- En impresora o *pdf*: *File* → *Print Setup for Graphics* y a continuación *File* → *Print Graphics*

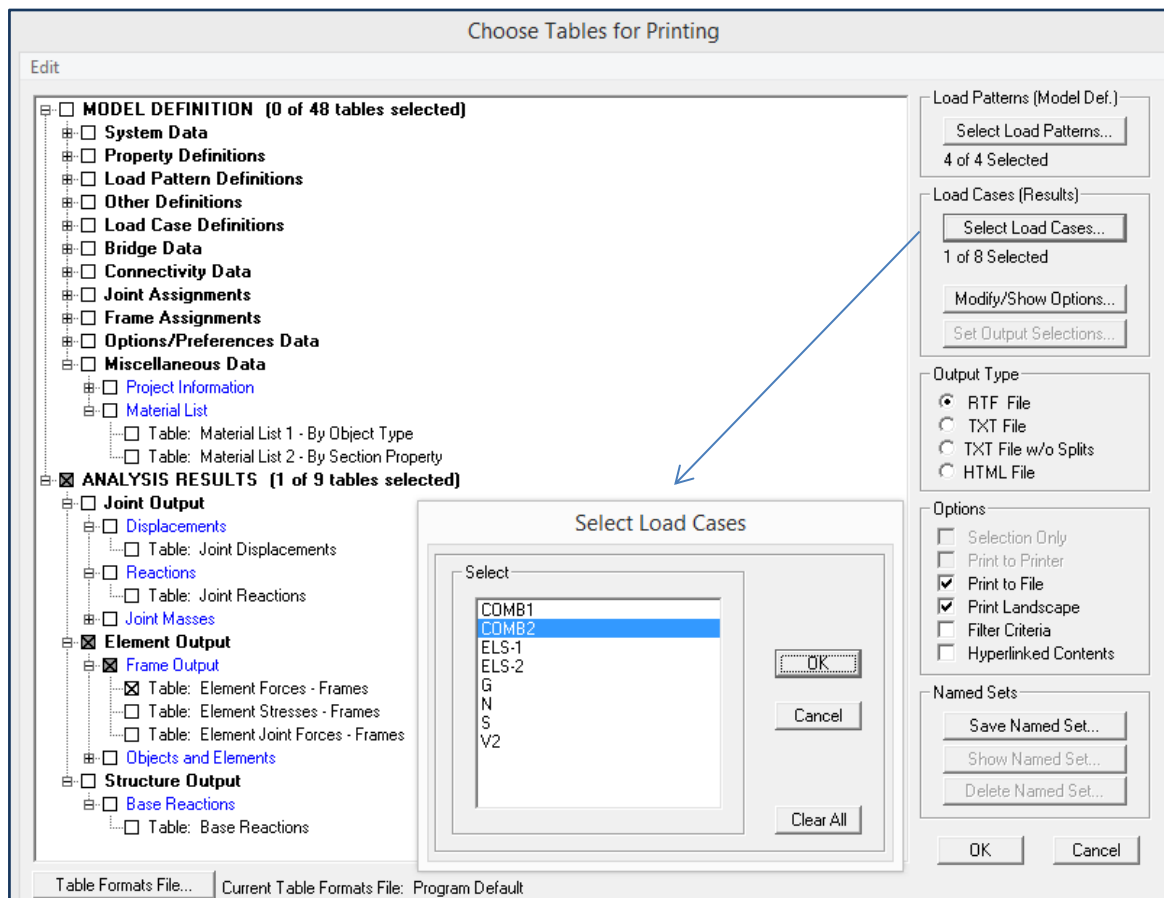
16.3.2 - OBTENCIÓN DE LISTADOS

Destacamos tres procedimientos para obtener listados de datos o resultados: esfuerzos (*Frame Forces*), desplazamientos (*Displacements*), reacciones totales (*Base Reactions*), reacciones en nudo (*Joints Reactions*) y otros, de la estructura o de una selección de barras y nudos. En los métodos que se citan aparece un cuadro con el mismo formato donde se realiza una selección de lo que se quiere listar y cómo quiere realizarse.

Se registrará en el tipo de fichero que se seleccione (*Print to File*) o en pantalla. Es conveniente que las tablas de resultados se impriman en apaisado (*Print Landscape*) para que el listado quepa en la anchura de una hoja DIN A4. Para una selección previa de barras o nudos, se activa *Selection Only*.

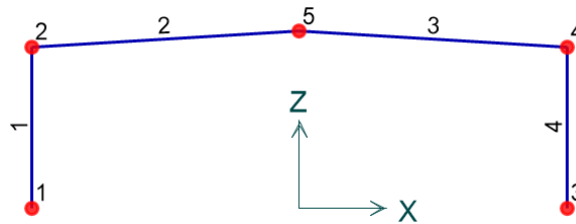
- *File* → *Print Tables*: se crea un fichero. Se aconseja el formato RTF (*Output Type*), que puede ser abierto por *Microsoft Word*
- *Display* → *Show Tables*: en este caso el listado aparece en pantalla, aunque a continuación se puede obtener un fichero RTF, XLSX (Excel), sólo texto, HTML
- El procedimiento de mayor utilidad es generar un archivo *xls* de Excel: *File* → *Export* → *SAP2000 MS Excel Spreadsheet .xls File*. Así podemos manipular los resultados, borrar columnas innecesarias, y realizar formateos rápidos y operaciones matemáticas

Nota importante: en Excel, para que el resultado numérico sea correcto, la configuración de *Windows* debe ser, para los decimales, con el **punto**, no con la coma (Panel de control → Reloj, idioma y región → Cambiar formatos de fecha, hora o número → Configuración adicional → Números, Símbolo decimal “.”). También puede modificarse dentro de la configuración del programa Excel.



Con el cuadro anterior obtenemos los esfuerzos para la Comb2. Por ejemplo, para los desplazamientos seleccionamos *Table: Joint Displacements*, para la combinación ELS-2.

Las opciones que podríamos activar, para la obtención de esfuerzos, reacciones y otros, son:



a) Reacciones totales. Peso de la estructura.

Table: Base Reactions

Se usa para realizar la verificación de los resultados y detectar errores fundamentalmente en la introducción de cargas (*Structure Output* → *Base Reactions*).

OutputCase	GlobalFX	GlobalFZ
Text	Kgf	Kgf
COMB1	0	16216
COMB2	-2072	17192

El peso de la estructura puede utilizarse para la medición de acero o para la verificación de las reacciones. Es el punto *Miscellaneous Data* → *Material List*. En el cuadro aparece, para cada tipo de sección, el número de vigas de cada tipo, la longitud total y el peso.

**Table: Material List 1
By Object Type**

ObjectType	Material	TotalWeight	NumPieces
Text	Text	Kgf	Unitless
Frame	S275JR	1673	4

**Table: Material List 2
By Section Property**

Section	ObjectType	NumPieces	TotalLength	TotalWeight
Text	Text	Unitless	m	Kgf
IPE400	Frame	2	12	796
DINTEL-IPE-300	Frame	2	20	877

b) Deformaciones (Table: Displacements)

Para los desplazamientos se seleccionan las combinaciones ELS-1 y ELS-2; a continuación *Joints Output* → *Displacements*: $U_1 = \Delta_x$; $U_3 = \Delta_z$. Con esos valores se comprueba la flecha en cumbrera y el desplome en esquina.

Joint	OutputCase	U1	U3
Text	Text	m	m
2	ELS-1	-0.00537	-0.00018
	ELS-2	-0.00364	-0.00019
4	ELS-1	0.00537	-0.00018
	ELS-2	0.00783	-0.00020
5	ELS-1	0.00000	-0.09616
	ELS-2	0.00210	-0.10294

c) Reacciones (Table: Reactions)

Para las reacciones en apoyos se selecciona la combinación Comb2; a continuación *Joints Output* → *Reactions*: $F_3 = F_X$, $M_2 = M_Y$. Con esos valores se calcula la base de anclaje.

Joint	F3	M2
Text	Kgf	Kgf-m
1	8365	12791
3	8827	-17522

c) Esfuerzos (Table: Element Forces, Frames)

En el cuadro *Analysis Results* → *Element Output* → *Frame Output* → *Table. Element Forces: Frames*. Se tabulan por número de barra y sección (*Station*) a partir de su distancia al origen de la barra. Los esfuerzos que interesan, para el dimensionado de las barras, son:

P (axil) ; **-M3** (flexión en el plano, según el eje local 3)

- Se listan los esfuerzos de **Comb2**. Las barras fueron divididas (ver 16.1.5 Paso 5) en 9 secciones (8 tramos). Para el dintel, a mayor número de secciones más precisión en el cálculo del flector positivo en el tramo del dintel de inercia constante.

En la Tabla original, se ha procedido a eliminar las columnas innecesarias.

TABLE: Element Forces - Frames									
Frame	Station	P	V2	M3	Frame	Station	P	V2	M3
Text	m	Kgf	Kgf	Kgf-m	Text	m	Kgf	Kgf	Kgf-m
PILAR BARLOVENTO					PILAR SOTAVENTO				
	0	-8365	-5519	-12791		0	-8827	7590	17522
	0.750	-8298	-5700	-8584		0.750	-8760	7509	11859
	1.500	-8231	-5881	-4242		1.500	-8693	7427	6258
	2.250	-8164	-6061	237		2.250	-8626	7345	719
1	3.000	-8097	-6242	4850	4	3.000	-8558	7264	-4760
	3.750	-8030	-6423	9600		3.750	-8491	7182	-10177
	4.500	-7962	-6604	14485		4.500	-8424	7100	-15533
	5.250	-7895	-6785	19506		5.250	-8357	7019	-20828
	6	-7828	-6966	24663		6	-8290	6937	-26061
DINTEL BARLOVENTO					DINTEL SOTAVENTO				
	0	-7422	-7397	-24663		0	-7421	-7859	-26061
	1.252	-7365	-6441	-16000		1.252	-7364	-6812	-16876
	2.004	-7331	-5874	-11374		2.004	-7330	-6190	-11992
	2.504	-7308	-5497	-8526		2.504	-7307	-5777	-8995
	3.757	-7252	-4555	-2233		3.757	-7251	-4743	-2408
2	5.009	-7195	-3613	2881	3	5.009	-7194	-3710	2885
	6.261	-7139	-2671	6815		6.261	-7138	-2677	6884
	7.513	-7082	-1663	9540		7.513	-7081	-1643	9589
	8.766	-7026	-630	10976		8.766	-7025	-610	11000
	9.016	-7014	-423	11107		9.016	-7013	-403	11127
	10.018	-6969	408	11115		10.018	-6968	428	11115

- Para el dimensionado debemos localizar en cada tramo de barra de sección constante los mayores esfuerzos. Estos deben pertenecer a la misma sección en comprobaciones de resistencia o bien ser los máximos de la barra en las comprobaciones a pandeo. Siempre los esfuerzos deben pertenecer a la misma combinación.

Se han reseñado en negrita los flectores $M3$ a priori más desfavorables, acompañados del axil P de su sección:

- Pilar: la base ($x = 0$) y el nudo de esquina ($x = 6$). Se recuadra el flector de mayor (nudo de esquina)
 - Dintel inercia constante: Flector negativo al arranque del cartabón de esquina ($x = 2.004$ m) y positivo en el centro del vano ($x = 9.016$ m). Se recuadra el mayor (flector negativo)
 - Cartabón de esquina del dintel ($x = 0$)
- El cortante ($Shear$) $V2$ no es necesario para el dimensionado.
- Estos flectores también son válidos para cualquier otra combinación de perfiles IPE en la que el dintel sea **tres** perfiles inferior al pilar ($I_{\text{pilar}}/I_{\text{dintel}} \approx 3$).
- En el mismo fichero puede analizarse otra relación de inercias, por ejemplo de dos perfiles inferior el dintel respecto al pilar, sin más que copiar el pórtico a una cierta distancia (por ejemplo $Z = 10$ m) del existente. El programa calculará simultáneamente ambos pórticos. Se utiliza la orden *Edit* → *Replicate*. La geometría, propiedades, acciones, etc., se conservan en la copia, en la que únicamente deberemos modificar los perfiles.

16.3.3 - ALTILLO (*)

Paso 1: Se aconseja realizar una copia con otro nombre para la estructura con altillo. Se selecciona el soporte a sotavento. Se divide el pilar en dos mitades iguales con la orden: *Edit* → *Edit Lines* → *Divide Frames, Divide into Specified Number of Frames, Number of Frames, 2* ; *Last/First Length Ratio = 3/3 = 1*

Paso 2: Se selecciona el tramo inferior del pilar a sotavento incluso nudos y lo copiamos a su posición definitiva: *Edit* → *Replicate* → *dx = -5* → *Modify/Show Replicate Options* → *LOADS AND DESIGN* → Desactivar *Distributed* (para no copiar la carga de viento).

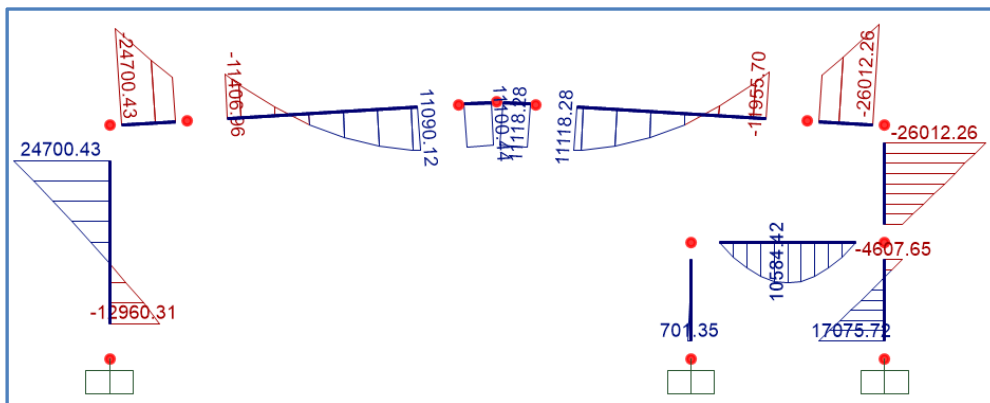
Paso 3: Dibujamos el dintel. Con la 4ª tecla de la barra a la izquierda de la pantalla, *Draw Frame/Cable*. En el cuadro que aparece, en *Section*, se selecciona IPE-300. En el mismo cuadro, en *Moment Releases*, se selecciona *Pinned* (barra biarticulada). Dibujamos la barra y pinchamos el nudo superior del pilar interior y el nudo intermedio del pilar IPE-400 de la fachada lateral. Volvemos al modo normal de selección (*Set Select Mode*) con la 1ª tecla de la barra a la izquierda de la pantalla.

Paso 4: Asignamos el perfil HEA-140 al pilar interior. Se selecciona este pilar: *Assign* → *Frame* → *Frame Section* → *Import New Property* → *I/Wide Flange, Fichero Euro.pro, HE 140A, Material S275JR*.

Paso 5: Se colocan las cargas en la viga. Se selecciona el dintel: *Assign* → *Frame Loads* → *Distributed*. Son dos hipótesis de carga: *Load Pattern Name: G, Direction Z, Uniform Load: -600*3* (forjado: 400, pavimento: 100, tabiquería: 100). Se vuelve a seleccionar el dintel: *Load Pattern Name: S, Direction Z, Uniform Load: -200*3*

Nota: La estructura es asimétrica. El altillo puede situarse en el pilar de barlovento o en el de sotavento, dando lugar a dos hipótesis diferentes. Sólo se ha definido respecto al pilar de sotavento, pues la otra hipótesis ofrece resultados semejantes.

Paso 6: Se efectúa el cálculo (*Run* ó *F5, Run Now*). El diagrama de flectores (Comb2) es:



Los esfuerzos en el altillo son prácticamente coincidentes con los obtenidos en el cálculo manual del Apartado 11.9. Los flectores en la estructura principal no han experimentado modificaciones significativas. Pinchando con el botón derecho sobre la jácena del altillo (ELS-2), se observa que la flecha máxima es la misma que en 11.9 (0.011 m):

