

Departamento de Ingeniería Rural y Agroalimentaria

---

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA**

APLICACIONES PRÁCTICAS DE:

# CÁLCULO ESTRUCTURAL CON PROGRAMA

- PÓRTICO A DOS AGUAS DE ACERO
- CELOSÍA DE ACERO
- PÓRTICO DE HORMIGÓN ARMADO
- CERCHA DE MADERA

**Autores:**

José Javier Ferrán Gozávez  
Miguel Redón Santafé

## PRÓLOGO

En los estudios del Grado en Ingeniería Agroalimentaria y del Medio Rural, Ingeniería Forestal y del Medio Natural y el Máster en Ingeniería Agronómica, reviste especial interés las construcciones realizadas en *estructuras de acero* (naves), de *hormigón armado* (edificación) y de *madera* (cubiertas).

En diversas asignaturas de estas titulaciones se establecen las bases para la realización de un proyecto técnico de cada una de las construcciones mencionadas. Uno de los puntos de mayor relevancia es el desarrollo de los cálculos de la estructura portante.

En esta monografía, mediante el programa SAP2000 de cálculo estructural, se detalla un procedimiento para obtener los esfuerzos, deformaciones y otros resultados necesarios para el dimensionado de las estructuras propuestas. Las estructuras a calcular se definen en las siguientes publicaciones docentes editadas por la Universidad Politécnica de Valencia:

1) *Proyecto de nave de estructura de acero (según EAE)*. Nº 535

- Pórtico a dos aguas de acero para una nave
- Celosía de cubierta de acero para una nave

2) *Curso de hormigón armado (según EHE-08)*. Nº 40

- Pórtico de hormigón armado para un edificio de oficinas

3) *Proyecto y cálculo de estructuras de madera. Parte 2*. Nº 106

- Cercha tradicional de madera

La metodología aplicada en estos ejemplos se desarrolla tal que permita al lector realizar paralelamente y con la ayuda de cada ejemplo, los cálculos de su propio proyecto, tal como se establece en las competencias transversales y en los criterios de evaluación de las asignaturas de los estudios mencionados.

Para ello, la redacción se centra en la secuencia de órdenes estrictamente necesarias para la consecución del análisis. Estas se repiten adaptándose a cada material, para que su aplicación resulte más cómoda. Se adjunta un capítulo donde se describe de forma básica la forma de funcionamiento del programa y los conceptos más relevantes, que puede servir de consulta. Al final se acompaña de unos esquemas y plantillas de las estructuras analizadas.

La disponibilidad de este material para el estudiante supone un soporte necesario en el aprendizaje de estas materias.

## ÍNDICE

### 1.- PÓRTICO A DOS AGUAS

1.1 Datos .....	1
1.1.1 Geometría. Unidades .....	1
1.1.2 Propiedades del material .....	3
1.1.3 Propiedades de las barras .....	3
1.1.4 Restricciones .....	9
1.1.5 Acciones .....	9
1.2 Cálculo .....	16
1.3 Resultados .....	17
1.3.1 Información gráfica .....	17
1.3.2 Obtención de listados .....	20
1.3.3 Altillo (10.14).....	24

### 2.- ESTRUCTURA TRIANGULADA

2.1 Introducción de la geometría .....	25
2.2 Propiedades de las barras .....	27
2.3 Acciones verticales .....	29
2.4 Generación de la estructura completa .....	30
2.5 Acción de viento en cubierta .....	31
2.5.1 Longitud zona i en una cubierta plana .....	31
2.5.2 forma de aplicación de la carga .....	31
2.5.3 Cubiertas con $5^\circ \leq \alpha < 15^\circ$ .....	32
2.6 Secciones de barra.....	33
2.7 Cálculo.....	33
2.8 Obtención de resultados.....	33
2.8.1 Información gráfica .....	33
2.8.2 Listados .....	35
2.8.3 Altillo .....	37

### 3.- PÓRTICO DE HORMIGÓN ARMADO

3.1 Datos para el cálculo .....	38
3.1.1 Introducción de la geometría Pórtico B .....	38
3.1.2 Propiedades del material .....	39
3.1.3 Propiedades de las barras .....	40
3.1.4 Restricciones (apoyos) .....	41
3.1.5 Acciones .....	42
3.2 Cálculo .....	49
3.3 Obtención de resultados.....	49
3.3.1 Información gráfica .....	49
3.3.2 Obtención de listados .....	51
3.3.3 flectores en las jácenas .....	52
3.3.4 Cortantes en las jácenas.....	54
3.3.5 Soportes .....	55

#### 4.- CERCHA DE MADERA

4.1 Datos necesarios para el cálculo .....	56
4.1.1 Geometría .....	56
4.1.2 Propiedades del material .....	58
4.1.3 Propiedades de las barras .....	59
4.1.4 Restricciones .....	61
4.1.5 Articulaciones en barras.....	62
4.1.6 Hipótesis, casos de carga y combinaciones.....	62
4.1.7 Cargas gravitatorias.....	66
4.1.8 Acciones del viento (Casos de carga V1 y V2). .....	67
4.1.9 Secciones de barra .....	69
4.2 Cálculo .....	70
4.3 Resultados .....	70
4.3.1 Información gráfica .....	70
4.3.2 Obtención de listados .....	74
4.3.3 Cálculo con cargas puntuales.....	78

#### 5.- DATOS Y RESULTADOS DEL CÁLCULO ESTRUCTURAL

5.1 Datos .....	81
5.2 Incógnitas a resolver .....	82
5.3 Ejes globales y ejes locales .....	82
5.4 Nomenclatura y signos de los esfuerzos.....	83
5.5 Organización del programa.....	84
5.6 Options: opciones de formato, visualización y selección.....	90
5.6.1 Formato.....	90
5.6.2 Ventanas (zoom) .....	92
5.6.3 Vistas.....	92
5.6.4 Selección .....	93
5.7 Ejecución del programa.....	94
5.7.1 Iniciar una sesión.....	94
5.7.2 Unidades .....	95
5.7.3 Geometría .....	95
5.7.4 Importar ficheros dxf .....	96
5.7.5 Numeración de nudos y barras .....	97
5.7.6 Fragmentación de barras .....	98
5.7.7 Cálculo.....	99
5.7.8 Obtención de resultados.....	101

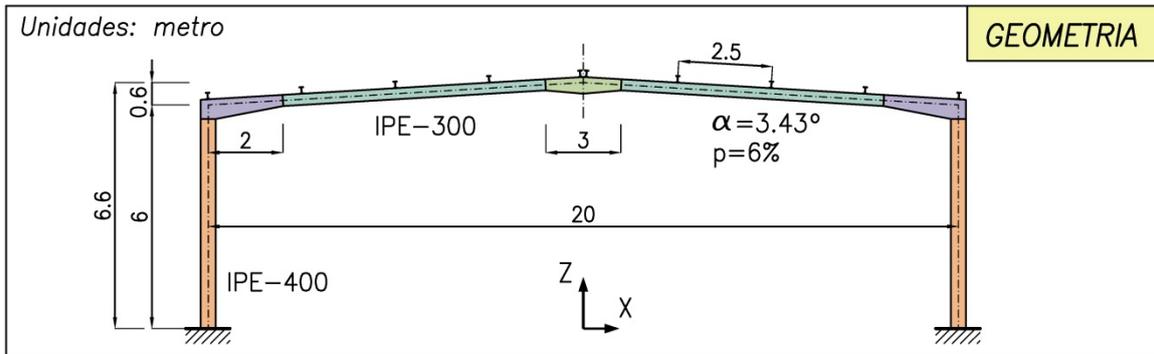
#### 6.- ESTRUCTURAS ANALIZADAS Y PLANTILLAS

##### **REFERENCIAS**

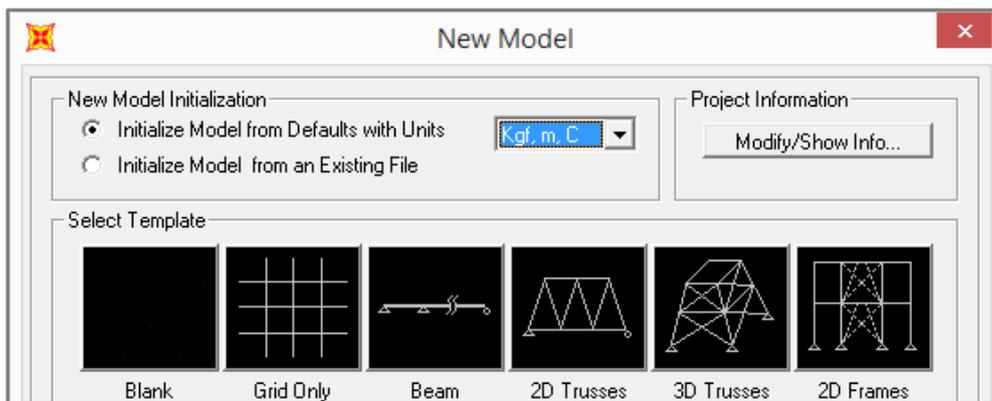
- Wilson E.L. (2009). *Integrated structural analysis and design software SAP2000*. Computers and Structures, Inc. Berkeley, California. <http://www.csiamerica.com>
- *Proyecto de nave de estructura de acero (según EAE)*. Editorial Universidad Politécnica de Valencia. Nº 535. 2016
- *Curso de hormigón armado (según EHE-08)*. Editorial Universidad Politécnica de Valencia. Nº 40. 2016
- *Proyecto y cálculo de estructuras de madera. Parte 2*. Editorial Universidad Politécnica de Valencia. Nº 106. 2016

# 1.- PÓRTICO A DOS AGUAS

## 1.1 Datos

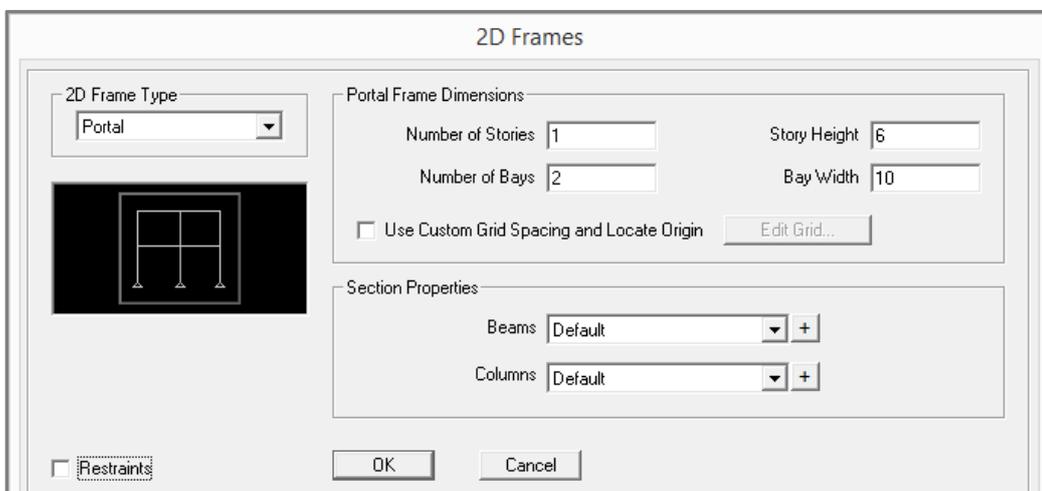


### 1.1.1 GEOMETRÍA. UNIDADES.



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 cumbre). Se define con una única barra.



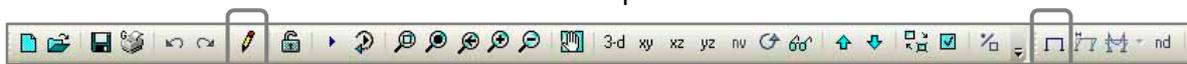
**Paso 2:** Se elige el modelo **2D Frames** en *File* → *New Model* → *Select Template*. Se observa que no existe un modelo para generar directamente un pórtico a dos aguas, por lo que se dibujará a partir de un pórtico plano. El *2D Frame Type* será *Portal*.

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 dos vanos de dimensiones (6x10) m y luego formar 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. Cerramos, por ejemplo, la pestaña de la vista en perspectiva *3-D View*.

Aparecen unas líneas y letras grises que son una malla o rejilla de referencia (*Grid*) para operar con la estructura. Con *View* → *Show Grid* eliminamos su visualización.

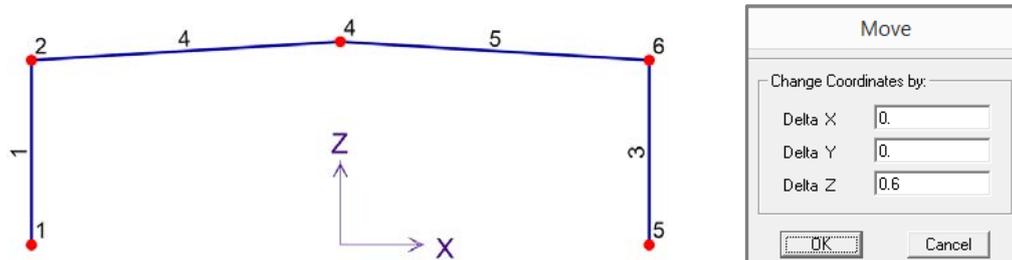
En algunas órdenes, para visualizar de forma inmediata los cambios, teclear el icono lápiz, *Refresh Window* o bien *Show Undeformed Shape*:



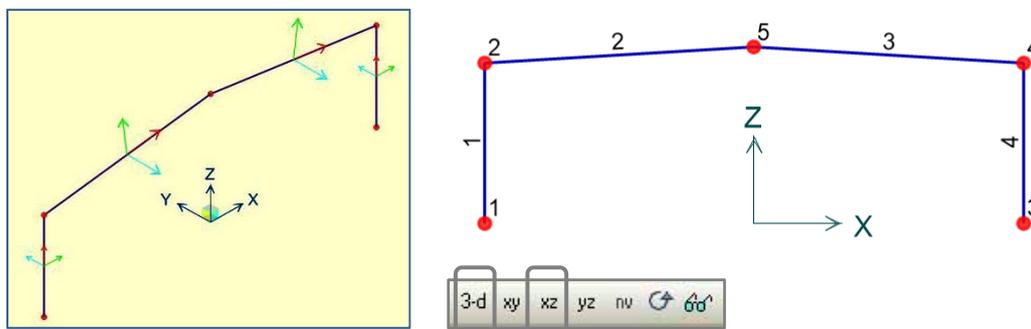
Nota: el formato de alguna orden puede variar ligeramente según la versión del programa

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

- Se borra la barra vertical central (tecla SUPR del teclado después de seleccionarla).
- *Movemos el nudo central la distancia de 0.6 m hacia arriba (+Z)*. Pinchamos sólo 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 los dos faldones.



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



**Tipos de ejes:**

**Ejes globales:** situados en el eje del pórtico: X (horizontal), Y, Z (vertical). El eje Y tiene la dirección opuesta al observador. Se elimina 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 el 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  $-Y$  ( $1 \wedge 2 = 3$ ).

Una vez consultada, con esta misma orden desactivamos la visualización de la numeración de nudos y pilares (*Labels*) y de los ejes (*Frames, Local Axes*).

Paso 5: Guardar en un fichero el trabajo con un *nombre* mediante *File* → *Save*. Se generan dos ficheros: "**Nombre**".*sdb* y "**Nombre**".*\$2k*. El primero contiene todos los datos para el cálculo y de configuración (formato, gráficos, etc.) y el segundo sólo los estrictamente necesarios para el cálculo (puede manipularse con un editor de texto).

### 1.1.2 PROPIEDADES DEL MATERIAL

Se definen las propiedades mecánicas del acero a utilizar.

Paso 1: Tecleamos *Define* → *Materials* → *Add New Material*

Paso 2: En el cuadro, se pueden definir sólo las variables necesarias para este cálculo:

- *Material Name*: por ejemplo, S275JR.
- Peso por unidad de volumen (*Weight per Unit Volume*):  $7850 \text{ kg/m}^3$  (Uds. Kgf, m).
- Módulo de deformación (*Modulus of Elasticity, E*):  $2.1 \cdot 10^{10} \text{ kg/m}^2$  se escribe  $2.1\text{E}10^{10}$
- 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* ( $G = E/[2 \cdot (1 + U)] = 8.08 \cdot 10^9 \text{ kg/m}^2$ ) para evaluar las deformaciones debidas al cortante

Otros parámetros que no influyen en el cálculo a realizar son:

- La masa (*Mass*) se usa en cálculos dinámicos y lo evalúa el programa:  $M = W/9.807 \text{ m/sg}^2 = 800.48$
- El coeficiente de expansión térmica  $A$  para cambios de longitud debidos a la temperatura ( $1.2 \cdot 10^{-5} \text{ m/m } ^\circ\text{C}$ )
- *Minimum Yield Stress, Fy*: se utiliza para comprobar la resistencia del acero si se realiza el **dimensionado** de la barra a continuación del cálculo estructural ( $2750 \text{ kg/cm}^2 = 2.75 \cdot 10^7 \text{ kg/m}^2$ )

Material Property Data	
General Data	
Material Name and Display Color	S275JR 
Material Type	Steel
Material Notes	<input type="button" value="Modify/Show Notes..."/>
Weight and Mass	
Weight per Unit Volume	7850.
Mass per Unit Volume	800.4772
Units	
	Kgf. m. C
Isotropic Property Data	
Modulus of Elasticity, E	2.100E+10
Poisson's Ratio, U	0.3
Coefficient of Thermal Expansion, A	1.200E-05
Shear Modulus, G	8.077E+09
Other Properties for Steel Materials	
Minimum Yield Stress, Fy	27500000

### 1.1.3 PROPIEDADES DE LAS BARRAS

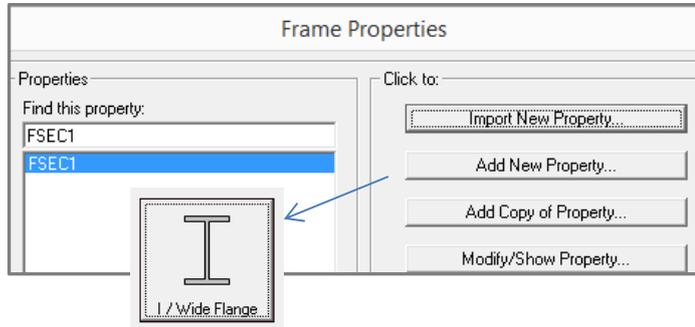
Se definen los perfiles (propiedades de la sección y material) y se asignan a las barras. Para ello es necesario realizar un predimensionado. Si al efectuar la comprobación de las barras tras el cálculo, los perfiles designados a las mismas son inadecuados (por no cumplirlas o por resultar sobredimensionados), es necesario modificarlos repitiendo este apartado y volviendo a ejecutar el cálculo (pueden cambiar los resultados).

Paso 1: Comenzamos seleccionando los pilares. La definición y asignación de las propiedades se realiza a la vez mediante la orden *Assign* → *Frame* → *Frame Sections*

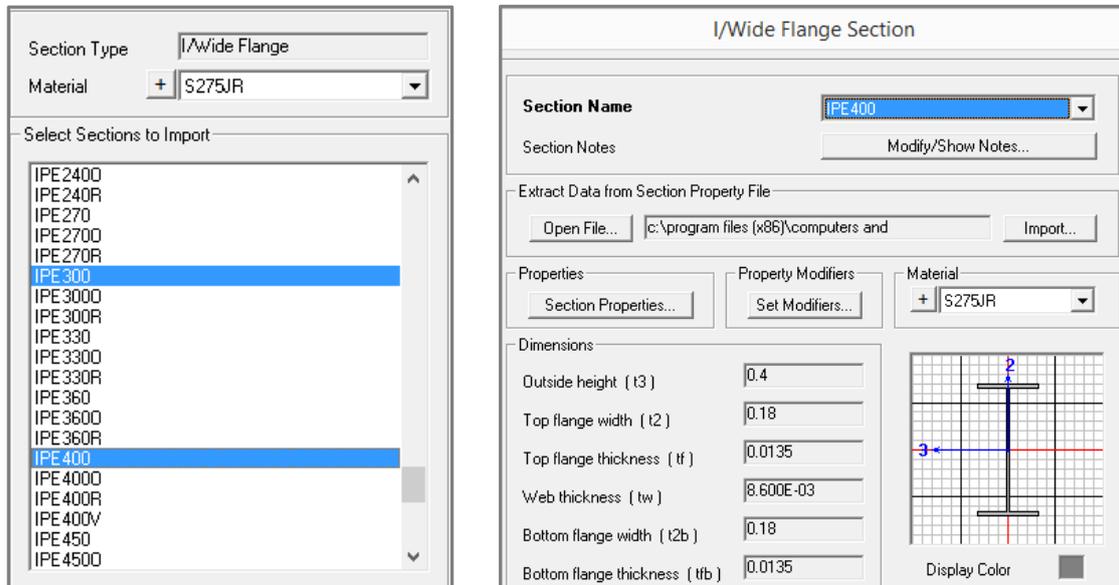
a las barras previamente seleccionadas. La propiedad, FSEC1, es la que asigna el programa por defecto a las barras a las que todavía no se ha designado ningún perfil.

**Paso 2:** El pilar se predimensiona con una sección **IPE-400** y el dintel con una sección **IPE-300**. En el cuadro de *Frame Properties* se selecciona, *Import New Property*.

En el siguiente cuadro (*Select Property Type: Steel*) se tecldea *I/Wide Flange*.



**Paso 3:** Se localiza y abre la base de datos o fichero "**EURO.PRO**" que contiene las propiedades de los perfiles en doble T habituales en Europa. Se encuentra en el subdirectorio donde se instaló el programa (por ejemplo c:> Program Files\Computers and Structures\SAP2000 14\).

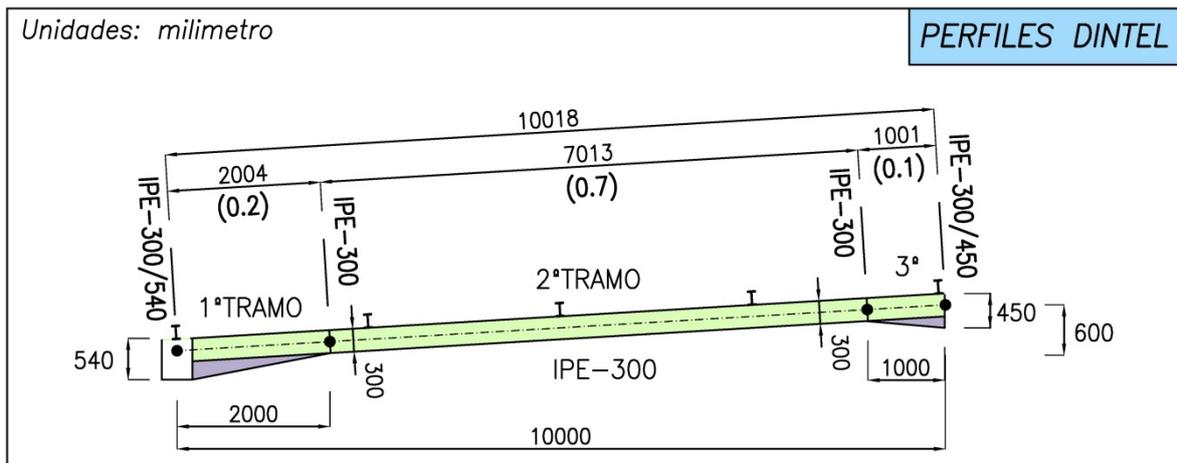


Indicamos el material (S275JR). Manteniendo la tecla *Ctrl* pulsada, localizamos en el listado de perfiles la **IPE-300** (dintel) e **IPE-400** (pilar), que se añadirán a la lista de propiedades. Pueden seleccionarse más perfiles de dimensiones cercanas para que estén rápidamente disponibles en el caso de ser necesario efectuar cambios posteriores.

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

Confirmamos con *Ok* tres veces hasta cerrar todas las ventanas, estando seleccionada en la última la propiedad IPE400 (en azul). Aparecen los pilares con la IPE-400 recién 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 (longitud) y la forma de variación de la inercia.

Si indicamos como  $x$  la distancia al origen de la barra, los datos necesarios son:

Abscisa $x$ (m)	0	2.00	9.02	10.02
Canto del perfil $h$ (cm)	54 <sup>(1)</sup>	30	30	45 <sup>(2)</sup>
Tramo	1° (esquina)	2° (canto cte.)	3° (cumbreira)	
Longitud del tramo $L$	(m)	2.00 <sup>(3)</sup>	7.02	1.00 <sup>(4)</sup>
	(%)	20	70	10
Variación de la inercia $I(x)$	≈ parabólica	constante	≈ parabólica	

Es suficiente y más simple para este cálculo definir cada dintel como una única barra. Para efectuar el dimensionado, cálculo plástico y otros análisis, es recomendable dividir el dintel en tres barras coincidentes con los tramos que se definen a continuación.

**Perfil:** Todo el dintel se fabrica a base de perfil IPE-300. Significa que las dimensiones geométricas relativas a los espesores del ala y alma y ancho del ala son constantes. Lo que modifica es la altura o canto del perfil. Se recomienda:

- (<sup>1</sup>) Canto del acartelamiento de esquina: el doble o algo menos del canto del perfil  
 (<sup>2</sup>) Canto del acartelamiento de cumbreira: alrededor de 1.5 veces el canto del perfil

**Tramos:** Se aconseja:

- (<sup>1</sup>) Longitud del acartelamiento de esquina: La luz del pórtico dividida por 10  
 (<sup>2</sup>) Longitud del acartelamiento de cumbreira: La luz del pórtico dividida por 20

**Variación de la inercia:**

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 abscisa  $x$  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. De todas formas, este parámetro tiene escasa influencia.

**I/Wide Flange Section**

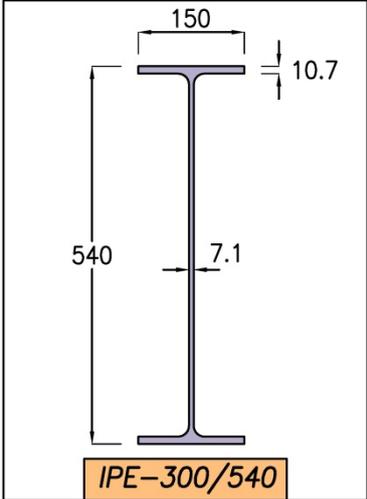
**Section Name** IPE-300/540  
 Section Notes

Properties  Property Modifiers  Material + S275JR

Dimensions

Outside height ( t <sub>3</sub> )	54.
Top flange width ( t <sub>2</sub> )	15.
Top flange thickness ( t <sub>f</sub> )	1.07
Web thickness ( t <sub>w</sub> )	0.71
Bottom flange width ( t <sub>2b</sub> )	15.
Bottom flange thickness ( t <sub>fb</sub> )	1.07

Display Color



**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*)

**Property Data**

**Section Name** IPE-300/540

Properties			
Cross-section (axial) area	68.9206	Section modulus about 3 axis	1138.4472
Torsional constant	17.8336	Section modulus about 2 axis	80.4562
Moment of Inertia about 3 axis	30738.074	Plastic modulus about 3 axis	1326.9056
Moment of Inertia about 2 axis	603.4218	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

Consultamos las propiedades *Section Properties ...* y anotamos los valores del área (68.92 cm<sup>2</sup>) y de **Section Modulus about 3 axis** o momento resistente elástico,  $W_{y,el}$ , para comprobar la cartela (1138 cm<sup>3</sup>). Puede tomarse el momento resistente plástico (*Plastic Modulus* = 1327 cm<sup>3</sup>) si se comprueba que la sección es de clase 1 ó 2 (no ocurre así en este caso).

Estos valores se utilizarán para la comprobación resistente del acartelamiento.

Se recomienda que el valor del momento resistente sea del orden del  $W_{y,el}$  del pilar (IPE-400, 1160 cm<sup>3</sup>) ya que el flector es común para ambas barras.

Para el canto de 540 mm, consultando la Tabla 8.1 del libro de referencia,  $W_{y,el} = 1185$  cm<sup>3</sup> (en esta Tabla se tiene en cuenta el radio de acuerdo ala-alma que el programa no considera, lo que incrementa algo su valor).

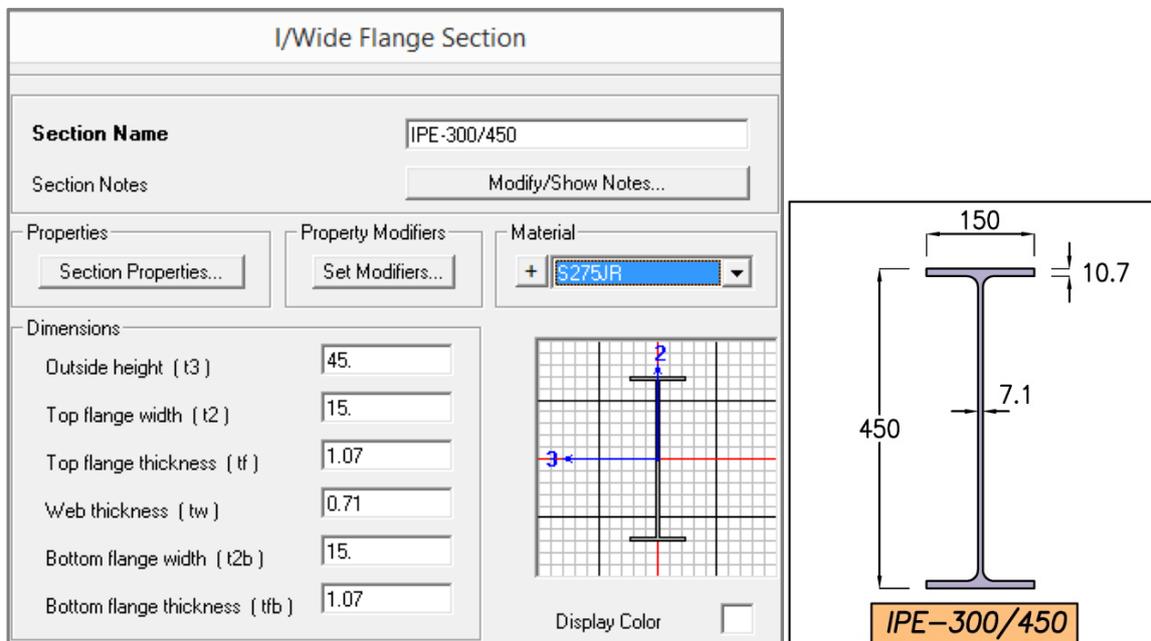
En otros casos, se puede ensayar con el canto más idóneo para verificar la condición anterior.

#### 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  $h = 45$  cm. Comprobamos que el material es correcto S275JR:

Section Name: IPE-300/450  
 $h = 450$  mm (canto) ( $t_3$ : Outside height)

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



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

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

Se seleccionan ambos dinteles y se activa:

*Assign* → *Frame* → *Frame Sections* → *Add New Property* → *Select Property Type (Frame Section Property Type): Other* → *Nonprismatic*.

**Add Frame Section Property**

---

Select Property Type

Frame Section Property Type: Other

---

Click to Add a Section



General



Nonprismatic



Section Designer

**Nonprismatic Section Definition**

---

**Nonprismatic Section Name** DINTEL IPE-300 Display Color

Section Notes Modify/Show Notes...

---

Start Section	End Section	Length	Length Type	EI33 Variation	EI22 Variation
<div style="border: 1px solid gray; padding: 2px;">IPE-300/540</div>	<div style="border: 1px solid gray; padding: 2px;">IPE300</div>	<div style="border: 1px solid gray; padding: 2px;">0.2</div>	<div style="border: 1px solid gray; padding: 2px;">Variable</div>	<div style="border: 1px solid gray; padding: 2px;">Parabolic</div>	<div style="border: 1px solid gray; padding: 2px;">Linear</div>
<div style="border: 1px solid gray; padding: 2px;">IPE-300/540</div>	<div style="border: 1px solid gray; padding: 2px;">IPE300</div>	<div style="border: 1px solid gray; padding: 2px;">0.2</div>	<div style="border: 1px solid gray; padding: 2px;">Variable</div>	<div style="border: 1px solid gray; padding: 2px;">Parabolic</div>	<div style="border: 1px solid gray; padding: 2px;">Linear</div>
<div style="border: 1px solid gray; padding: 2px;">IPE300</div>	<div style="border: 1px solid gray; padding: 2px;">IPE300</div>	<div style="border: 1px solid gray; padding: 2px;">0.7</div>	<div style="border: 1px solid gray; padding: 2px;">Variable</div>	<div style="border: 1px solid gray; padding: 2px;">Linear</div>	<div style="border: 1px solid gray; padding: 2px;">Linear</div>
<div style="border: 1px solid gray; padding: 2px;">IPE300</div>	<div style="border: 1px solid gray; padding: 2px;">IPE-300/450</div>	<div style="border: 1px solid gray; padding: 2px;">0.1</div>	<div style="border: 1px solid gray; padding: 2px;">Variable</div>	<div style="border: 1px solid gray; padding: 2px;">Parabolic</div>	<div style="border: 1px solid gray; padding: 2px;">Linear</div>

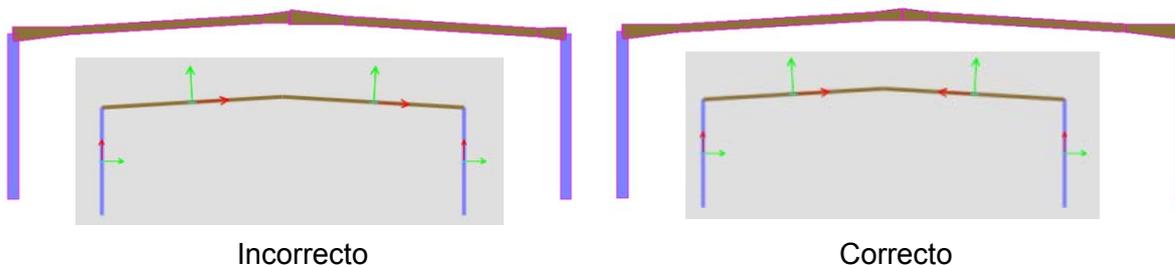
Add
Insert
Modify
Delete

Se elige un nombre a la viga: DINTEL IPE-300. Se especifican:

- la sección en el origen de la barra (*Start Section*)
- la sección 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 se 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*.



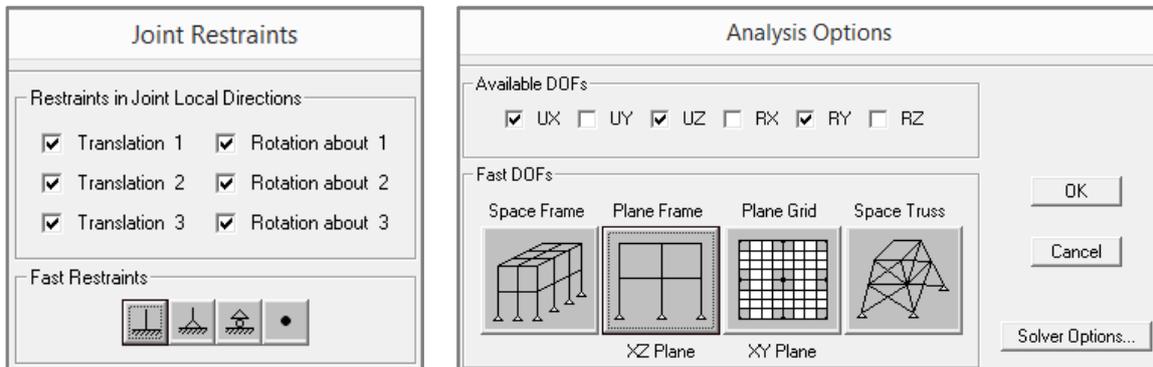
Al final es importante recordar que las **unidades** vuelven a cambiarse a **m** en la esquina inferior derecha. Se desactiva la opción *Extrude View* (*Ctrl-E*).

### 1.1.4 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*

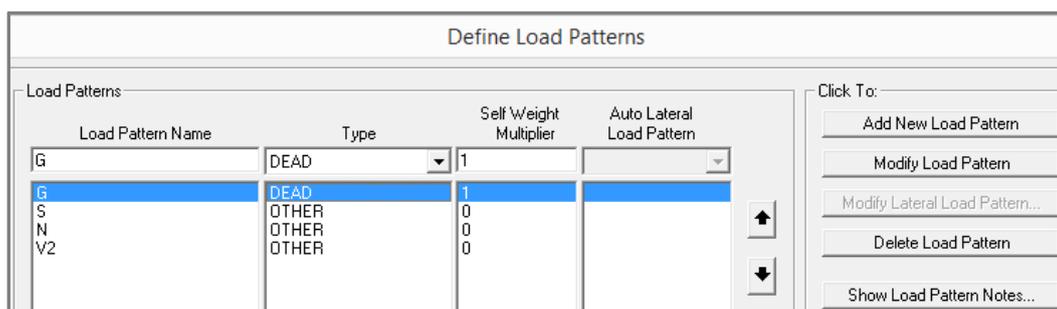
Mediante la orden *Analyze* → *Set Analysis Options* → *Available DOFs* (Grados de libertad disponibles) mediante *Fast DOFs* → *Plane Frame*, *XZ Plane*.

### 1.1.5 ACCIONES

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

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

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* (parámetro no necesario para este cálculo). En la 3ª se escribe un factor del **peso propio de la estructura** *Self Weight*, según la dirección -Z.



Una vez modificado el nombre por defecto *Dead* por *G*, pinchar en *Modify Load*.

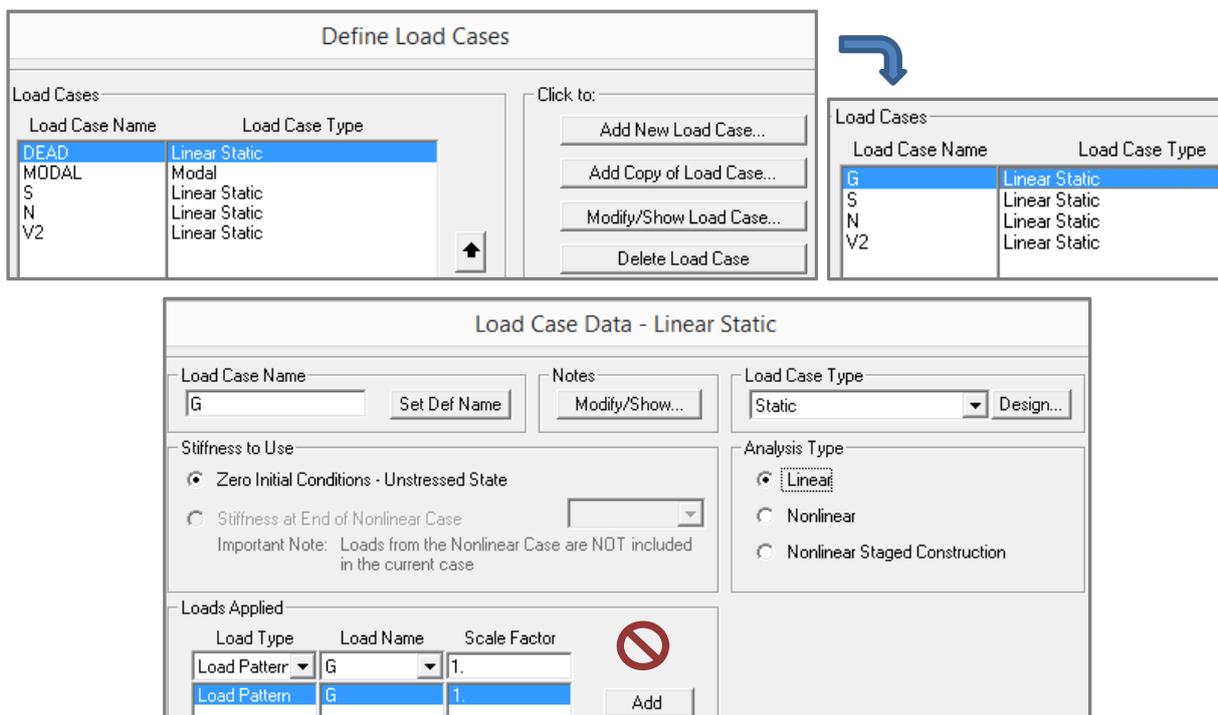
Las siguientes hipótesis de carga, al ser nuevas, se añaden a la lista con *Add New Load*.

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* (**casos de carga**):

- Cambiamos, mediante *Modify/Show Case...*, el nombre de la 1ª 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*
- 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



**IMPORTANTE:** En ciertas ocasiones, debido a errores al introducir los casos de carga en el cuadro *Define Load Cases* (al borrar, modificar o copiar), puede ocurrir que en la ventana *Load Case Data - Linear Static*, en *Loads Applied*, no aparezca la hipótesis de carga correcta (*Load Pattern*). El usuario deberá comprobar en este caso que el nombre de la hipótesis (*Pattern*) de carga coincide con el nombre del caso (*Case*) de carga.

**Paso 3:** Definir las combinaciones de carga: *Define* → *Combinations...*, abriéndose un cuadro de diálogo. Dentro de él teclaremos *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 su título en las casillas si no lo está (*Load Combination Name*). En *Define Combinations of Loads Case Results*, se selecciona el 1º caso de carga *G Load Case*, y su factor de carga 1.35 (*Scale Factor*). Tecleamos a continuación *Add*. A continuación se localiza la hipótesis *S* con su factor de mayoración 1.50 (*Add*), y por último la hipótesis *N* con su factor 0.75 (*Add*).

Repetimos el procedimiento para el resto de las combinaciones de carga (*Add Copy of Combo* y se añade *V2*):

- 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

Ni la nieve ni el viento se definen como acciones variables principales, debido a que no proporcionan los mayores esfuerzos, salvo que su valor sea muy elevado.

**Define Load Combinations**

Load Combinations

- COMB1
- COMB2
- ELS-1
- ELS-2

Click to:

Add New Combo...

Add Copy of Combo...

Modify/Show 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	1.5
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	0.90

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

**NOTA:** En ciertas situaciones de viento y sobrecarga de nieve (superior a 80 kg/m<sup>2</sup>) elevadas, sus efectos pueden ser relevantes y superiores a los de la sobrecarga de uso en cubierta. Deben considerarse como acción variable principal. En esos casos será preciso añadir las siguientes combinaciones:

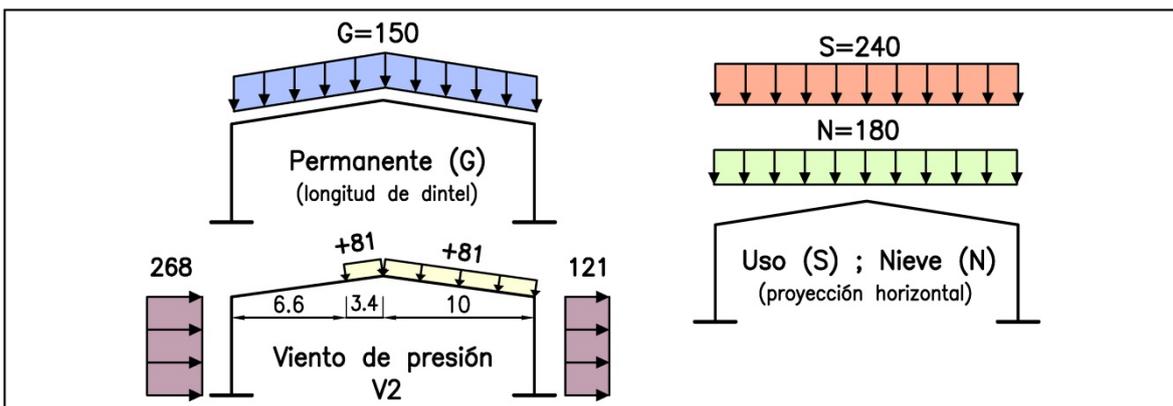
	Denominación	G	S	N	V2
E.L.U.	COMB3	1.35		0.75	1.50
	COMB4	1.35		1.50	0.90
E.L.S.	ELS- 3	1.00		0.50	1.00
	ELS- 4	1.00		1.00	0.60

**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:

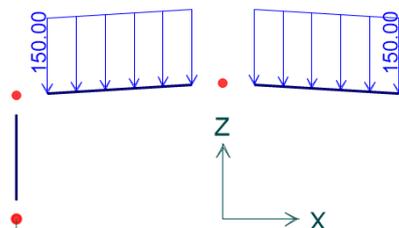
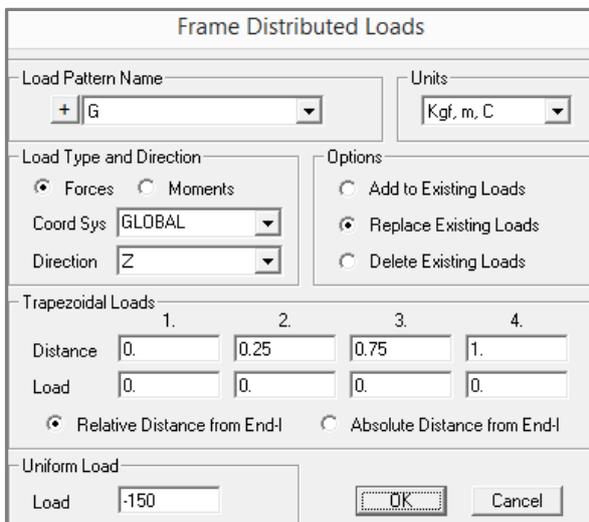
- Seleccionar la barra o barras sobre las que vamos definir cargas
- Definir la dirección de la carga (Z: gravitatorias ; X: viento)
- Definir el valor de la carga (signo negativo para las gravitatorias -Z)
- Seleccionar la hipótesis a la que pertenece la carga que se está introduciendo

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



En el cuadro y figura se ha representado, la aplicación de una carga uniforme de  $25 \cdot 6 = 150 \text{ kg/ml}$  según el eje global Z negativo y perteneciente a la hipótesis G.

Al seleccionar el eje global Z la carga se aplica **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

Frame Distributed Loads

Load Pattern Name:  Units:

Load Type and Direction:  Forces  Moments

Coord Sys:  Options:  Add to Existing Loads  Replace Existing Loads  Delete Existing Loads

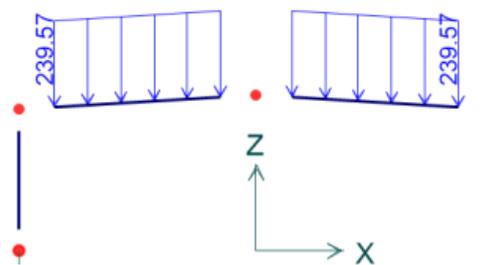
Direction:

Trapezoidal Loads:

	1.	2.	3.	4.
Distance	<input type="text" value="0."/>	<input type="text" value="0.25"/>	<input type="text" value="0.75"/>	<input type="text" value="1."/>
Load	<input type="text" value="0."/>	<input type="text" value="0."/>	<input type="text" value="0."/>	<input type="text" value="0."/>

Relative Distance from End-I  Absolute Distance from End-I

Uniform Load: Load



Se seleccionan nuevamente los dinteles. La carga uniforme es de  $40 \cdot 6 = 240 \text{ kg/ml}$  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 ( $40 \cdot 6 \cdot \cos \alpha = 239.57 \text{ kg/ml}$ ).

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

Frame Distributed Loads

Load Pattern Name:  Units:

Load Type and Direction:  Forces  Moments

Coord Sys:  Options:  Add to Existing Loads  Replace Existing Loads  Delete Existing Loads

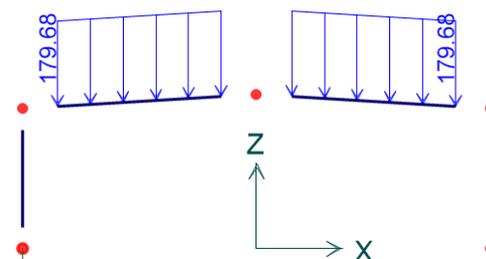
Direction:

Trapezoidal Loads:

	1.	2.	3.	4.
Distance	<input type="text" value="0."/>	<input type="text" value="0.25"/>	<input type="text" value="0.75"/>	<input type="text" value="1."/>
Load	<input type="text" value="0."/>	<input type="text" value="0."/>	<input type="text" value="0."/>	<input type="text" value="0."/>

Relative Distance from End-I  Absolute Distance from End-I

Uniform Load: Load



En el cuadro se representa, tras repetir la selección de los dinteles, la aplicación de una carga uniforme de  $30 \cdot 6 = 180 \text{ kg/ml}$  según el eje global Z negativo y perteneciente a la hipótesis N.

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

d) **Cálculo del viento en pilares y cubierta**

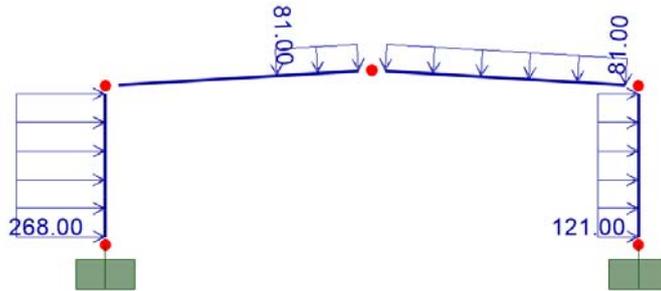
La presión dinámica del viento es de  $45 \text{ kg/m}^2$ . En el cuadro siguiente se obtienen las cargas uniformes en pilares en kg/m según la dirección del eje +X global.

Pilares	$q_B$	Coficiente de exposición $c_e$	Coficiente eólico $c_p$	Separación pórticos (m)	Presión kg/m
Barlovento	45 x	1.4	+0.71	6	= 268
Sotavento			-0.32		= -121

La luz es  $d = 20 \text{ m}$  (longitud en la dirección del viento). La longitud de la nave  $b = 30 \text{ m}$  (5 vanos de 6 m) y la altura  $h = 6.6 \text{ m}$ .

<b>Dinteles</b>	Distancia relativa a la longitud de la barra
<b>Barlovento</b>	$\min[(2h/d ; b/d) ; 1] = [0.66 ; 1]$
<b>Sotavento</b>	$[0, 1]$

$q_B$	Coeficientes		Separación p <sub>ó</sub> rticos (m)	Presión kg/m
	exposición $c_e$	e <sub>ó</sub> lico $c_p$		
45	x 1.5	x (+0.2)	x 6	= <b>+81</b>



**PILARES: BARLOVENTO**

Frame Distributed Loads

Load Pattern Name: + V2 Units: Kgf. m. C

Load Type and Direction: Forces, Moments, Coord Sys: GLOBAL, Direction: X

Options: Add to Existing Loads, Replace Existing Loads, Delete Existing Loads

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

Uniform Load: Load: 268

OK Cancel

**SOTAVENTO**

Frame Distributed Loads

Load Pattern Name: + V2 Units: Kgf. m. C

Load Type and Direction: Forces, Moments, Coord Sys: GLOBAL, Direction: X

Options: Add to Existing Loads, Replace Existing Loads, Delete Existing Loads

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

Uniform Load: Load: 121

OK Cancel

**DINTELES BARLOVENTO**

Frame Distributed Loads

Load Pattern Name: + V2 Units: Kgf. m. C

Load Type and Direction: Forces, Moments, Coord Sys: Local, Direction: 2

Options: Add to Existing Loads, Replace Existing Loads, Delete Existing Loads

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

Uniform Load: Load: 0

OK Cancel

**SOTAVENTO**

Frame Distributed Loads

Load Pattern Name: + V2 Units: Kgf. m. C

Load Type and Direction: Forces, Moments, Coord Sys: Local, Direction: 2

Options: Add to Existing Loads, Replace Existing Loads, Delete Existing Loads

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

Uniform Load: Load: -81

OK Cancel

### Introducción de las cargas de viento

- En pilares, a barlovento, se ha introducido una carga uniforme de 268 kg/m, a sotavento de 121 kg/m, ambas según la dirección del eje global +X.
- Para los dinteles, al ser la carga perpendicular a la directriz de la barra, vamos a definirla según los ejes **locales** de la barra, es decir, el eje 2 (local y, según EAE). Respecto a los ejes globales, sería necesario proyectarla previamente según 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, es de fácil detección al observar la representación de las cargas opuesta a la correcta.

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 o tanto por uno), con un valor constante de -81 kg/m.

Los valores introducidos en una ventana permanecen al abrirla nuevamente, por lo que es necesario borrar a mano las cargas previas o directamente con *Delete Existing Loads* antes de introducir las nuevas.

#### Paso 5 (Opcional pero recomendable):

El programa realiza la salida de resultados de esfuerzos en los extremos de las barras, cambios de sección (cartabones) y en secciones interiores de la barra. La siguiente orden no altera el cálculo, pero influye en la apariencia de las gráficas de esfuerzos y en los listados, ya que el programa **determina** los esfuerzos solamente en **cada sección definida**.

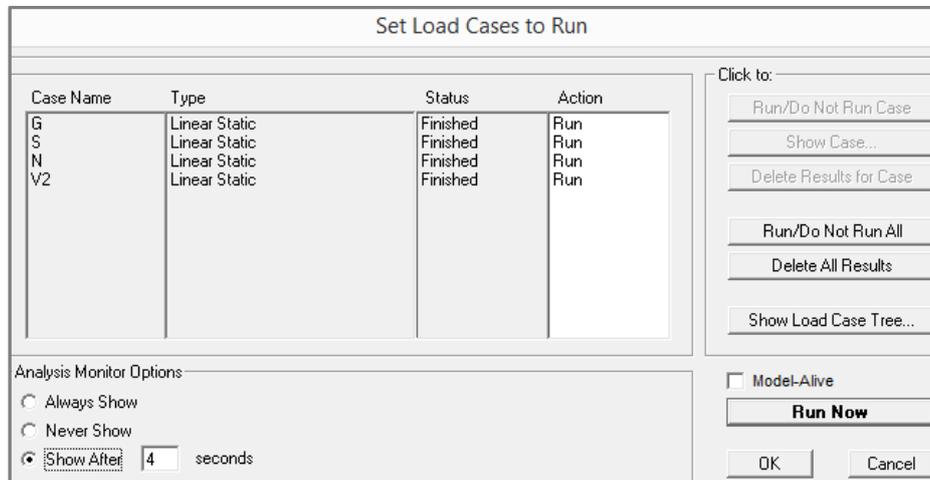
Cuanto mayor sea su número, al disponer de más puntos, más precisa será la representación del diagrama de momentos cuando la variación sea parabólica o cúbica, y se obtendrá con más exactitud, si es el caso, el valor del máximo flector positivo y su abscisa. Sin embargo, los listados serán más extensos.

La orden que se utiliza es: *Assign* → *Frame* → *Output Station* → *Min Number Station*.

Puede dejarse el valor por defecto del programa (9 secciones en muchas versiones). En todo caso es recomendable asegurar un valor no inferior al anterior.

## 1.2 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 de la ventana **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.

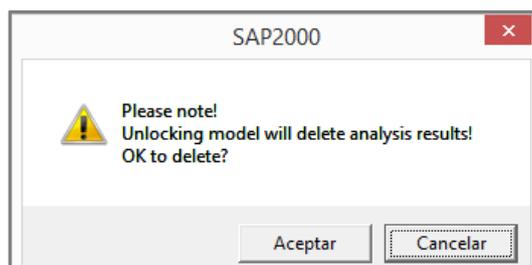
Este fichero puede ser modificado con cualquier editor de texto (*bloc de notas*). Por ejemplo, cuando se utiliza un fichero con una versión diferente respecto al programa, si éste es más antiguo, no se puede abrir. Sin embargo con un editor de texto podemos cambiar la *versión* a la del programa que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



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 es necesario almacenarlos.

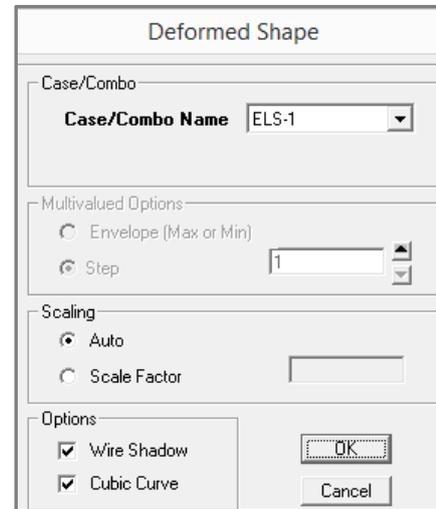
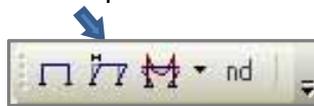


## 1.3 Resultados

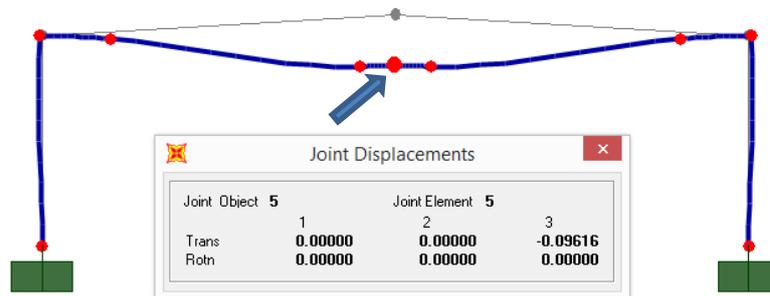
### 1.3.1 INFORMACIÓN GRÁFICA

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.

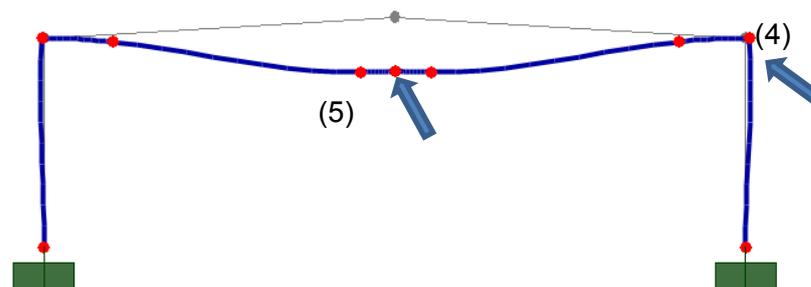
- Se selecciona la hipótesis o combinación de carga *Case/Combo*: ELS-1 o ELS-2
- Se puede aplicar un factor de escala al dibujo
- Añadir en el dibujo la posición inicial sin deformar o *Wire Shadow* (recomendable)
- La deformada se dibuja curvada entre nudos (*Cubic Curve*) o mediante rectas que los unen



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.



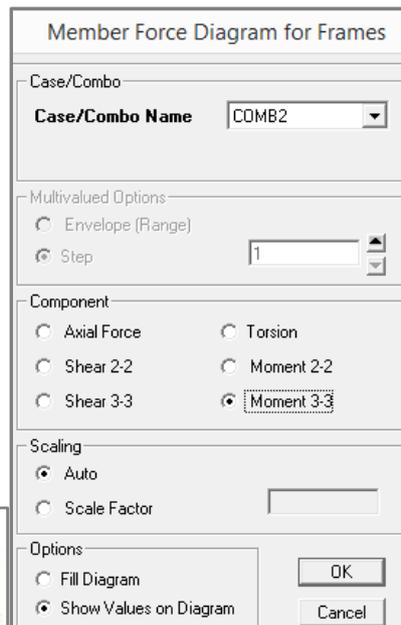
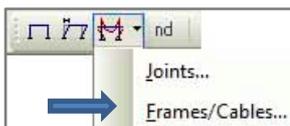
ELS-1: Cumbrera, 9.62 cm según -Z.



ELS-2: Cumbrera, **10.29 cm** según -Z (3). Esquina a sotavento, **0.78 cm** según +X (1). Estos valores se utilizan para comprobar la deformación del pórtico (flecha y desplome).

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

- Se selecciona la hipótesis o combinación de carga *Case/Combo*: COMB2
- Se elige el tipo de esfuerzo a representar:  
 Axil: *Axial Force*  
 Flector: *Moment 3-3*  
 Cortante: *Shear 2-2*
- Se puede aplicar un factor de escala al dibujo
- En *Options*, representar la ley de esfuerzos con los valores en las unidades activas (la tecla *Object Shrink Toggle*: permite separar el número del nudo para mejorar la visualización)

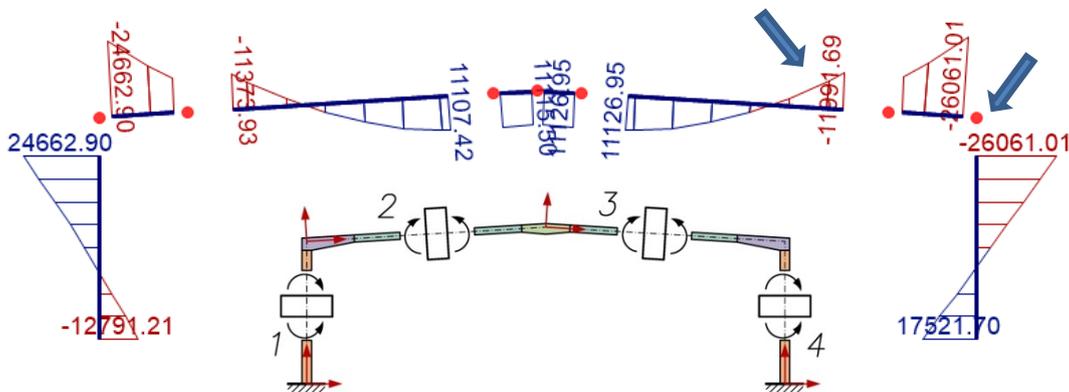


El convenio de signos coincide con el habitual en Resistencia de Materiales (5.4). El esfuerzo positivo queda representado en la ordenada (eje 2) negativa:

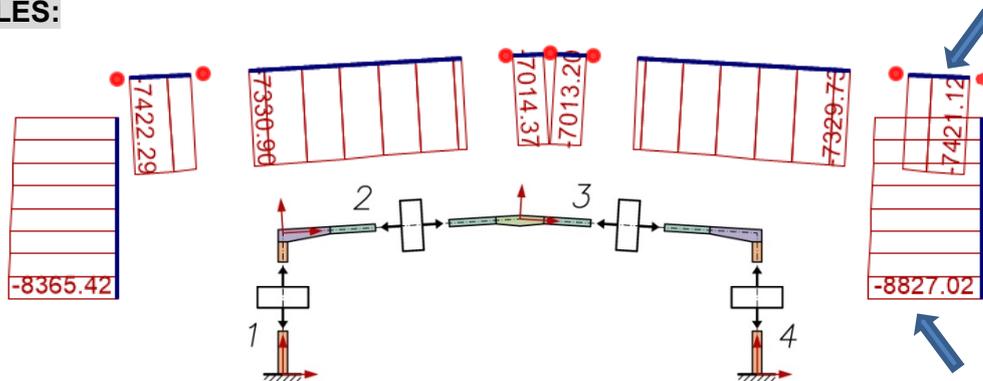
- Axil: es positivo un axil de tracción, sentido del eje local 1 (x) de la barra
- Flector: es positivo si origina tracción en el lado negativo del eje 2 local (y)

Para la **combinación 2:**

**FLECTORES**



**AXILES:**



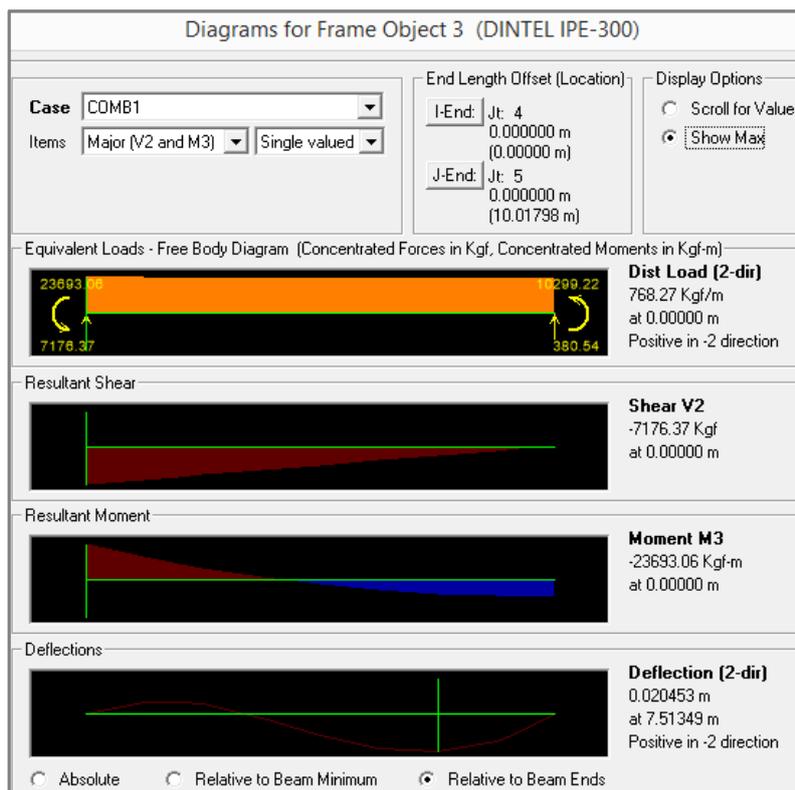
Se han señalado los valores que se van a utilizar en las comprobaciones de los perfiles.

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 (y) tiene sentido opuesto (+X) al pilar derecho <sup>1</sup>. En este texto se considera positivo el flector en la base del pilar y negativo en el nudo de esquina para ambos pilares.

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

### c) **Esfuerzos por barra:**

El esfuerzo a lo largo de una barra y su abscisa (*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 en el plano) y P (axil)
- **Display Options.** *Scroll for Values:* consultar el esfuerzo en la abscisa 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.

<sup>1</sup> Se modifica el sentido del eje 2 (y), tras seleccionar el pilar izquierdo, con *Assign*→ *Frame*→ *Local Axes: Angle in Degrees =180*. No se ha realizado pues no es estrictamente necesario.

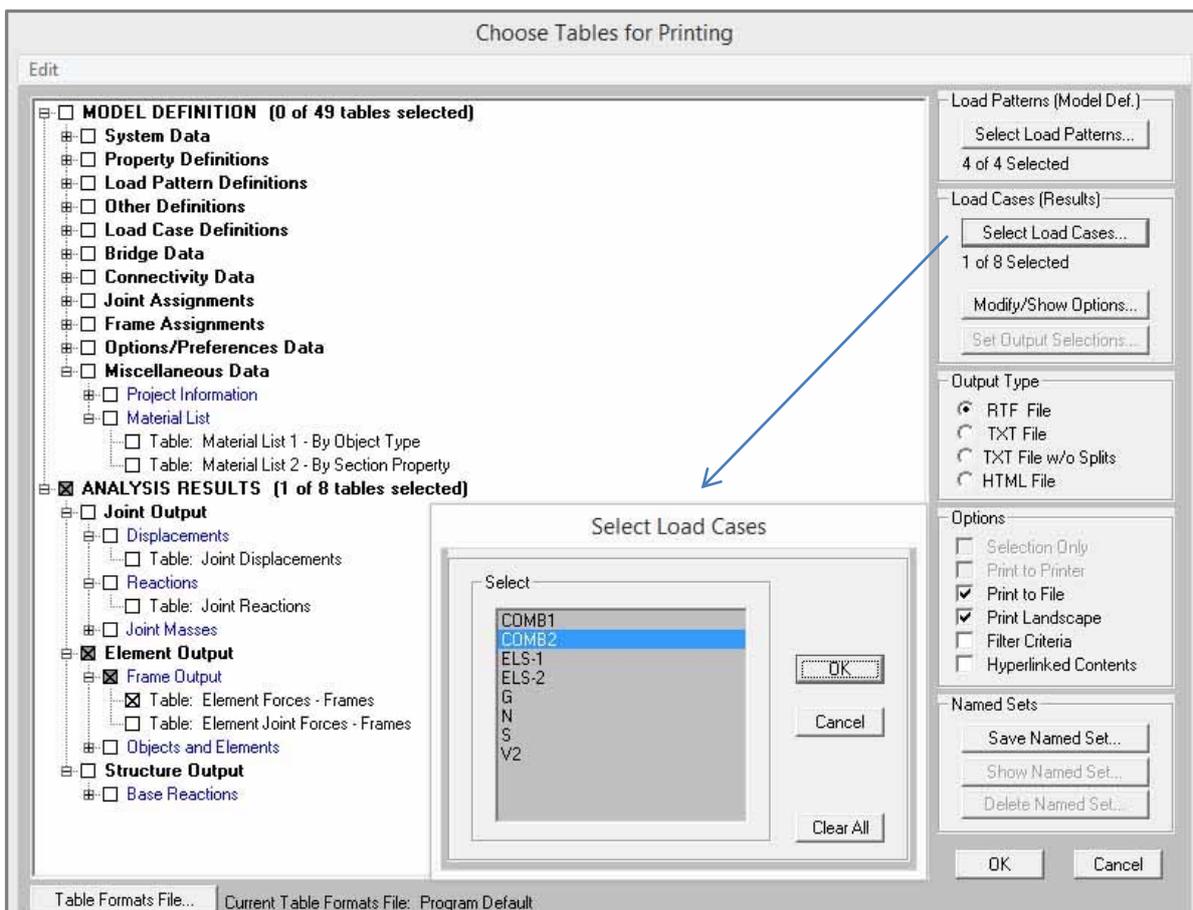
#### d) Obtención de la información gráfica:

Puede hacerse de diversas formas:

- Mediante la tecla *Impr Pant* (*Imprimir pantalla* del teclado) realizamos una copia al portapapeles de *Windows* de la pantalla (captura). Podemos *pegarlo* en cualquier programa (*Word, Excel*) y manipularlo como imagen. 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 u otro claro y ajustar el resto de colores a tonalidades oscuras)
- 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*

#### 1.3.2 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 toda la estructura o de una selección de barras y nudos. En todos aparece el mismo cuadro donde se realiza una selección de lo que se quiere listar y cómo quiere realizarse.



- **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

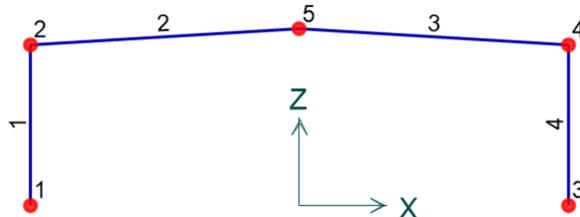
- Un procedimiento de gran utilidad es generar un archivo *xls* de Excel: **File → Export → SAP2000 MS Excel Spreadsheet .xls File**. Así podemos manipular los resultados, borrar columnas innecesarias, y realizar formateos rápidos y operaciones matemáticas.

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*.

**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 por ejemplo los esfuerzos para la COMB2. 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 así detectar errores fundamentalmente en la introducción de cargas (*Structure Output → Base Reactions*).

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

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

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 barras de cada tipo, la longitud total y el peso.

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 cumbre y el desplome en esquina.

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

### c) Reacciones (Table: Reactions)

Para las reacciones en apoyos se seleccionan las bases de pilares (nudos 1 y 3). A continuación *Joints Output* → *Reactions*:  $F_1 = F_X$ ,  $F_3 = F_Z$ ,  $M_2 = M_Y$ . Con los valores para la COMB2 se calcula la base de anclaje y dimensiona el armado de la cimentación. Con los valores para ELS-2 se comprueba la cimentación a vuelco, deslizamiento y tensión del terreno.

Joint Text	OutputCase Text	F1 Kgf	F3 Kgf	M2 Kgf-m
1	COMB2	5519	8365	12791
3	COMB2	-7590	<b>8827</b>	<b>-17522</b>
1	ELS-2	3842	5811	8896
3	ELS-2	-5223	6119	-12050

### d) Esfuerzos (Table: Element Forces, Frames)

Se obtienen 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 1.1.3 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.

- 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 mayor (en nudo de esquina en este caso)

- 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 (que es el flector negativo junto al cartabón de esquina)
  - 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 ensayarse otra relación de inercias, por ejemplo de dos perfiles inferior el dintel (IPE-300) respecto al pilar (IPE-360), o bien cambiar el perfil del pilar de IPE-400 a HEA-300 o HEB-280. Se copia (*Edit* → *Replicate*) el pórtico a una cierta distancia (por ejemplo  $Z = 10$  m) del existente.

La geometría, propiedades, acciones, etc., se conservan en la copia, en la que únicamente deberemos modificar los perfiles. El programa calculará simultáneamente ambos pórticos. De esta forma puede optimizarse el dimensionado al analizar otras combinaciones de perfiles.

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
<b>PILAR BARLOVENTO</b>					<b>PILAR SOTAVENTO</b>				
	0	-8365	-5519	-12791		<b>0</b>	<b>-8827</b>	7590	<b>17522</b>
	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		<b>6</b>	<b>-8290</b>	6937	<b>-26061</b>
<b>DINTEL BARLOVENTO</b>					<b>DINTEL SOTAVENTO</b>				
	0	-7422	-7397	-24663		<b>0</b>	<b>-7421</b>	-7859	<b>-26061</b>
	1.252	-7365	-6441	-16000		1.252	-7364	-6812	-16876
	2.004	-7331	-5874	-11374		<b>2.004</b>	<b>-7330</b>	-6190	<b>-11992</b>
	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		<b>9.016</b>	<b>-7013</b>	-403	<b>11127</b>
	10.018	-6969	408	11115		10.018	-6968	428	11115

### 1.3.3 ALTILLO (10.14)

**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 2 Frames, Last/First 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).

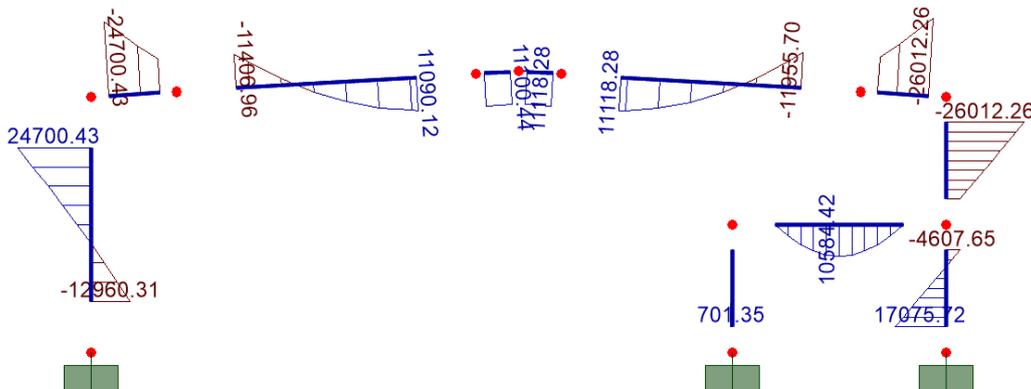
**Paso 3:** Dibujamos el dintel. Con la 4ª tecla de la barra a la izquierda de la pantalla, *Draw Frame/Cable*. En el cuadro que aparece, en *Section*, se selecciona IPE-300. En el mismo cuadro, en *Moment Releases*, se selecciona *Pinned* (barra biarticulada). Dibujamos la barra y pinchamos el nudo 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*.

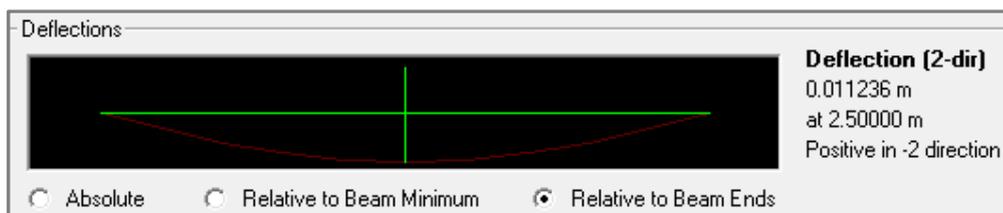
**Paso 5:** Se colocan las cargas en la viga. Se selecciona el dintel: *Assign* → *Frame Loads* → *Distributed*. Son dos hipótesis de carga: *Load Pattern Name: G, Direction Z, Uniform Load: -600\*3* (forjado: 400, pavimento: 100, tabiquería: 100). Se vuelve a seleccionar el dintel: *Load Pattern Name: 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 un cálculo manual. 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 coincide con el cálculo manual (0.011 m):



## 2.- ESTRUCTURA TRIANGULADA

### 2.1 Introducción de la geometría

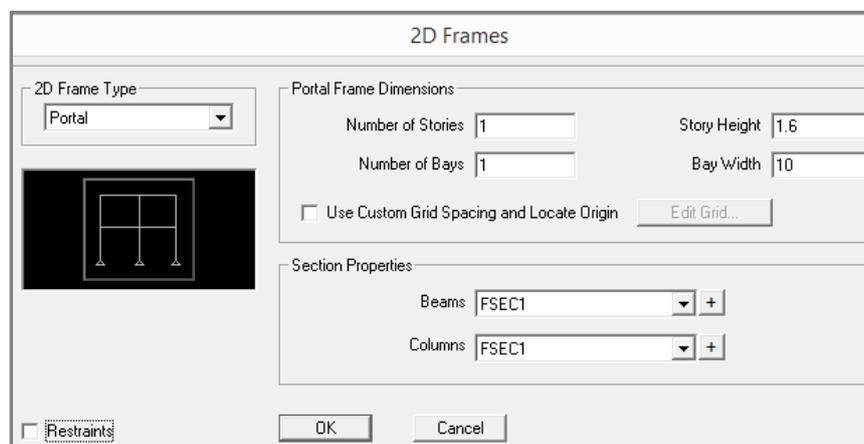
Se aprovechará parte del fichero del pórtico para generar la celosía. En el caso de que se tratara de un fichero nuevo, sólo hay que repetir las instrucciones definidas para el pórtico (1.1.1 Pilares, 1.1.2 Material, 1.1.4 Restricciones, 1.1.5 Hipótesis, casos, combinaciones y viento en pilares).

**Paso 1:** Mediante *File* → *Open*, abrimos el fichero del pórtico. Se guarda, *File* → **Save as**, con otro nombre (fichero : “Nombre”.sdb).

**Borramos** los dinteles (tecla *Supr* del teclado) pero dejamos los pilares. Recordamos que el origen de ejes globales se encuentra en el centro entre las bases de ambos pilares.

**Paso 2:** Para generar la estructura, en *Edit* → *Add to Model from Template* (Ctrl-T), elegimos el modelo **2D Frames**.

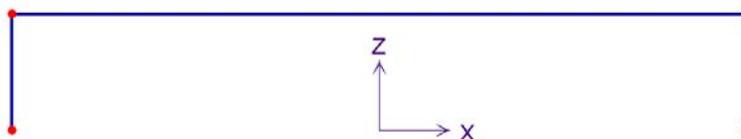
Creamos ½ celosía (izquierda o barlovento). Con una simetría generaremos el resto.



Generamos un marco, (una altura de  $h = 1.6 \text{ m}$  o *Story Height* – canto central - y un vano de  $Luz/2 = 10 \text{ m}$  o *Bay Width* – mitad de la luz de la celosía). Desactivamos *Restraints*. Los perfiles se definirán más adelante.

El cuadro de la media celosía quedará centrado en los ejes globales, posteriormente se desplazará hasta su posición exacta.

Con el botón derecho del ratón se abre un cuadro y pulsamos *Edit Grid Data*. Aparece un nuevo sistema de coordenadas: CSYS1. Lo borramos (*Delete System*).

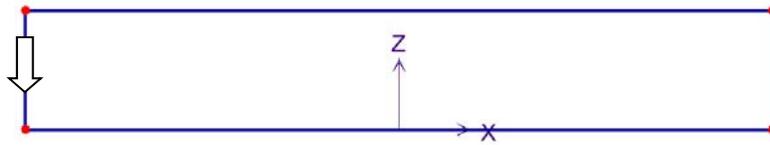


**Paso 3:** Vamos a construir el cordón superior e inferior mediante la siguiente secuencia:

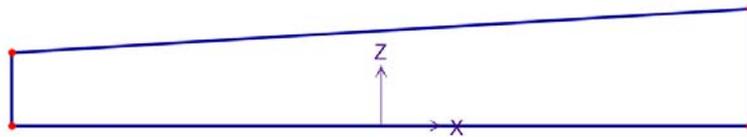
(Con la tecla  se desactiva en *Joints* el recuadro *invisible*, para visualizar los nudos):

1.- Creamos el cordón inferior con la tecla *Draw Frame/Cable Element* 

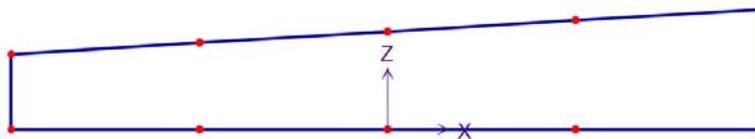
El cursor se cambia a una flecha vertical, pinchamos el nudo izquierdo, a continuación el nudo derecho y desactivamos con el botón derecho del ratón. Pulsamos la tecla *Set Select Mode* para volver al modo normal de edición (  )



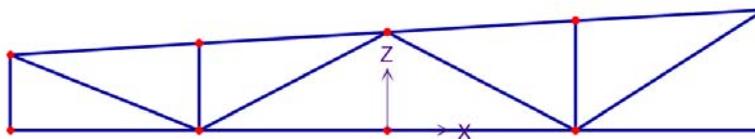
2.- Se rectifica el cordón superior. Desplazamos la esquina superior izquierda  $-0.6\text{ m}$  (canto central menos canto lateral), hacia abajo. *Edit* → *Move* → *Delta Z* “ $-0.6$ ”. El cordón superior y el montante izquierdo quedan en su posición definitiva



Paso 4: Dividir los cordones en barras para construir la triangulación. Partimos *ambos cordones en 4 barras*: *Edit* → *Edit Lines* → *Divide Frames* → *Divide into*  *Frames*, se anota **4** en el recuadro *Frames*, y se escribe **1** en *Last/First ratio*.

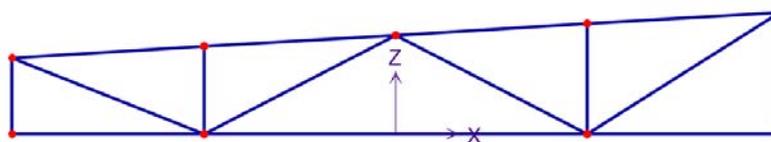


Paso 5: Dibujo de la triangulación: con la tecla *Draw Frame/Cable*, de la columna de botones a la izquierda, se dibujan las diagonales de forma consecutiva (por ejemplo de izq.→der). A continuación introducimos los montantes (por ejemplo de abajo→arriba).

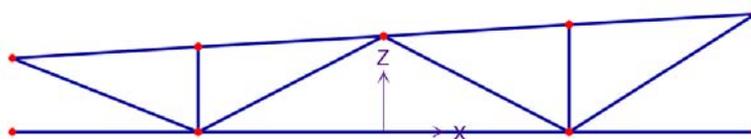


Paso 6: La barra central del cordón inferior está dividida en dos barras. Aunque no es estrictamente necesario, seleccionamos esas dos barras centrales y las unimos:

*Edit* → *Edit Lines* → *Join Frames*



Paso 7: Borrarnos el primer montante izquierdo, pues en realidad pertenece al pilar que ya se encuentra creado. Borrarnos el montante a la derecha pues no existe.



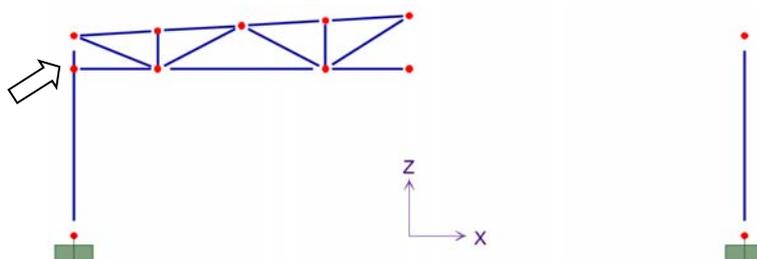
Paso 8: Movemos la celosía a su posición conectada al pilar. Se realiza de forma sencilla si se selecciona toda la celosía y se traslada  $-Luz/4 = -5\text{ m}$  según X (el cuarto de la luz) y  $h_{\text{cordón inf}} = 5\text{ m}$  según Z (hasta la altura cordón inferior):

*Edit* → *Move* → *Delta X* =  $-5$  ; *Delta Z* =  $5$

El nudo izquierdo de la primera barra del cordón inferior **no**

Move	
Change Coordinates by:	
Delta X	-5
Delta Y	0.
Delta Z	5

pertenece al pilar. Sin embargo, el programa lo reconoce y une el pilar con el cordón inferior aunque para el pilar no existe nudo. Entre ambas barras se transmiten esfuerzos en ese punto. Más adelante, para facilitar el manejo de resultados, se dividirá el pilar en dos segmentos, de forma que ese nudo pertenecerá al cordón inferior y al pilar. Se ha activado *Shrink Object* (Ctrl E) para visualizar este hecho.



## 2.2 Propiedades de las barras

Paso 1: Se definen las barras de la celosía. Los perfiles (*m*) son:

Tipo de barra	Tubo	Designación	t3	t2	t <sub>f</sub> , t <sub>w</sub>
Cordón superior	# 120-4	C120x4	0.12	0.12	0.004
Cordón inferior	# 120-80-4	R80x120x4	0.08	0.12	0.004
1º, 2º diagonal extrema	# 100-80-3	R80x100x3	0.08	0.10	0.003
Diagonales centrales, Montantes	# 60-3	C60x3	0.06	0.06	0.003

Paso 2 : Definir y asignar a la vez las propiedades: Se selecciona el cordón inferior y abrimos la orden *Assign* → *Frame* → *Frame Sections* → *Add New Property* → *Tube*.

*Section Name:* R80x120x4

*Material:* S275JR

*Outside Depht (canto):* t3 = 0.08

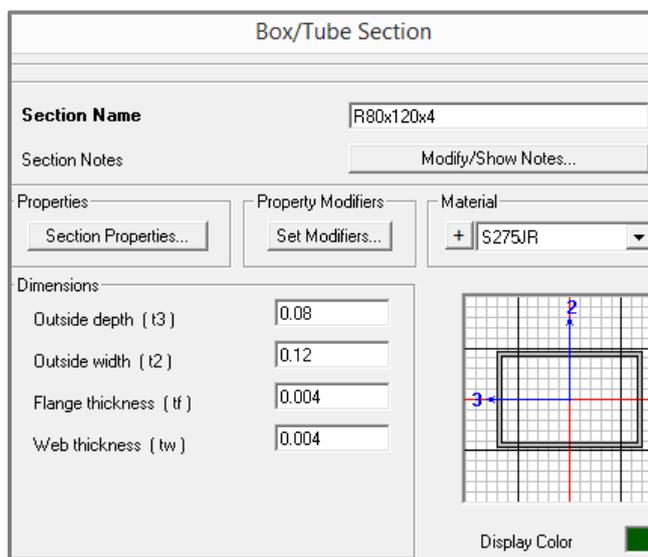
*Outside Width (ancho):* t2 = 0.12

*Flange thickness:* t<sub>f</sub> = 0.004

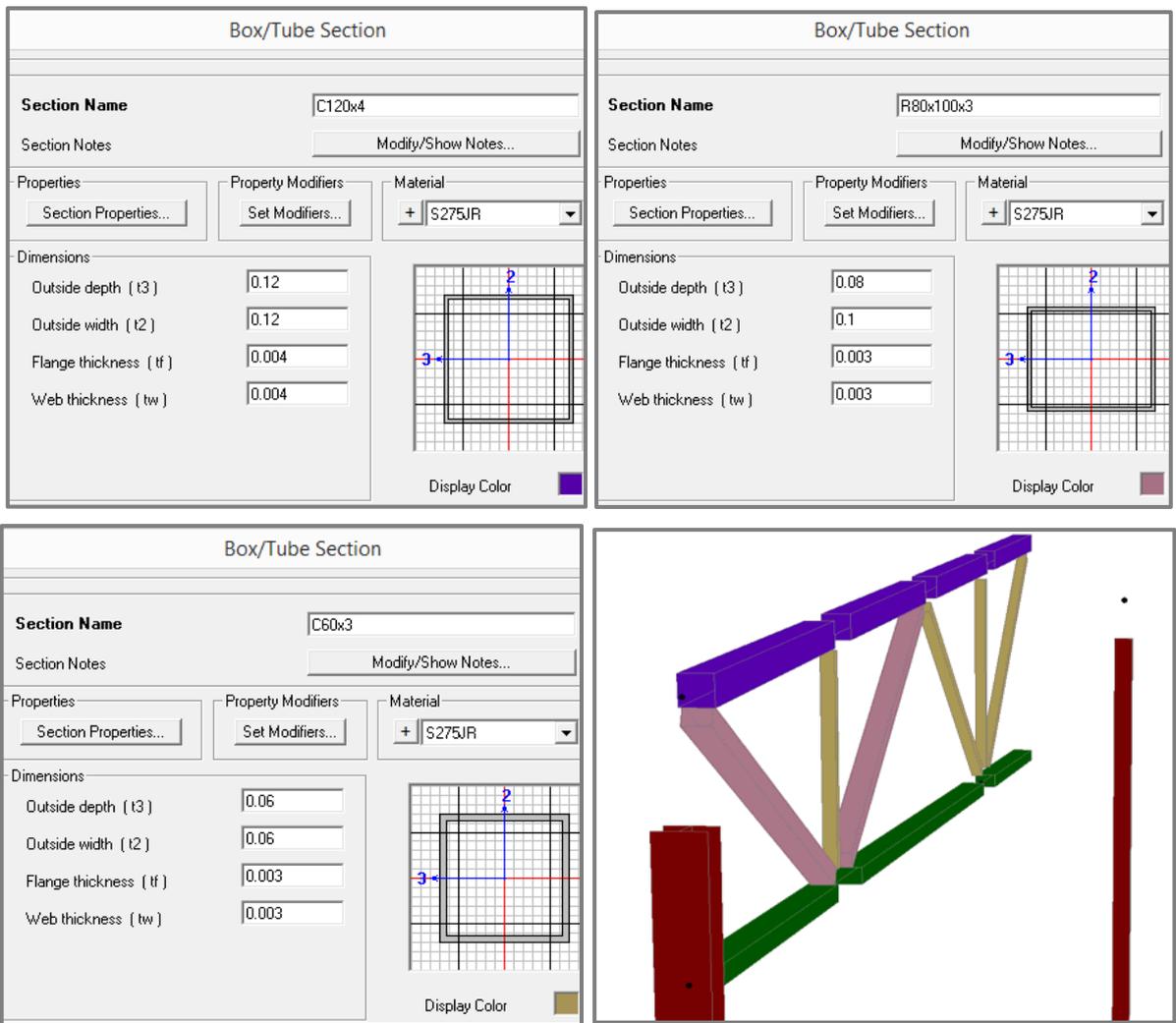
*Web thickness:* t<sub>w</sub> = 0.004

Nota: se observa que el tubo se coloca en apaisado o de plano. En una vista frontal o en alzado muestra su dimensión menor (8 cm).

La vista de la sección en el recuadro cuadrículado se actualiza pinchando en él.

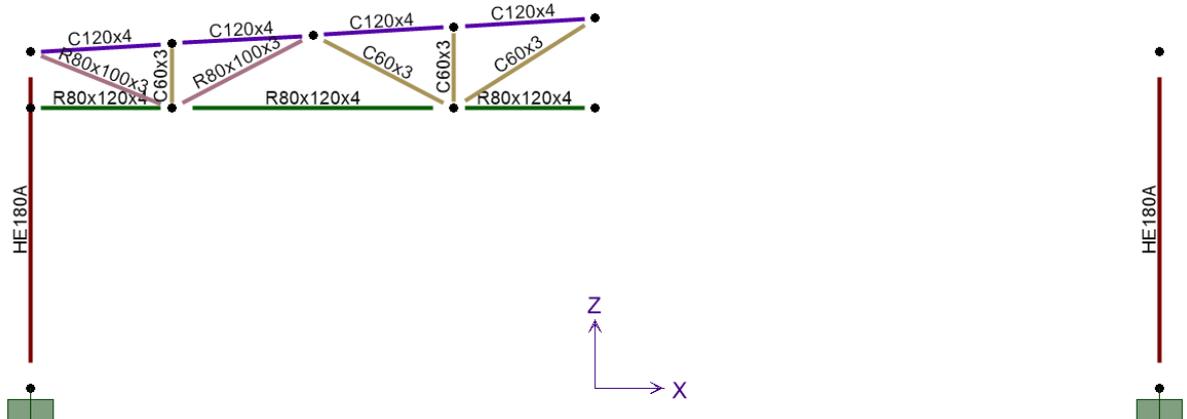


Paso 3 : Se selecciona el cordón superior. El perfil es C120x4. Con la orden *Assign* → *Frame* → *Frame Sections*: se selecciona R80x120x4, → *Add Copy of Property*, se cambia el nombre (C120x4) y el canto t3 = 0.12. Se procede de la misma forma con el resto de barras, seleccionándolas adecuadamente. Al final pueden borrarse los perfiles que pertenecían al pórtico y ya no son necesarios (*Delete*), empezando por la propiedad de inercia variable y guardando (puede dejarse el perfil IPE-300 si se va a definir un altillo).



**Paso 4:** Se seleccionan los dos pilares. Con *Assign* → *Frame* → *Frame Sections* → *Import New Property* pulsamos en *I/Wide Flange*. Localizamos y abrimos el fichero *EURO.PRO* que contiene las propiedades del perfil HEA-180 (puede ser c:> Program Files\Computers and Structures).

En el cuadro del perfil, se comprueba o corrige que el material debe ser S275JR.



## 2.3 Acciones verticales

Las hipótesis y combinaciones de carga del pórtico son válidas para la celosía. Añadimos:

**Paso 1:** Nuevas combinaciones de carga: *Define* → *Combinations*. Se añaden las que no se definieron para el pórtico, pero pueden ser relevantes para la celosía. Ambas tienen al viento de presión V2 como acción variable principal y la sobrecarga de uso es nula (si la nieve es elevada, se formulan más combinaciones como principal).

	Designación	G	N	V2
E.L.U.	COMB3	1.35	0.75	1.50
E.L.S.	ELS-3	1.00	0.50	1.00

### **Paso 2:** Acciones verticales.

Vamos a definir las cargas en nudos para cada hipótesis y asignarlas.

Para empezar, antes de abrir la orden, seleccionamos los nudos del cordón superior salvo los extremos (carga distinta pues es la mitad del resto).

Las cargas se asignan con la orden: *Assign* → *Joints Loads* → *Forces*.

- Seleccionar la *hipótesis* a la que pertenece la carga definida (*Load Pattern Name*)
- Seleccionar el sistema de *ejes coordenados* de referencia (*Coordinate System*)
- Definir la *dirección* de la carga (Ejes globales: Z: gravitatorias ; X : viento) (*Loads*)
- Definir el *valor* de la carga (signo negativo para las gravitatorias) (*Loads*)

Finalizado el grupo de nudos interiores, se seleccionan los extremos y se abre el cuadro para introducir su carga.

#### Cargas puntuales

- Carga permanente (G): se seleccionan los nudos interiores, se aplica una carga puntual de  $(25 \cdot 6 \cdot 2.5) = 375$  kg según el eje global **-Z**. Se seleccionan los extremos a los que aplicamos la mitad de carga (187.5 kg)
- Sobrecarga de uso (S), se aplica una carga puntual de  $(40 \cdot 6 \cdot 2.5) = 600$  kg según el eje global **-Z** y a los extremos les toca la mitad de carga (300)
- Nieve (N), carga puntual de  $(30 \cdot 6 \cdot 2.5) = 450$  kg según **-Z** y los extremos la mitad (225)

Puede utilizarse la orden *Assign* → *Frame Loads* → *Point* (2.5.1 Paso 1) y colocar las cargas en extremos de barras. Con ello se selecciona todo el cordón superior y se aplica, de una sola vez, todas las cargas ( $q \cdot 6 \cdot 2.5/2$  que es la mitad de la de los nudos interiores).

Las cargas aparecen en pantalla según se definen. Para visualizar en cualquier instante las cargas, teclear en **Display** → **Show Load Assigns** → **Joint**.

Joint Forces		
Load Pattern Name	+ G	Units: Kgf, m, C
Force Global X	0.	Coordinate System: GLOBAL
Force Global Y	0.	
Force Global Z	-375	
Moment about Global X	0.	
		Options: <input type="radio"/> Add to Existing Loads, <input checked="" type="radio"/> Replace Existing Loads

Carga permanente

Joint Forces		
Load Pattern Name	+ S	Units: Kgf, m, C
Force Global X	0.	Coordinate System: GLOBAL
Force Global Y	0.	
Force Global Z	-600	
Moment about Global X	0.	
		Options: <input type="radio"/> Add to Existing Loads, <input checked="" type="radio"/> Replace Existing Loads

Sobrecarga de uso

Joint Forces		
Load Pattern Name	+ N	Units: Kgf, m, C
Force Global X	0.	Coordinate System: GLOBAL
Force Global Y	0.	
Force Global Z	-450	
Moment about Global X	0.	
		Options: <input type="radio"/> Add to Existing Loads, <input checked="" type="radio"/> Replace Existing Loads

Sobrecarga de nieve

## 2.4 Generación de la estructura completa

Vamos a generar la mitad derecha de la celosía (sotavento). Se realiza una simetría (*Mirror*) en la que se copia la geometría de la estructura seleccionada, las propiedades asociadas a las barras y las acciones previamente definidas en Apartados anteriores.

Replicate			
Linear	Radial	<b>Mirror</b>	
Mirror About Plane			
<input checked="" type="radio"/> Parallel to Z <input type="radio"/> Parallel to X <input type="radio"/> Parallel to Y <input type="radio"/> 3D Plane			
Intersection of Plane with XY Plane			
x1	0.	y1	0.
x2	0.	y2	1.
Replicate Options			
<input type="button" value="Modify/Show Replicate Options..."/>			
10 of 10 active boxes are selected			
<input type="checkbox"/> Delete Original Objects			

**Paso 1.- Orden simetría :** *Edit* → *Replicate* → *Mirror*

Se selecciona la media celosía completa y sus nudos. No debe incluirse ningún pilar. Respecto al nudo de cumbrera, la carga se duplica al fusionarse con su simétrico.

- **Ejes globales:** el resultado de la simetría depende de la posición de los ejes globales. En este caso el **eje Z** (o el Y) es paralelo al plano de simetría (*Mirror About Plane*).
- **Eje de simetría:** línea definida mediante las coordenadas de dos de sus puntos, (*Intersection of Plane with "XY" plane*) y por ser un plano paralelo al eje Z con el plano XY. Unos puntos de la recta pueden ser:  $[x_1, y_1] = [0, 0]$  ;  $[x_2, y_2] = [0, 1]$

En resumen, es suficiente confirmar la pantalla que aparece al abrir la orden.

**Paso 2:** Se recomienda dividir los pilares en dos barras (en el punto extremo del cordón inferior). Se seleccionan: los pilares y extremos del cordón inferior y se divide con *Edit* → *Edit Lines* → *Divide Frames* → *Break at Intersections with Selected Joints, Frames...* Con la tecla *Object Shrink Toggle*, se corrobora que la orden ha funcionado.

**Paso 3:** Se unen las dos barras centrales del cordón inferior. Se seleccionan y activa la orden: *Edit* → *Edit Lines* → *Join Frames*. Si no desaparece el nudo central, se suprime manualmente.

## 2.5 Acción de viento en cubierta

### 2.5.1 LONGITUD ZONA I EN UNA CUBIERTA PLANA

Se trata de una cubierta plana ( $\alpha < 5^\circ$ ) con viento de presión V2 en cubierta en zona I longitud  $L_I$  (le corresponde un coeficiente  $c_p = +0.2$ ):

$$L_I = d - \frac{e}{2} = d - \frac{\min[b, 2h]}{2} = 20 - \frac{\min[30, 13.2]}{2} = 13.4 \text{ m}$$

- $b$ : longitud de la nave en la dirección normal al viento:  $b = 30 \text{ m}$   
 $h$ : altura total de la nave:  $h = 6.6 \text{ m}$   
 $d$ : longitud en la dirección paralela al viento:  $d = 20 \text{ m}$

### 2.5.2 FORMA DE APLICACIÓN DE LA CARGA

Las cargas de viento son perpendiculares a cada faldón. Respecto al sistema de coordenadas globales, la carga tiene dos componentes: respecto al eje X y Z [ $P_x = P \cdot \cos \alpha$ ;  $P_z = P \cdot \sin \alpha$ ].

Para que la introducción de datos sea sencilla, en lugar de definir las cargas como puntuales en nudo, se introducirán como puntuales en extremos de barras. De esta forma utilizamos el **eje local 2** de la barra, normal a su directriz, para definir la carga.

La carga puntual a aplicar en cada extremo de barra del cordón superior, cuya longitud contributiva vale  $L_c/2 = 1.25 \text{ m}$ , es:

$$P = (q_b \cdot c_e \cdot c_p \cdot L_c/2) \cdot s = (45 \text{ kg/m}^2 \cdot 1.5 \cdot 0.2 \cdot 1.25) \cdot 6 \text{ m} = \mathbf{101.25 \text{ kg}}$$

- $s$ : separación entre celosías (pórticos):  $s = 6 \text{ m}$   
 $L_c$ : longitud de la barra o separación entre nudos:  $L_c = 2.5 \text{ m}$

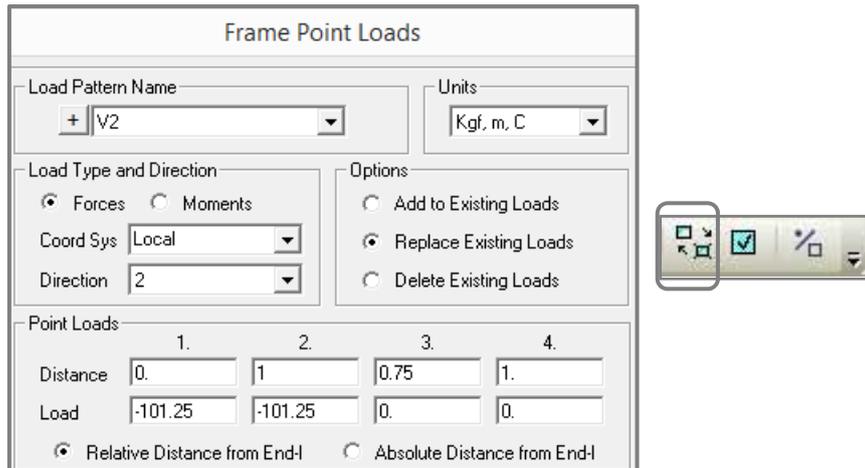
El número de barras del cordón superior con carga contadas desde la **fachada a sotavento**, redondeado en exceso:

$$L_I/L_c = 13.4 \text{ m} / 2.5 \text{ m} = 5.4 \rightarrow \mathbf{6 \text{ barras}}$$

**Paso 1:** Se seleccionan las seis barras del cordón superior contabilizadas desde el pilar de sotavento. Se utiliza la orden:

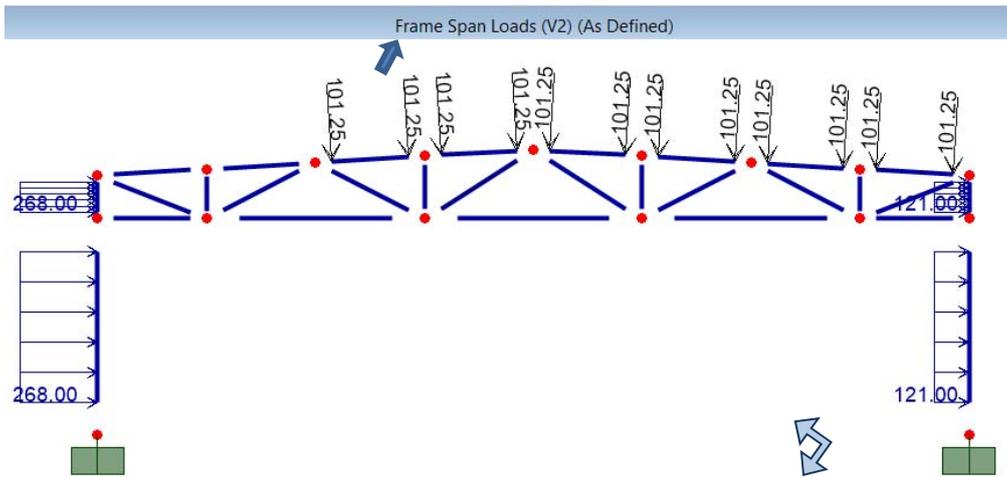
*Assign* → *Frame Loads* → *Point, Load Pattern Name : V2 ; Coord Sys: Local ; Direction: 2:*

1. [*Distance = 0, Load = -101.25*]
2. [*Distance = 1, Load = -101.25*]



Para una mejor visualización, debe activarse con la tecla *Object Shrink Toggle* o con la orden *View → Set Display Options → General, Shrink Objects*. El extremo de la barra se separa del nudo, lo que permite ver las cargas aplicadas en extremos de barra.

Se comprueban que las cargas son correctas con: **Display → Show Load Assigns → Frame**. Se selecciona la hipótesis o *Load Pattern Name V2*. Para visualizar cargas uniformes y puntuales a la vez, debe estar activado: *Show Joint Loads with Span Loads*.



Para el resto de hipótesis teclear en la barra inferior derecha  o con la orden: **Display → Show Load Assigns → Joint**

### 2.5.3 CUBIERTAS CON $5^\circ \leq \alpha < 15^\circ$

Los coeficientes eólicos  $c_p$  son fijos en cada faldón, variables en 0 y 0.2 en función de  $\alpha$ . Se seleccionan todas las barras del faldón a barlovento y se aplica la carga tal como se calculó en el apartado anterior. Se repite con las barras a sotavento.

Faldón a barlovento (zonas F, G, H)

Angulo de la cubierta	5°	6°	7°	8°	9°	10°	11°	12	13°	14°	15°
<b>Coefficiente eólico</b>	<b>0.00</b>	0.02	0.04	0.06	0.08	0.10	0.12	0.14	0.16	0.18	<b>0.20</b>

Faldón a sotavento (zonas I, J)

Angulo de la cubierta	5°	6°	7°	8°	9°	10°	11°	12	13°	14°	15°
<b>Coefficiente eólico</b>	<b>0.20</b>	0.18	0.16	0.14	0.12	0.10	0.08	0.06	0.04	0.02	<b>0.00</b>

## 2.6 Secciones de barra

Número de secciones respecto a las cuales el programa dará los valores de los esfuerzos. Esta orden es *opcional* y se aplica para reducir el tamaño de los listados de resultados.

Para las barras de la celosía y extremo superior del pilar, es conveniente definir sólo 2 secciones, que son los extremos de las barras (la variación de cualquier esfuerzo es lineal).

Se seleccionan y se realiza con *Assign* → *Frame* → *Output Station* → *Min Number Station*, → 2. Para el resto de pilar, se deja como está (el valor por defecto suele ser 9 secciones).

## 2.7 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 de la ventana **Run Now**. Para más información consultar 1.2 .

## 2.8 Obtención de resultados

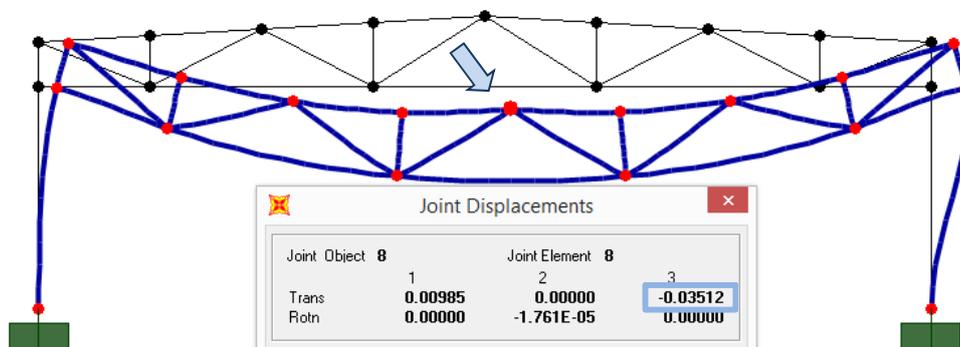
### 2.8.1 INFORMACIÓN GRÁFICA

#### DEFORMACIONES:

Se selecciona mediante el menú de *Display* → *Show Deformed Shape* , F6, Especificamos la hipótesis o combinación de carga, un factor de escala, posición inicial (*Wire Shadow*) y se activa la curvatura o giros de la viga (*Cubic Curve*).

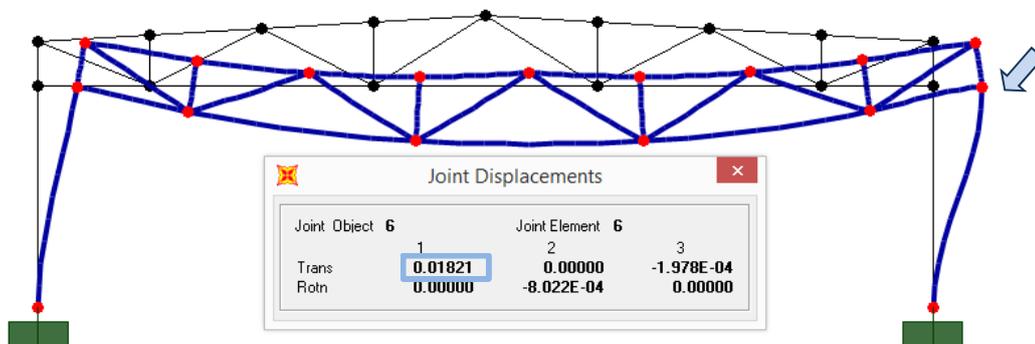
Acercándonos al nudo o pulsando con el botón derecho del ratón sobre el nudo obtenemos los movimientos del mismo. Realizamos la comprobación de flechas, que es simple.

ELS-2 (S principal): Máxima flecha vertical (cuadro: nudo cumbre):



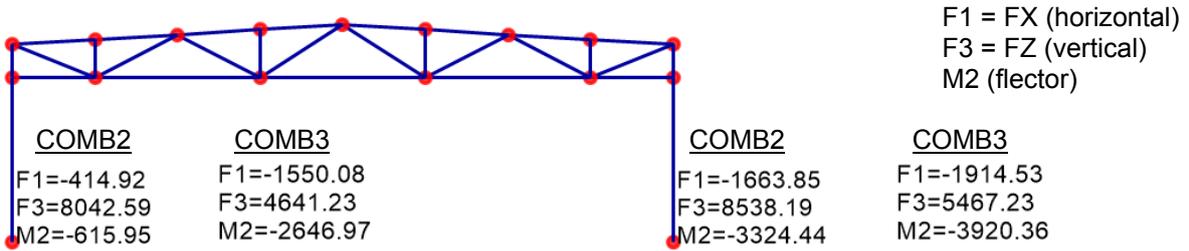
Flecha límite:  $Luz/200 = 2000 \text{ cm} / 200 = 10 \text{ cm} < \text{flecha} = 3.5 \text{ cm}$ . Ok.

ELS-3 (V2 principal): Máximo desplome (cuadro: nudo extremo derecho cordón inferior):



Flecha límite:  $h_{\text{nudo}}/150 = 500 \text{ cm} / 150 = 3.3 \text{ cm} < \text{desplome} = 1.8 \text{ cm}$ . Ok.

**REACCIONES:** (*Display* → *Show Forces/Stresses* → *Joints*)



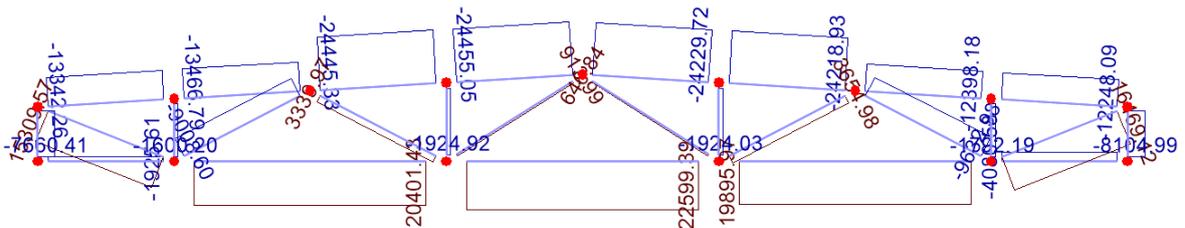
**Reacciones:** En el menú de *Display* → *Show Forces/Stresses* → *Joints* aparecen las reacciones. Con *Arrow*, se activa una flecha que refleja su dirección y sentido. Podemos seleccionarlas para cualquier hipótesis o combinación de carga.

Se utilizan para el cálculo de la **base de anclaje** y armado de zapatas (Comb, ELU) y comprobación de vuelco y tensión del terreno en zapatas (ELS, cargas en servicio).

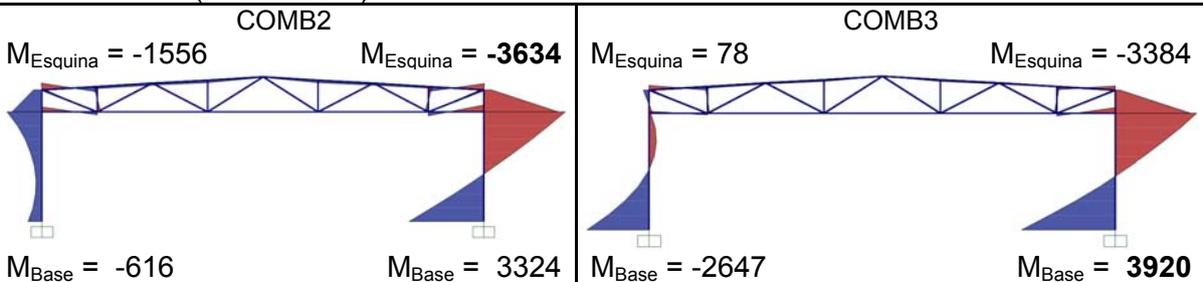
**ESFUERZOS:**

En el menú de *Display* → *Show Forces/Stresses* → *Frames*. El diagrama de axiles se ha **escalado** por un **factor negativo** (*Scaling, Scale Factor, -1*) para mejor visualización.

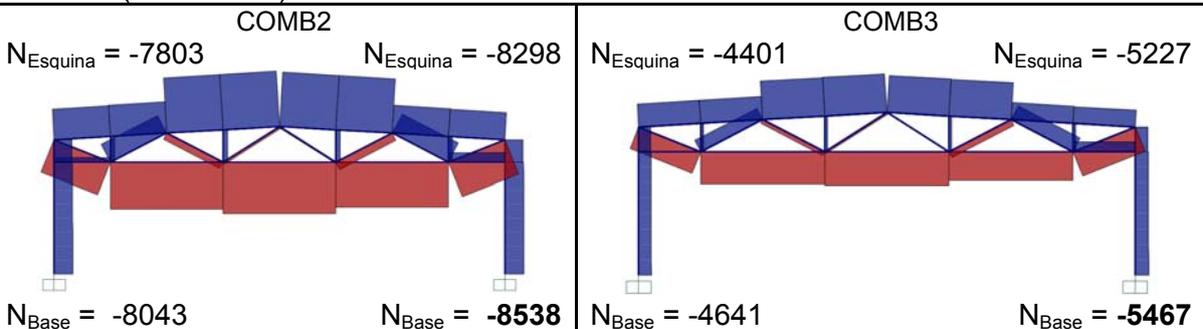
**Axiles en la celosía Comb2:**



**FLECTORES (Moment 3-3)**



**AXILES (Axial Force)**



### 2.8.2 LISTADOS

Los listados se obtienen con *File* → *Print Tables* (o *File* → *Export* → *SAP2000 MS Excel* ...)

<b>Reacciones totales</b>	<b>OutputCase</b>	<b>GlobalFX</b>	<b>GlobalFZ</b>	<b>GlobalMY</b>
Table: Base Reactions → <i>Analysis Results</i> → <i>Structure Output</i> → <i>Base Reactions</i>	Text	Kgf	Kgf	Kgf-m
	COMB1	0	15489	0
	COMB2	-2079	16581	-8896
	COMB3	-3465	10108	-14827

<b>Peso de la estructura</b>	<b>ObjectType</b>	<b>Material</b>	<b>TotalWeight</b>	<b>NumPieces</b>
→ <i>Model Definition</i> → <i>Miscellaneous Data</i> → <i>Material List</i> : <ul style="list-style-type: none"> <li>Table: Material List 1 - By Object Type</li> <li>Table: Material List 2 - By Section Property</li> </ul>	Text	Text	Kgf	Unitless
	Frame	S275JR	1140.17	29
	<b>Section</b>	<b>NumPieces</b>	<b>TotalLength</b>	<b>TotalWeight</b>
	Text	Unitless	m	Kgf
	R80x120x4	5	20	241.15
	C120x4	8	20.03	291.92
	HE180A	4	12	426.73
C60x3	8	16.77	90.06	
R80x100x3	4	11.02	90.32	

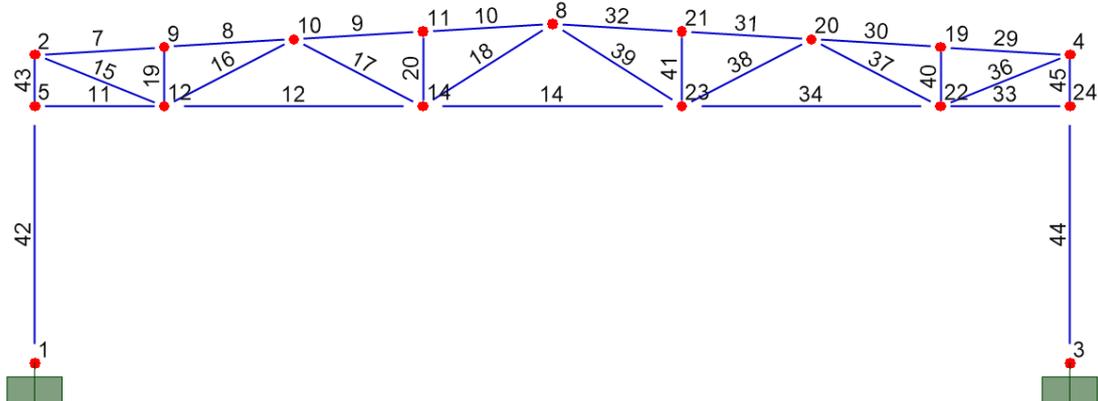
<b>Reacciones</b>	<b>Joint</b>	<b>Output</b>	<b>F1</b>	<b>F3</b>	<b>M2</b>
→ <i>Analysis Results</i> → <i>Joint Output</i> → <i>Reactions</i>	Text	Text	Kgf	Kgf	Kgf-m
1	COMB1	747	7745	1410	
	COMB2	-415	8043	-616	
	COMB3	-1550	4641	-2647	
3	COMB1	-747	7745	-1410	
	COMB2	-1664	8538	-3324	
	COMB3	-1915	5467	-3920	

**Deformaciones:** → *Analysis Results* → *Joints Output* → *Displacements*.

**Esfuerzos:** → *Analysis Results* → *Element Output* → *Frame Output* → *Table. Element Forces: Frames*

Para poder identificar los elementos en los listados, deben acompañarse con la numeración de nudos y barras.

La numeración puede **no coincidir** con la del dibujo que se adjunta, pues depende de la secuencia de ejecución de órdenes, si han existido rectificaciones, etc. La numeración se puede modificar pero no es necesario para el cálculo.



ESFUERZOS					Fram	Statio	Comb	P	M3	Fram	Statio	Comb	P	M3
Fram	Statio	Comb	P	M3		m		Kgf	Kgf-m		m		Kgf	Kgf-m
PILARES					CORDON SUPERIOR IZQUIERDO					DIAGONALES IZQUIERDA				
42	0	1	-7745	-1410	7	0	1	-11931	-263	15	0	1	14756	-48
	5		-7505	2325		2.505		-11928	178		2.693		14745	15
	0	2	-8043	616		0	2	-13342	-287		0	2	15310	-56
	5		-7803	1556		2.505		-13339	193		2.693		15299	22
	0	3	-4641	2647		0	3	-8539	-181		0	3	8564	-39
	5		-4401	-78		2.505		-8536	112		2.693		8553	15
43	0	1	-7350	2100	8	0	1	-12053	103	16	0	1	-8543	36
	5		-7302	311		2.505		-12050	68		2.818		-8528	1
	0	2	-7660	1357		0	2	-13467	115		0	2	-9009	35
	5		-7612	343		2.505		-13464	72		2.818		-8994	3
	0	3	-4335	-154		0	3	-8608	68		0	3	-5169	17
	5		-4287	221		2.505		-8605	37		2.818		-5154	0
44	0	1	-7745	1410	9	0	1	-22450	64	17	0	1	3157	5
	5		-7505	-2325		2.505		-22447	109		2.818		3147	2
	0	2	-8538	3324		0	2	-24445	69		0	2	3340	5
	5		-8298	-3634		2.505		-24442	120		2.818		3331	2
	0	3	-5467	3920		0	3	-14944	36		0	3	1956	1
	5		-5227	-3384		2.505		-14941	71		2.818		1947	0
45	0	1	-7350	-2100	10	0	1	-22449	107	18	0	1	735	3
	5		-7302	-311		2.505		-22446	15		2.968		747	-1
	0	2	-8105	-3341		0	2	-24455	119		0	2	902	4
	5		-8057	-326		2.505		-24452	16		2.968		914	-1
	0	3	-5076	-3153		0	3	-14961	70		0	3	678	1
	5		-5028	-192		2.505		-14958	4		2.968		690	-2
CORDON INFERIOR IZQUIERDO					CORDON SUPERIOR DERECHO					DIAGONALES DERECHA				
11	0	1	-2536	-225	29	0	1	-11931	-263	36	0	1	14756	-48
	2.5		-2536	112		2.505		-11928	178		2.693		14745	15
	0	2	-1926	-199		0	2	-12248	-278		0	2	16469	-47
	2.5		-1926	105		2.505		-12245	190		2.693		16458	10
	0	3	-286	-76		0	3	-6715	-166		0	3	10497	-25
	2.5		-286	39		2.505		-6712	108		2.693		10486	-5
12	0	1	18863	12	30	0	1	-12053	103	37	0	1	-8543	36
	5		18863	-1		2.505		-12050	68		2.818		-8528	1
	0	2	20401	12		0	2	-12398	107		0	2	-9633	43
	5		20401	3		2.505		-12395	73		2.818		-9619	-2
	0	3	12312	-8		0	3	-6827	54		0	3	-6209	30
	5		12312	-11		2.505		-6824	40		2.818		-6195	-8
14	0	1	21039	-5	31	0	1	-22450	64	38	0	1	3157	5
	5		21039	-5		2.505		-22447	109		2.818		3147	2
	0	2	22599	-1		0	2	-24219	67		0	2	3655	5
	5		22599	-3		2.505		-24216	120		2.818		3646	3
	0	3	13470	-13		0	3	-14567	31		0	3	2481	1
	5		13470	-17		2.505		-14564	71		2.818		2472	0
34	0	1	18863	12	32	0	1	-22449	107	39	0	1	735	3
	5		18863	-1		2.505		-22446	15		2.968		747	-1
	0	2	19896	17		0	2	-24230	118		0	2	635	4
	5		19896	1		2.505		-24227	16		2.968		647	-1
	0	3	11470	0		0	3	-14586	69		0	3	233	0
	5		11470	-15		2.505		-14583	4		2.968		245	-2
MONTANTE DERECHO					DEFORMACIONES					Nudo	ELS	U1 (despl.)	U3 (flecha)	
33	0	1	-2536	-225	41	0	1	-1749	2					
	2.5		-2536	112		1.450		-1738	-1	8	2	9.85	-35.12	
	0	2	-4081	-292		0	2	-1924	3		3	16.41	-21.54	
	2.5		-4081	140		1.450		-1914	-2					
	0	3	-3878	-231		0	3	-1166	2	24	2	12.97	-0.31	
	2.5		-3878	97		1.450		-1155	-2		3	18.21	-0.20	

### 2.8.3 ALTILLO

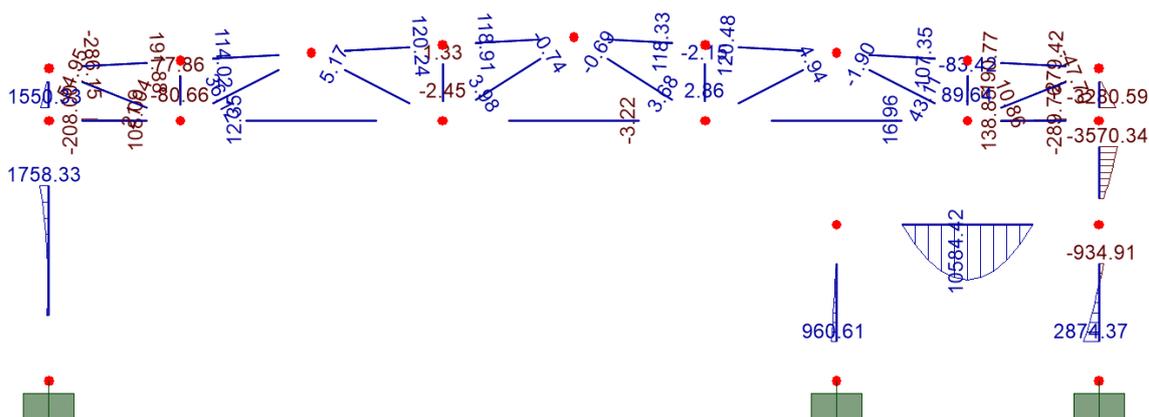
Repitiendo las órdenes de 1.3.3 (excepto el *paso 1*), se incorpora la estructura del altillo:

**Paso 1:** Se selecciona el soporte a sotavento. Se divide el pilar en dos mitades con la orden: *Edit* → *Edit Lines* → *Divide Frames*, *Divide into 2 Frames*; *Last/First Length Ratio*= 2/3 = **0.666667**

**Nota:** Un procedimiento rápido consiste en incorporar el altillo, ya creado en el pórtico, a la celosía. Para ello:

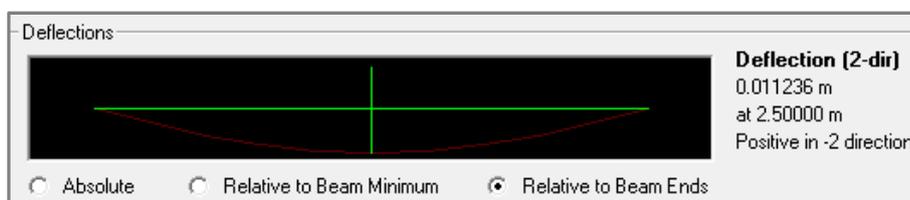
- 1) Se abre el fichero con el pórtico y altillo. Se suprimen las barras del pórtico, quedando sólo el dintel y el pilar interior del altillo. Se guarda el fichero con otro nombre (al terminar toda esta operación se elimina).
- 2) Se abre el fichero con la celosía y se guarda con otro nombre.
- 3) Se añade la estructura del altillo con la orden *File* → *Import* → *SAP2000 .s2k Text File* → *Add to existing model*, se localiza el fichero del altillo y se abre. La estructura queda incorporada a la existente.
- 4) Se divide el pilar a sotavento en dos tramos, tras seleccionar el dintel, el pilar y el nudo común, con *Edit* → *Edit Lines* → *Divide Frames* → *Break at Intersections with Selected Joints, Frames*

Los flectores para la Comb2 son:



La estructura es más flexible horizontalmente que el pórtico a dos aguas. Los flectores en los pilares se modifican algo más respecto a la celosía sin altillo: disminuye el flector en la base del HEA-180 y aumenta para la HEA-140.

Pinchando con el botón derecho sobre la jácena del altillo (ELS-2), se observa que la flecha máxima es la misma que en 1.3.3 (0.011 m):

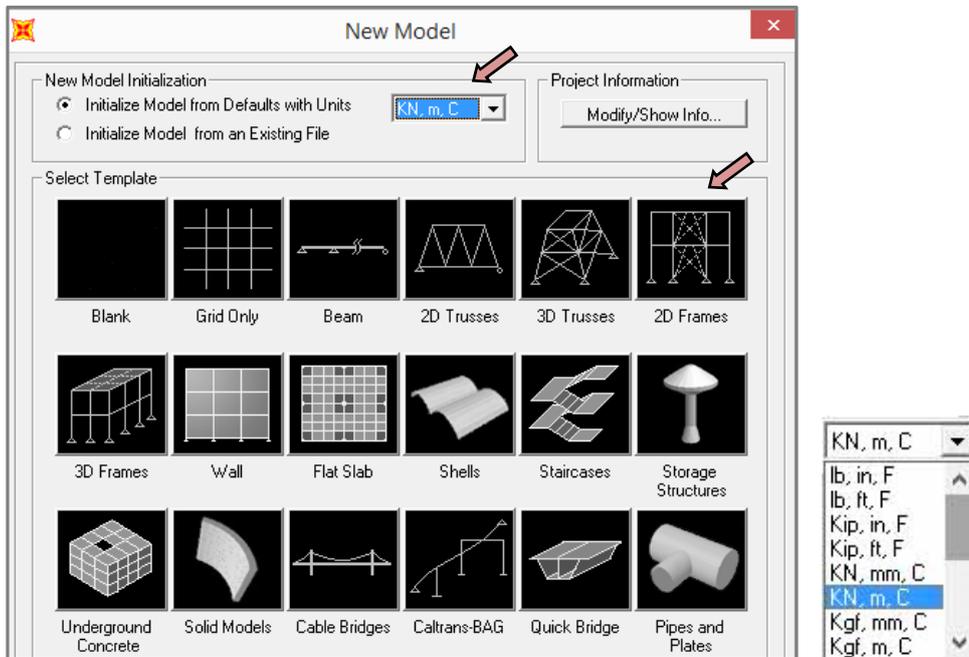


## 3.- PÓRTICO DE HORMIGÓN ARMADO

### 3.1 Datos para el cálculo

#### 3.1.1 INTRODUCCIÓN DE LA GEOMETRÍA PÓRTICO B

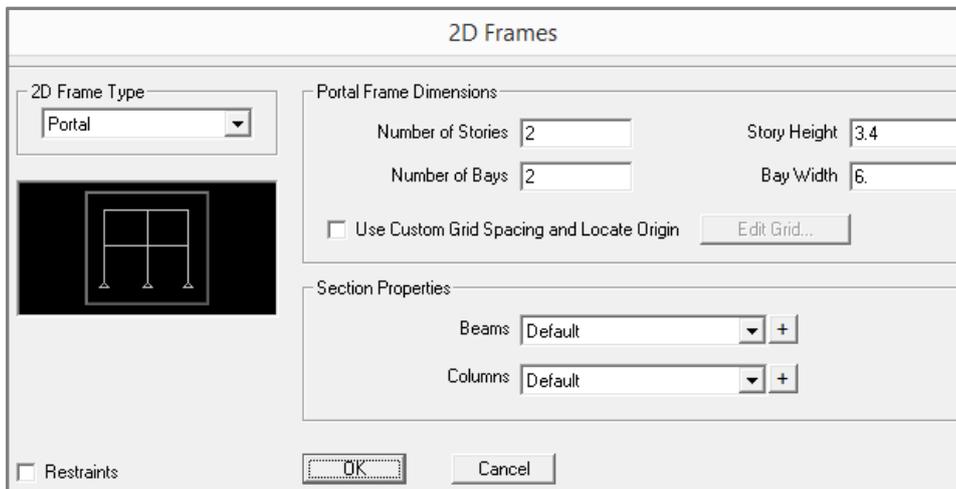
Mediante *File* → *New Model* se arranca con la definición geométrica del modelo estructural que se va a utilizar. La plantilla que aparece en pantalla es:



**Paso 1:** Definir las **unidades** con las que se va a trabajar en el modelo: fuerzas **KN**, dimensiones **m**. Si hace falta cambiar de unidades en cualquier instante se utiliza el menú desplegable en la esquina inferior derecha.

**Paso 2.** En *File* → *New Model* se selecciona el modelo **2D Frames**.

En la ventana, la definición del número de alturas (*Stories*) y de vanos (*Bays*) se realiza en principio con tramos iguales. Introducimos el valor de la altura (3.4 m) y la longitud del 1º vano (6 m) pero deberemos modificar la longitud del 2º vano (5 m).



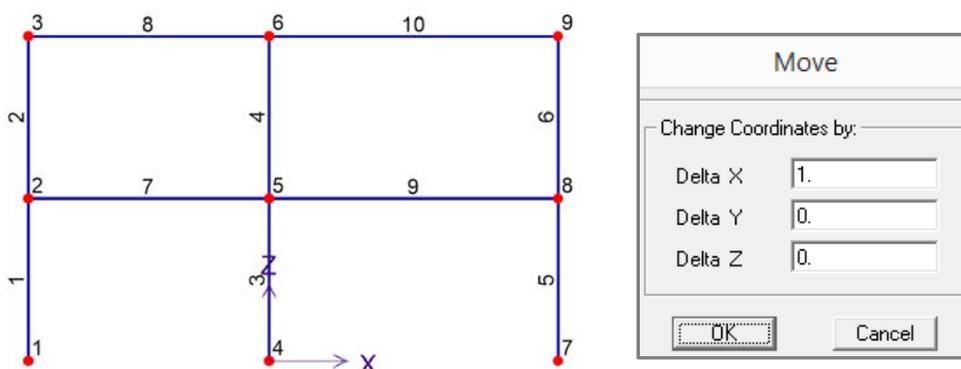
La opción *Restraints* (apoyos) se especificará más adelante, ya que el programa asigna por defecto apoyos articulados a la base de los pilares.

Aparecerá en pantalla el pórtico definido en dos áreas de trabajo o ventanas, una en perspectiva *3-D View* y la otra según el plano *XZ Plane*. Se cierra la primera.

Con la tecla  y en *Options* → *Dimensions/tolerances* y en *Options* → *Colors*, pueden activarse diversas opciones de información y visualización.

Se observan unas líneas y rótulos en gris que son una malla o rejilla de referencia (*Grid*) para operar con la estructura. Con *View* → *Show Grid* eliminamos su visualización.

**Paso 3.** Se seleccionan ambos pilares a la izquierda y sus nudos. Se abre la orden *Edit* → *Move* (*Ctrl-M*). En el cuadro *Change coordinates by* → *Delta X* anotamos **1**. Se mueven los nudos y pilares 1 m hacia la derecha hasta su posición correcta.



Muchas de las órdenes deben ser activadas con la tecla  o redibuja. Si una acción resulta incorrecta, podemos deshacerla mediante  (*Undo*).

**Paso 4:** Guardar el dibujo con un nombre de fichero en *File* → *Save*, localizando en el cuadro de diálogo un subdirectorio para el almacenamiento del mismo. Se crea (entre otros) un fichero “**Nombre**”.sdb con la información introducida. Se recomienda guardar el trabajo periódicamente durante la sesión de trabajo.

### 3.1.2 PROPIEDADES DEL MATERIAL

Se definen las propiedades del hormigón mediante la orden *Define* → *Materials* → *Add New Material*. Los datos necesarios para el cálculo son:

- *Material Name*: HA-30 ; *Type*: Concrete
- *Peso por unidad de volumen (Weight per Unit Volume)*: 2500 kg/m<sup>3</sup> (colocar las unidades en [kg, m] en *Units*, lo que equivale a 24.52 kN/m<sup>3</sup>)
- *Módulo de deformación E (Modulus of Elasticity)*: 12200 N/mm<sup>2</sup> (colocar las unidades en [N, mm] en *Units*, lo que equivale a 1.22 · 10<sup>7</sup> kN/m<sup>2</sup>)
- *Coefficiente de Poisson*: 0.15

El resto de datos no son necesarios para este cálculo. La asignación del material a las barras se realiza en el apartado siguiente.

Material Property Data	
General Data	
Material Name and Display Color	HA-30 
Material Type	Concrete
Material Notes	<input type="button" value="Modify/Show Notes..."/>
Weight and Mass	
Weight per Unit Volume	2.452E-05
Mass per Unit Volume	2.500E-09
Units	
	N, mm, C
Isotropic Property Data	
Modulus of Elasticity, E	12200
Poisson's Ratio, U	0.15
Coefficient of Thermal Expansion, A	1.100E-05
Shear Modulus, G	5304.3478
Other Properties for Concrete Materials	
Specified Concrete Compressive Strength, f'c	30

### 3.1.3 PROPIEDADES DE LAS BARRAS

Se definen las secciones que constituyen vigas y pilares y se asignan a las barras. Las secciones que vamos a definir son:

Tipo de barra	Nombre	Numeración	Ancho $b$ (m)	Canto o altura $h$ (m)
Viga de canto de cubierta	V35x40	8 y 10	0.35	0.40
Viga plana 1º planta	V60x28	7 y 9	0.60	0.28
Pilares laterales	P35x30	1 y 2 ; 5 y 6	0.35	0.30
Pilar central	P30x30	3 y 4	0.30	0.30

El canto es la dimensión que se aprecia al observar de frente (en alzado) la estructura, mientras que el ancho es la profundidad de la sección. Si se altera el ancho por el canto al introducir los datos en el programa, los resultados serán **distintos**, por lo que hay que prestar atención a este punto (cambia la inercia  $b \cdot h^3/12$  de la sección a  $h \cdot b^3/12$ ).

**Paso 1:** Se seleccionan las vigas de cubierta (barras 8 y 10) de sección  $(b \times h) = 0.35 \times 0.40$  m. Usamos la orden: *Assign* → *Frame* → *Frame Sections*. Se selecciona *Add New Property* y a continuación, en *Frame Section Property Type*, vamos a seleccionar en el menú desplegable *Concrete* y, en *Clic to Add a Concrete Section*, pulsamos *Rectangular*.

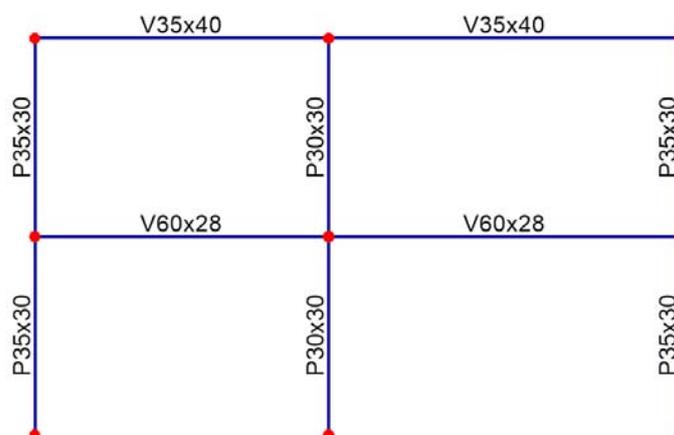


**Paso 2:** En el cuadro *Rectangular Section*, identificamos con un nombre la sección (por ejemplo V35 x 40). Se selecciona el material HA-30. Anotamos las dimensiones de la sección transversal:  $t_3 = 0.4$  m (*Depth*, canto, o dirección perpendicular al eje local 3 ó z; es la que se observa en el plano de la pantalla);  $t_2 = 0.35$  m (*Width*, ancho según la dirección perpendicular al eje local 2 ó y; es la dimensión en profundidad).

Se confirma la ventana OK y en la de *Frame Properties* se selecciona V35x40 (*Find this property*) para asignar la propiedad a las barras de cubierta.

**Paso 3:** Repetimos el proceso para el resto de las barras ( $b \times h$ ). La primera dimensión  $b$  es el valor de  $t_2$  o anchura y la segunda  $h$  es el valor de  $t_3$ , altura o canto de la sección. Seleccionamos las vigas planas de la 1º planta, de 0.60x0.28 m (V60x28), tecleamos nuevamente *Assign* → *Frame* → *Frame Sections* → *Add Copy of Property* y modificamos  $t_3 = 0.28$  y  $t_2 = 0.6$ . Tras confirmar, en *Frame Properties* se selecciona V60x28 (*Find this property*) para asignar la propiedad a las barras de la 1º planta.

A continuación se selecciona el pilar central de 0.30x0.30 m (P30x30), y por último los pilares laterales de 0.35x0.30 m (P35x30).



Para eliminar la visualización de los nombres de las secciones, pulsar F4 (*Show Undeformed Shape*) o teclear el icono .

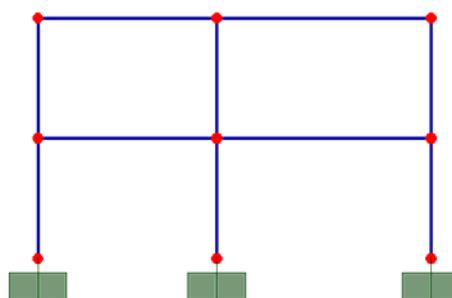
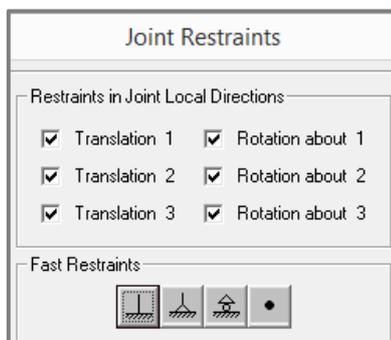
### 3.1.4 RESTRICCIONES (APOYOS)

En este apartado definimos los apoyos de la estructura o enlaces que fijan los nudos.

#### 3.1.4.1 Apoyos

Son los empotramientos de las bases de los pilares. Se restringen (son nulos) todos los movimientos posibles, las traslaciones según los ejes globales X, Y Z y los giros alrededor de los ejes anteriores. El programa asigna a cada nudo un sistema de **ejes locales** que por defecto tiene las direcciones de los ejes globales (1 = X, 2 = Y, 3 = Z).

Seleccionamos los nudos que constituyen las bases de los pilares y a continuación en el menú desplegable mediante *Assign* → *Joint* → *Restraints*, marcamos todas las casillas.



### 3.1.4.2 Estructura plana

Como la estructura es plana se restringen los siguientes movimientos de los nudos:

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

Usamos la orden *Analyze* → *Set Analysis Options* → *Available DOFs* (Grados de libertad al movimiento disponibles en general en los nudos). Son UX, UZ y RY (o lo que es lo mismo: teclear el icono *Plane Frame: XZ Plane*).

### 3.1.5 ACCIONES

#### 3.1.5.1 Generalidades

1. **Hipótesis de carga (*Load Pattern*)**: Conjunto de cargas que actúan a la vez sobre una estructura, es decir, como un conjunto. Por ejemplo: Carga permanente, Sobrecarga de uso, Nieve, Viento, Sismo, etc. Cualquiera de ellas podría a su vez desglosarse en varias hipótesis. Ejemplo: Viento derecha-izquierda, viento izquierda-derecha, etc. Las hipótesis de carga son:

Nº Hipótesis	Tipo	Denominación
<b>Hipótesis 1</b>	<i>Carga permanente (o peso propio)</i>	<b>G</b>
<b>Hipótesis 2</b>	<i>Sobrecarga de uso</i>	<b>S</b>
<b>Hipótesis 3</b>	<i>Nieve</i>	<b>N</b>
<b>Hipótesis 4</b>	<i>Viento - izq.der →</i>	<b>V1</b>
<b>Hipótesis 5</b>	<i>Viento - der.izq ←</i>	<b>V2</b>

2. **Tipos de Análisis de carga (*Load Cases*)**: Al calcular la respuesta de una estructura a las acciones, se define el tipo de análisis a efectuar (estático, dinámico, lineal, no lineal del material o geométrico) en cada hipótesis de carga. En este caso se efectúa:

*Cálculo estático, elástico, lineal y de 1º orden*

El nombre de las hipótesis de carga (*Pattern*) coincide con los casos de carga (*Case*).

3. **Combinaciones de carga (*Load Combinations*)**: Los tipos de *análisis de carga* se presentan con una determinada probabilidad de combinarse con otras cargas (son los valores representativos de las cargas variables). Por otra parte el CTE mayorará las hipótesis *de carga* con unos coeficientes en función del tipo de acción y de la situación de proyecto, etc. Se definen los coeficientes de simultaneidad  $\psi_i$  y de mayoración  $\gamma$ , cuyo producto es el factor final a aplicar a los tipos de carga.

Las combinaciones de carga seleccionadas en este trabajo son:

Nº	Variable principal	Combinación
1	S	$1.35 \cdot G + 1.50 \cdot S + 0.75 \cdot N$
2	S	$1.35 \cdot G + 1.50 \cdot S + 0.75 \cdot N + 0.90 \cdot V1$
3	S	$1.35 \cdot G + 1.50 \cdot S + 0.75 \cdot N - 0.90 \cdot V1$
4	+V1	$1.35 \cdot G + 1.50 \cdot V1 + 0.75 \cdot N + 1.05 \cdot S$
5	-V1	$1.35 \cdot G - 1.50 \cdot V1 + 0.75 \cdot N + 1.05 \cdot S$
6	-	Envolvente

- ❶ **V2** es de signo contrario a V1:  $V2 = -V1$
- ❷ **Envolvente del diagrama de momentos** (*Combination type “Envelope”*): No se trata de una combinación como las anteriores. Para el dimensionado, interesa conocer los valores extremos (máximos y mínimos) de los diagramas de esfuerzos de las barras en cada sección, para dimensionar la armadura para esos valores extremos.

El programa obtiene la envolvente de los esfuerzos para cada sección en el que se van a dividir las barras. Se define una combinación de carga (COMB 6) en la que el programa buscará los valores **máximo** y **mínimo** de los esfuerzos para cada sección, de entre las 5 combinaciones anteriormente definidas:

Nº Combinación	Tipo					Designación
	Comb1	Comb2	Comb3	Comb4	Comb5	
Combinación 6	1	1	1	1	1	COMB6

Con la orden *Load Combination type* → *Envelope*, se aplica el factor 1 a cada una de las 5 combinaciones.

### 3.1.5.2 Procedimiento

Paso 1: Definir las **hipótesis de carga**: *Define* → *Load Patterns...*

Load Pattern Name	Type	Self Weight Multiplier	Auto Lateral Load Pattern
G	DEAD	1	
S	OTHER	0	
N	OTHER	0	
V1	OTHER	0	

En la 1ª columna escribimos el nombre de las hipótesis, empezando por G. Se modifica el nombre por defecto *Dead* por G.

En la 2ª se anota el tipo de carga (no interviene en este cálculo).

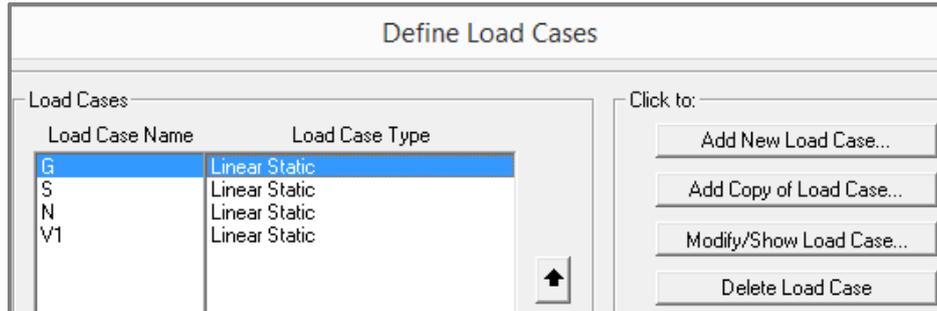
En la 3ª se escribe un coeficiente multiplicador del peso propio *Self Weight Multiplier*, según la dirección  $-Z$ , que es el **peso de la estructura** (vigas y pilares) que el programa calcula con la densidad del material y la sección definida para cada barra. El peso propio pertenece a la hipótesis G, y es nula para las cargas variables (S, N, V1).

Se confirman las modificaciones hechas a G con *Modify Load Pattern*.

Las siguientes hipótesis de carga, S, N, V1, se añaden a la lista con *Add New Load*. En la segunda columna, a las cargas variables, como *Type*, escribimos *OTHER*.

La hipótesis V2 no es necesario definirla, ya que es la hipótesis V1 pero cambiada de signo y para simplificar aplicada en el mismo nudo (cambio de la dirección del viento como acción global sobre la construcción).

Paso 2: Definir el tipo de análisis a efectuar que se encuentra relacionado con el tipo de acción que se trate. En nuestro caso se trata de un análisis estático elástico lineal. En el menú *Define* → *Load Cases...* (**casos de carga**), se abre el cuadro de diálogo.



Cambiamos el nombre de la primera *Load Case Name*, *DEAD* por *G*, mediante *Modify/Show Load Case...*, y se abrirá una ventana en la que no hay que cambiar nada más. Es decir, en *Loads Applied* debe figurar (así lo hace el programa) la misma hipótesis que en *Load Case Name* y así que **coincida** el nombre de la hipótesis (*Load Type*, *Load Pattern*) con el tipo de análisis (*Load Case*). Se aconseja revisar este punto si se han cometido errores al definir las hipótesis y los casos de carga.

Borramos el 2º *Load Case* (MODAL o modos de vibración) con *Delete Load Case*. Respecto a *S*, *N*, *V1*, no es necesario hacer nada.

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

- Se introduce la primera combinación, *COMB1*, y se anota el nombre en la casilla (*Load Combination Name*, aunque suele aparecer por defecto)
- En *Define Combinations of Load Case Results*, seleccionamos el primer caso de carga **G** *Load Case Name*, y su factor de carga **1.35** (*Scale Factor*)
- Tecleamos a continuación *Add*
- A continuación añadimos (*Add*) el caso **S** con su factor de mayoración **1.50**
- Finalizamos con la nieve **N** con un factor de **0.75**
- Se repite el método para el resto de las combinaciones
- Para simplificar la introducción de las combinaciones:

$$\text{COMB2 y COMB3: } 1.35 \cdot G + 1.50 \cdot S + 0.75 \cdot N \pm 0.75 \cdot V1 = \text{Comb1} \pm 0.75 \cdot V1$$

Se observa que para la hipótesis *V2 viento derecha - izquierda* basta para su definición considerar la hipótesis *V1* con **signo (-)**. Con ello cambiarán de sentido las cargas que se van a definir para la hipótesis *V1* y de esta forma, todos los resultados de *V1*: esfuerzos, deformaciones y reacciones; cambian simplemente de signo.

La *COMB3* y la *COMB5*, pueden escribirse como *Add Copy of Combo* de la *COMB2* y de la *COMB4* respectivamente, siendo necesario sólo cambiar el signo de *V1*.

**Paso 4:** Para definir la *COMB6* (en realidad no se trata de una combinación, sólo de un "atajo" en el cálculo para evitar tener que localizar manualmente los valores máximos/mínimos en cada sección de las 5 combinaciones definidas).

En *Load Combination Type*, se selecciona la opción **Envelope** que extrae los valores máximo y mínimo de cada esfuerzo para cada sección en que se haya dividido la barra de entre las hipótesis o combinaciones (en nuestro caso) de carga especificadas en *Define Combination of Load Case Results*. El factor multiplicador para cada una de las combinaciones es de 1.

### Define Load Combinations

Load Combinations:

- COMB1
- COMB2
- COMB3
- COMB4
- COMB5
- COMB6

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	1.5
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
COMB1	Combination	1.
COMB1	Combination	1.
V1	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
COMB1	Combination	1.
COMB1	Combination	1.
V1	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	1.35
G	Linear Static	1.35
S	Linear Static	1.05
N	Linear Static	0.75
V1	Linear Static	1.5

#### 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	1.35
G	Linear Static	1.35
S	Linear Static	1.05
N	Linear Static	0.75
V1	Linear Static	-1.5

#### Load Combination Data

Load Combination Name (User-Generated):

Notes:

Load Combination Type:

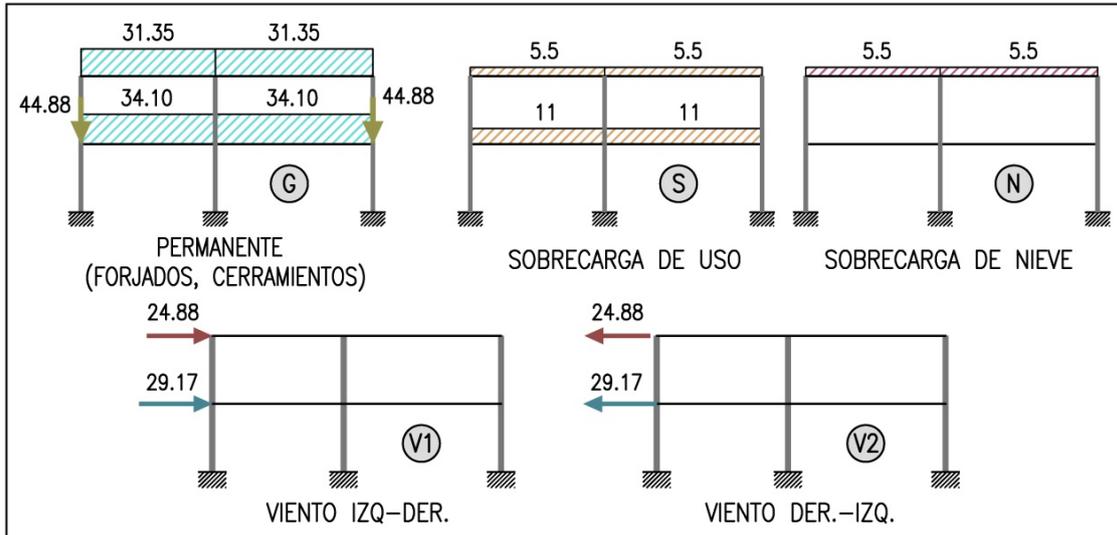
Options:

Define Combination of Load Case Results:

Load Case Name	Load Case Type	Scale Factor
COMB1	Combination	1.
COMB1	Combination	1.
COMB2	Combination	1.
COMB3	Combination	1.
COMB4	Combination	1.
COMB5	Combination	1.

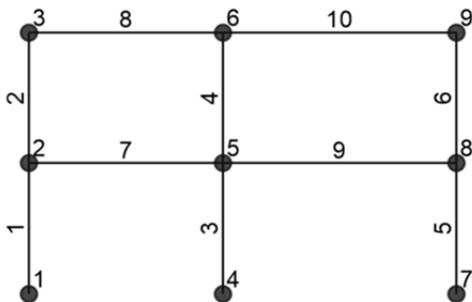
### Paso 5: Definición y asignación de las **cargas uniformes en barras**:

- Seleccionar la barra o barras sobre las que vamos definir una carga determinada
- Definir la dirección de la carga (gravitatorias según el eje global Z, viento: X)
- Definir el valor de la carga (signo negativo para las gravitatorias)
- Seleccionar la hipótesis a la que pertenece la carga definida



#### 5.1.- Cargas Permanentes G:

Se seleccionan las barras 8 y 10 (cubierta), desplegamos *Assign* → *Frame Loads* → *Distributed*, e introducimos una carga uniforme de **-31.35 kN/ml** según el eje **global Z** y que corresponde a la hipótesis **G**:

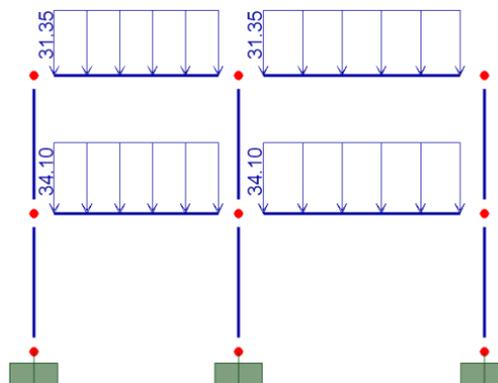


- **Load Pattern Name: G**
- **Units: KN, m, C**
- **Load Type and Direction: Forces**
- **Coord Sys: GLOBAL; Direction: Z**
- **Uniform Load: -31.35**

El programa dibuja la carga en las barras seleccionadas. Sólo representa las cargas pertenecientes a la misma hipótesis, bien las cargas en barra, o bien en nudo.

Si ha ocurrido algún error al introducir la carga, la corrección se hace directamente en el cuadro mediante *Options, Replace Existing loads*. Si utilizamos *Add to Existing Loads*, el programa añadirá la nueva carga a las existentes. Con *Delete Existing Loads* borramos todas las cargas existentes en la hipótesis actual y para la selección hecha.

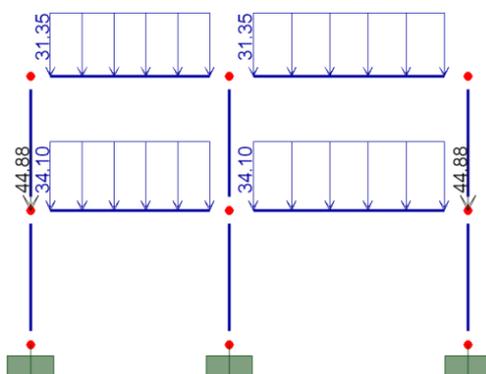
Repetimos seleccionando las barras 7 y 9 y aplicando la carga de  $-34.10$  kN/m.



Para visualizar las cargas uniformes, teclear en *Display* → *Show Load Assigns* → *Frame/Cable/Tendon*; si son cargas puntuales *Joints*. Se representa cada vez una hipótesis.

#### Definición y asignación de las cargas en nudos:

El peso de los cerramientos exteriores se aplica como cargas puntuales en los nudos extremos de la 1ª planta (nudos 2 y 8). La introducción de cargas puntuales, después de seleccionar ambos nudos, se realiza mediante la orden *Assign* → *Joints Loads* → *Forces*. Los pasos son similares a la carga uniforme:



- **Load Pattern Name: G**
- **Units: KN, m, C**
- **Force Global Z**
- **Valor de la carga: -44.88 kN**

**Paso 6:** Las cargas de las hipótesis de sobrecarga de uso S y nieve N son (*Assign* → *Frame* → *Frame Loads* → *Distributed*):

Cubierta (ambas hipótesis)	Barra 8 y 10:	-5.5 kN
1º Planta. Sobrecarga de uso	Barra 7 y 9:	-11 kN

**Paso 7:** Se introducen las cargas puntuales debidas a la acción del viento V1, que siguen la dirección del eje X positivo (*Assign* → *Joints Loads* → *Forces*):

Cubierta:  
1º planta

Nudo 3: 24.88 kN  
Nudo 2: 29.17 kN

### Sobrecarga de uso:

Vigas 8 y 10

Frame Distributed Loads	
Load Pattern Name + S	Units KN, m, C
Load Type and Direction <input checked="" type="radio"/> Forces <input type="radio"/> Moments Coord Sys GLOBAL Direction Z	Options <input type="radio"/> Add to Existing Loads <input checked="" type="radio"/> Replace Existing Loads <input type="radio"/> Delete Existing Loads
Trapezoidal Loads	
Distance	1. 0. 2. 0.25 3. 0.75 4. 1.
Load	0. 0. 0. 0.
<input checked="" type="radio"/> Relative Distance from End-I <input type="radio"/> Absolute Distance from End-I	
Uniform Load Load -5.5	
OK Cancel	

Vigas 7 y 9

Frame Distributed Loads	
Load Pattern Name + S	Units KN, m, C
Load Type and Direction <input checked="" type="radio"/> Forces <input type="radio"/> Moments Coord Sys GLOBAL Direction Z	Options <input type="radio"/> Add to Existing Loads <input checked="" type="radio"/> Replace Existing Loads <input type="radio"/> Delete Existing Loads
Trapezoidal Loads	
Distance	1. 0. 2. 0.25 3. 0.75 4. 1.
Load	0. 0. 0. 0.
<input checked="" type="radio"/> Relative Distance from End-I <input type="radio"/> Absolute Distance from End-I	
Uniform Load Load -11	
OK Cancel	

### Nieve:

Vigas 8 y 10

Frame Distributed Loads	
Load Pattern Name + N	Units KN, m, C
Load Type and Direction <input checked="" type="radio"/> Forces <input type="radio"/> Moments Coord Sys GLOBAL Direction Z	Options <input type="radio"/> Add to Existing Loads <input checked="" type="radio"/> Replace Existing Loads <input type="radio"/> Delete Existing Loads
Trapezoidal Loads	
Distance	1. 0. 2. 0.25 3. 0.75 4. 1.
Load	0. 0. 0. 0.
<input checked="" type="radio"/> Relative Distance from End-I <input type="radio"/> Absolute Distance from End-I	
Uniform Load Load -5.5	
OK Cancel	

### Viento

Nudos 3 y 2

Joint Forces	
Load Pattern Name + V1	Units KN, m, C
Loads Force Global X 24.88 Force Global Y 0. Force Global Z 0. Moment about Global X 0.	Coordinate System GLOBAL Options <input type="radio"/> Add to Existing Loads <input checked="" type="radio"/> Replace Existing Loads

Joint Forces	
Load Pattern Name + V1	Units KN, m, C
Loads Force Global X 29.17 Force Global Y 0.	Coordinate System GLOBAL

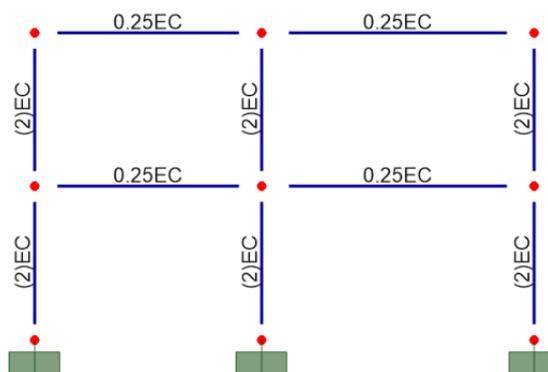
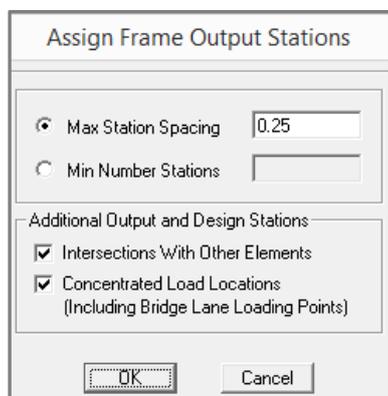
### Paso 7: Secciones en las barras (*Stations*)

La salida de resultados de esfuerzos la realiza el programa en los extremos de barras y secciones intermedias de las barras separadas a una distancia constante.

Para obtener con suficiente precisión el máximo flector positivo o de vano, o la longitud de la viga sometida a flector positivo o bien negativo, se va a dividir la barra en un número suficiente de secciones para poder precisarlo. La longitud de cada tramo puede ser, *por ejemplo*, de 0.25 m. Para ello dividimos la longitud L de la barra por 0.25:  $L/0.25$ , se redondea el resultado y se le suma 1 (el N° de secciones es el N° de segmentos o tramos más 1). En este caso:

- Jácenas de L = 6 m de ( $6/0.25 = 24$  tramos). Son 25 secciones (*Stations*).
- Jácenas de L = 5 m de ( $5/0.25 = 20$  tramos). Son 21 secciones.
- Pilares: un tramo (2 secciones). La ley de flectores es lineal y basta con conocer los momentos en los extremos.

Se seleccionan las jácenas y mediante la orden *Assign* → *Frame* → *Output Stations*, especificamos *Max Station Spacing* = 0.25 m. Se seleccionan los pilares y se anota: *Min Number Stations* = 2.



## 3.2 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 de la ventana **Run Now**. Para más información consultar 1.2

## 3.3 Obtención de resultados

Los resultados en los programas pueden gestionarse de dos formas:

- **Gráficos** sobre un dibujo de la estructura calculada. Captura directa mediante las teclas *Alt impr Pant*, o con *File* → *Capture Picture*, que permite crear un fichero “jpg”.
- **Listados**: Se obtiene una relación de resultados de esfuerzos (o de parte si se ha efectuado una preselección). Con ellos realizaremos el dimensionado de la armadura longitudinal (flexor y axil) y transversal (cortante).

### 3.3.1 INFORMACIÓN GRÁFICA

**Deformada**: aparece al finalizar un cálculo. Se selecciona mediante el menú de *Display* → *Show Deformed Shape* ó F6. No es necesaria en este trabajo. Las flechas tienen un interés más cualitativo que cuantitativo. Pueden diferir bastante de las reales, ya que la fisuración en las vigas disminuye su rigidez e incrementa la deformación.

**Reacciones**: *Display* → *Show Forces/Stresses* → *Joints* aparecerán los valores numéricos de las reacciones y si se activa *Arrow*, una flecha que refleja su dirección y sentido. Se selecciona para cualquier hipótesis o combinación de carga. Se utilizan para el cálculo de la cimentación. En ELU se dimensiona la armadura de la cimentación y en ELS se efectúan las comprobaciones de vuelco, deslizamiento y tensión del terreno.

**Esfuerzos**: En el menú: *Display* → *Show Forces/ Stresses* → *Frames/Cables*, se selecciona la hipótesis o combinación, esfuerzo, factor de escala.

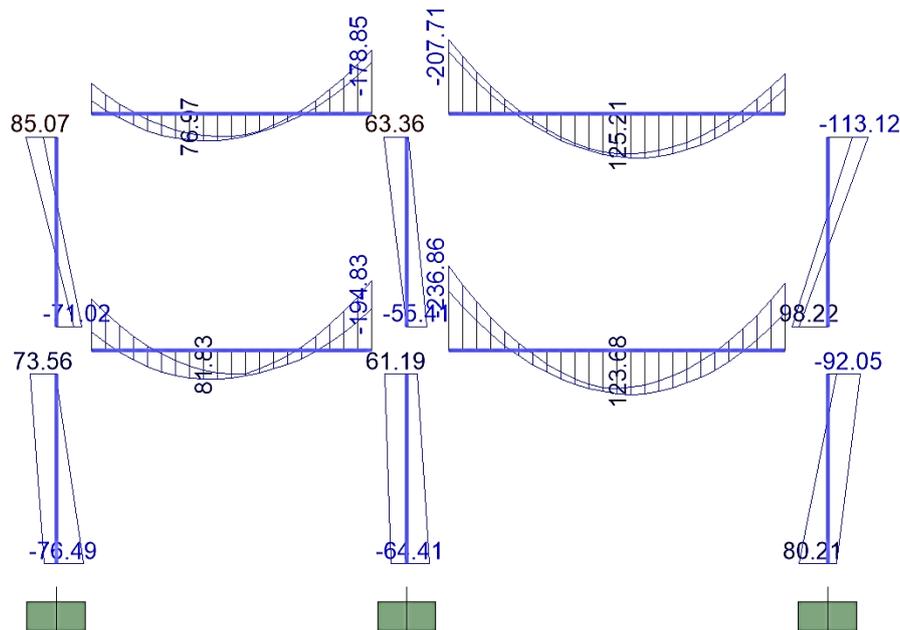
Podemos dejar que SAP2000 escale el dibujo (*Scaling, Auto*) o bien asignar un factor de escala concreto.

El dibujo puede ser un dibujo a color del diagrama (*Fill Diagram*), o una gráfica con líneas indicando los valores de los esfuerzos (*Show Values on Diagram*).

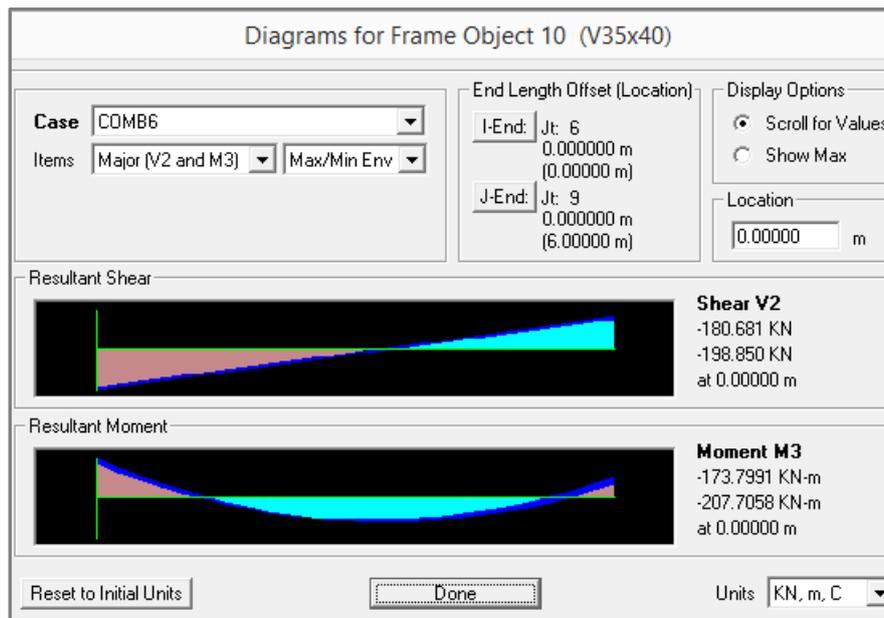
El esfuerzo más relevante es el diagrama de momentos de la **combinación 6 o envolvente**.

Se aprecian dos curvas por barra. El programa muestra los valores extremos: el valor máximo y el valor mínimo entre las cinco combinaciones definidas. Por supuesto no significa que el programa deba soportar dos fletores simultáneos, sino que según la situación límite o combinación, la sección trabaja entre esos dos valores. En algunas secciones existe un flector máximo positivo y otro negativo (tramo de cambio de signo del momento), en otras son del mismo signo (apoyos y centro del vano).

En cuanto a valores, el programa muestra en la gráfica el mayor valor positivo y el mayor valor negativo de cada barra.



Cualquier esfuerzo a lo largo de una barra y su abscisa puede conocerse gráficamente con sólo pinchar encima de la barra en cuestión con el botón derecho del ratón, que en el caso de la envolvente, consiste en los dos valores mencionados por sección.



En la Figura se registran los esfuerzos para la barra 10 (2ª vano, cubierta) perteneciente a la combinación 6 (envolvente). Las opciones son las siguientes:

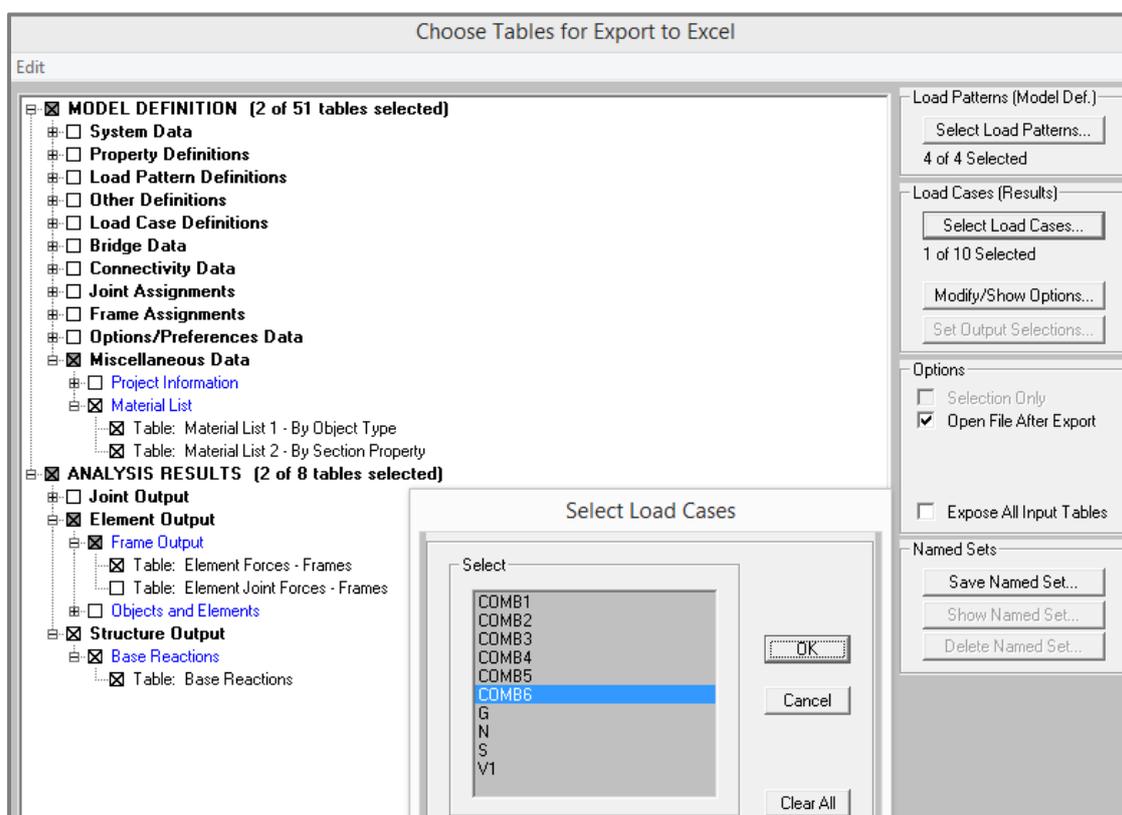
- *Case*: Hipótesis o combinación que deseamos analizar
- *Items*: Esfuerzos que se desea representar (V2 y M3 o flexión simple vertical, P o axil)
- Para combinaciones tipo *Add* (combinación lineal) expone un único valor (*single valued*). En combinaciones tipo *envelope* (COMB6), podemos obtener los máximos y mínimos en el mismo diagrama, o bien sólo los máximos o sólo los mínimos.
- *Display Options*: Obtener los máximos para cada caso, o el esfuerzo en una abscisa.
- *Shear V2* (Cortante), *Moment M3*: Desplazando la barra vertical se obtienen los esfuerzos en la sección en la que nos situamos.

Para la metodología de dimensionado expuesta en la publicación *Curso de hormigón armado*, este gráfico es útil para revisar el cálculo, pero se trabajará con los listados.

### 3.3.2 OBTENCIÓN DE LISTADOS

Mediante *File* → *Print Table* podemos obtener un fichero **rtf** (compatible con Word) con los datos o resultados del cálculo. Podemos listar todos los objetos o bien realizar una selección previa de nudos o barras. Seleccionamos las jácenas de 6 m (barras 9 y 10).

La opción más interesante puede ser exportar la tabla como fichero Excel: *File* → *Export* → *SAP 2000 MS Excel Spreadsheet.xls File*, ya que pueden manipularse los datos posteriormente con el programa (cálculos, gráficos, etc.). Los decimales deben definirse con "." no con ",", en la configuración de Windows del ordenador o en Excel. Para el hormigón armado es una buena herramienta ya que puede facilitar el cálculo de la distribución del armado a lo largo de la viga.



El cuadro presenta entre otras las siguientes posibilidades:

1) Las opciones que se han activado para obtener sólo los valores máximos (positivos o negativos), que son los de la combinación 6, han sido:

- *Analysis Cases* (Casos de carga y combinaciones): Se selecciona sólo la COMB6.
- *Output Type* (Formato de salida): RTF (fichero compatible con Microsoft Word).
- *Print Landscape*: Listar los resultados con la página en apaisado (a lo ancho) ya que algunos resultados podrían visualizarse de forma incómoda al ser el ancho total de la tabla mayor que el ancho de una página DIN A4 dispuesta en vertical.
- Al realizar una selección previa (barras 9 y 10) antes de activar la tabla, podemos obtener los resultados sólo de la selección mediante *Selection Only*.

2) Los resultados de interés en este trabajo son:

- \* **Material List** (peso de barras y de la estructura): El peso de la estructura tiene interés en la verificación de las reacciones (se conoce el peso propio que el programa evalúa). En el cuadro aparece, para cada tipo de sección, el número de vigas de cada tipo, la longitud total y el peso.
- \* **Base Reactions** (reacciones totales de la estructura). La obtención de las reacciones totales en apoyos según los ejes globales, puede utilizarse para realizar una verificación de los resultados y detectar errores fundamentalmente en la introducción de cargas.
- \* **Element Forces: Frame** (esfuerzos en barras: flector, axil y cortante).

### 3.3.3 FLECTORES EN LAS JÁCENAS

Necesarios para dimensionar la armadura longitudinal. Se han tabulado los flectores para las jácenas de la 1º planta (7, 9) y de cubierta (8, 10).

Se toman los resultados de la **COMB 6** (*Select Analysis Case*) que proporciona los momentos M3 de mayor magnitud (**Envolvente**). Cada sección tiene dos valores que son extremos.

En negrita se han resaltado los flectores más determinantes en el dimensionado: negativos en extremos de jácena y positivos en la parte central del vano.

Al analizar para la viga 9, respecto al armado de refuerzo:

- Entre [1 ; 5.5] se debe colocar armadura de positivos o en la cara inferior
- En los tramos entre [0 , 1.50] y [4.75 , 6] se debe disponer armadura de negativos o en la cara superior

En el caso de la viga 10, respecto al armado de refuerzo:

- Entre [1 ; 5.5] se debe colocar armadura de positivos o en la cara inferior
- En los tramos entre [0 , 1.50] y [5.00 , 6] se debe disponer armadura de negativos o en la cara superior.

En todo caso se recomienda en las vigas disponer armadura en la cara opuesta a la de tracción, lo que queda garantizado con la armadura básica o de montaje.

Si el número de secciones definidas (*Stations*) es mayor, la separación es inferior a los 0.25 m, y el ajuste de los tramos de momento positivo o negativo puede ser más preciso. Además puede ser más ajustada la distribución de un armado variable longitudinal a lo largo de la viga.

Los **axiles** de las jácenas se suelen despreciar, dado su escaso valor e influencia, además de la posible colaboración de los forjados.

JÁCENAS DE CUBIERTA							
Frame Text	Station m	M3(max) KN-m	M3(min) KN-m	Frame Text	Station m	M3(max) KN-m	M3(min) KN-m
<b>8</b>	0.00	-36.77	<b>-85.07</b>	<b>10</b>	<b>0.00</b>	-173.80	<b>-207.71</b>
	0.25	-10.12	-54.20		0.25	-130.41	-159.85
	0.50	12.98	-26.88		0.50	-90.57	-116.57
	0.75	32.53	-3.12		0.75	-54.28	-77.10
	1.00	48.53	17.09		1.00	-21.55	-41.19
	1.25	60.97	33.75		<b>1.25</b>	7.63	-8.82
	1.50	69.85	46.86		1.50	33.26	19.98
	1.75	75.19	56.41		1.75	55.49	45.24
	<b>2.00</b>	<b>76.97</b>	62.40		2.00	75.48	66.94
	2.25	76.08	64.85		2.25	91.76	85.09
	2.50	71.51	63.74		2.50	104.34	99.68
	2.75	63.24	59.07		2.75	114.79	108.09
	3.00	52.64	48.55		3.00	121.85	112.39
	3.25	39.48	32.56		<b>3.25</b>	<b>125.21</b>	113.14
	3.50	23.76	13.02		3.50	124.87	110.34
	3.75	4.88	-10.07		3.75	120.81	103.99
	4.00	-17.55	-36.72		4.00	113.05	94.08
	4.25	-43.53	-66.92		4.25	102.34	80.61
	4.50	-73.07	-100.68		4.50	88.51	63.60
	4.75	-106.16	-137.98		4.75	71.12	43.03
5.00	-142.81	<b>-178.85</b>	5.00	50.18	18.91		
				<b>5.25</b>	25.68	-8.77	
				5.50	-2.37	-40.00	
				5.75	-33.97	-74.79	
				<b>6.00</b>	-69.12	<b>-113.12</b>	
JÁCENAS DE LA PRIMERA PLANTA							
Frame Text	Station m	M3(max) KN-m	M3(min) KN-m	Frame Text	Station m	M3(max) KN-m	M3(min) KN-m
<b>7</b>	0.00	-51.20	<b>-144.59</b>	<b>9</b>	<b>0.00</b>	-167.72	<b>-236.86</b>
	0.25	-20.89	-105.75		0.25	-123.16	-183.59
	0.50	5.48	-70.86		0.50	-82.54	-136.77
	0.75	27.90	-39.92		0.75	-45.87	-93.91
	1.00	46.37	-12.93		1.00	-13.15	-54.99
	1.25	60.89	10.12		<b>1.25</b>	15.62	-20.02
	1.50	71.47	29.22		1.50	40.45	11.00
	1.75	78.10	44.38		1.75	61.33	38.07
	2.00	81.19	55.59		2.00	80.37	61.20
	<b>2.25</b>	<b>81.83</b>	62.85		2.25	95.88	80.39
	2.50	78.22	66.17		2.50	107.13	95.62
	2.75	70.58	65.16		2.75	115.03	105.39
	3.00	63.57	52.06		3.00	121.49	106.54
	3.25	52.44	35.01		<b>3.25</b>	<b>123.68</b>	103.74
	3.50	39.97	14.02		3.50	121.63	97.00
	3.75	23.55	-10.93		3.75	115.31	86.30
	4.00	3.19	-39.81		4.00	104.74	71.67
	4.25	-21.12	-72.65		4.25	91.77	53.08
	4.50	-49.38	-109.43		4.50	75.43	30.55
	4.75	-81.58	-150.16		4.75	55.15	4.07
5.00	-117.73	<b>-194.83</b>	<b>5.00</b>	30.92	-26.35		
				5.25	2.74	-60.72	
				5.50	-29.38	-99.04	
				5.75	-65.45	-141.30	
				<b>6.00</b>	-105.46	<b>-187.51</b>	

### 3.3.4 CORTANTES EN LAS JÁCENAS

Las comprobaciones de cortante que deberán efectuarse son:

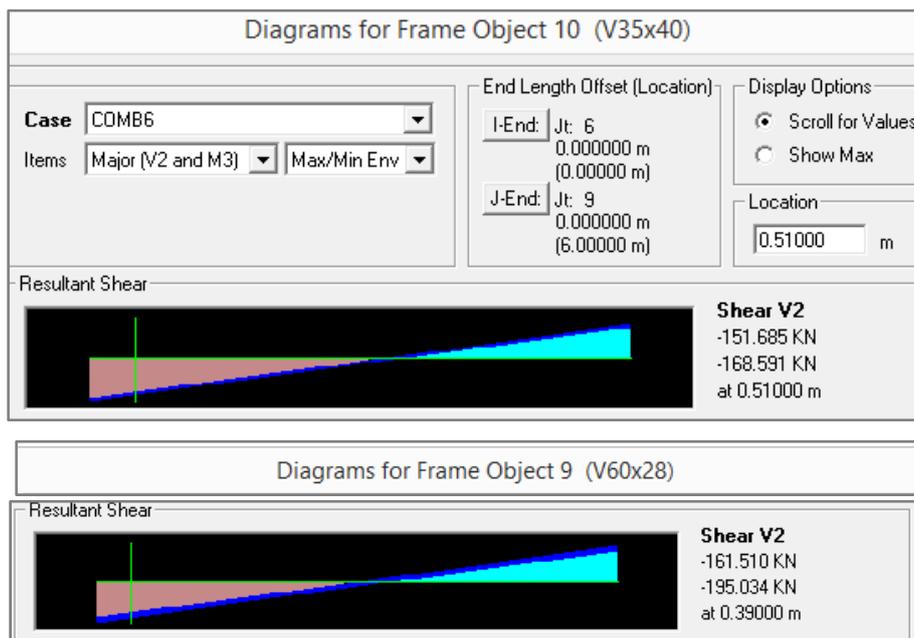
- Compresión oblicua del alma  $V_{u1}$ : cortante en el borde del apoyo  $V_{d1}$
- Tracción en el alma  $V_{u2}$ : cortante a un canto útil del borde del apoyo  $V_{d2}$ . Se dimensiona la armadura transversal, formada por estribos

Se analizan las vigas de 6 m, que son las que presentan los mayores cortantes. Las vigas de 5 m dispondrán de idéntico armado transversal que la viga adyacente de 6 m.

Las distancias para obtener  $V_{d1}$  y  $V_{d2}$  en cada extremo de las vigas, son:

- Borde del apoyo:  $h_{\text{pilar}}/2 = 0.30/2 = 0.15 \text{ m}$  ; 5.85 m
- Canto útil más borde del apoyo:  $h_{\text{pilar}}/2 + d_{\text{viga } 10} = 0.15 + 0.36 = 0.51 \text{ m}$ ; 5.49 m  
 $h_{\text{pilar}}/2 + d_{\text{viga } 9} = 0.15 + 0.24 = 0.39 \text{ m}$ ; 5.61 m

En lugar de trabajar con los listados, podemos obtener el cortante en las secciones anteriores chequeando las barras en las gráficas de esfuerzos (pulsar con el botón derecho del ratón sobre las barras). Se consulta el *Shear 2-2*. Entre ambos extremos, escogemos el valor mayor del cortante. Por ejemplo, para la viga 10 de cubierta, COMB6, *Location* = 0.51 m, el cortante  $V_{d2,\text{max}} = -168.59 \text{ kN}$ . Para la viga plana de la 1º planta, Comb6, *Location* = 0.51 m, el cortante  $V_{d2,\text{max}} = -168.59 \text{ kN}$ .



El valor en el eje, V2, no es necesario, pero se adjunta para comparar con los otros valores, netamente inferiores. El signo del cortante no influye en el dimensionado de los cercos.

	$h/2 + d$ m	$V_{d2}$ kN	$h/2$ m	$V_{d1}$ kN	EJE m	V2 kN
Cubierta, viga 10	0.51	<b>168.59</b>	0.15	189.95	0	198.85
	5.49	134.51	5.85	155.87	6	164.77
1º planta, viga 9	0.39	<b>195.03</b>	0.15	211.38	0	221.59
	5.61	175.29	5.85	191.63	6	201.85

### 3.3.5 SOPORTES

Se utilizarán los listados de las 5 combinaciones, pero no puede utilizarse la COMB 6:

- El axil y el flector varían linealmente. Sólo son necesarias las secciones extremas.
- La combinación *envolvente* proporciona el máximo axil (N) y el máximo flector (M) en una sección, por lo que pueden pertenecer a combinaciones distintas. **No podemos** utilizar esos valores para el dimensionado, ya que los esfuerzos **deben pertenecer a la misma combinación**.
- La peor combinación puede ser la de mayor axil, o mayor momento u otra que sin existir un máximo los valores sean elevados.

En general se deberían comprobar todas las combinaciones. Con una seguridad razonable, dado que el axil no es elevado, buscamos la combinación entre las cinco definidas que proporcione el mayor flector, la acompañamos de su axil y dimensionamos la sección.

Los esfuerzos para el soporte lateral izquierdo inferior (barra 1) son:

Station	OutputCase	P	V2	M3
m	Text	kN	kN	kN·m
0	COMB1	-439.59	27.50	29.09
3.4	COMB1	-427.77	27.50	-64.41
0	COMB2	-450.84	42.70	61.14
3.4	COMB2	-439.03	42.70	-84.04
0	COMB3	-428.34	12.30	-2.95
3.4	COMB3	-416.52	12.30	-44.78
0	COMB4	<b>-437.41</b>	<b>50.67</b>	80.21
3.4	COMB4	-425.59	50.67	<b>-92.05</b>
0	COMB5	-399.91	0.00	-26.61
3.4	COMB5	-388.09	0.00	-26.61
Axil de cálculo $N_d$		$M_{d2}$ en la base		$M_{d1}$ en cabeza
-437.41 kN		80.21 kN·m		-92.05 kN·m

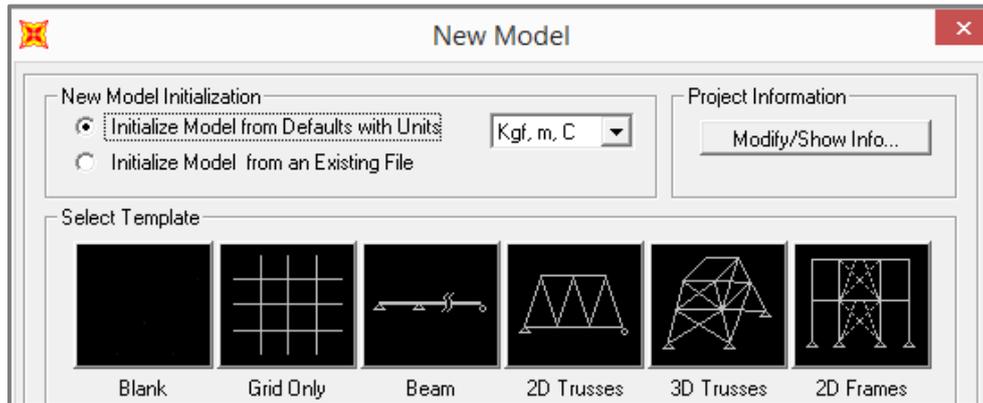
Para la comprobación a cortante se selecciona el mayor valor, ya que éste es constante a lo largo de la barra.

## 4.- CERCHA DE MADERA

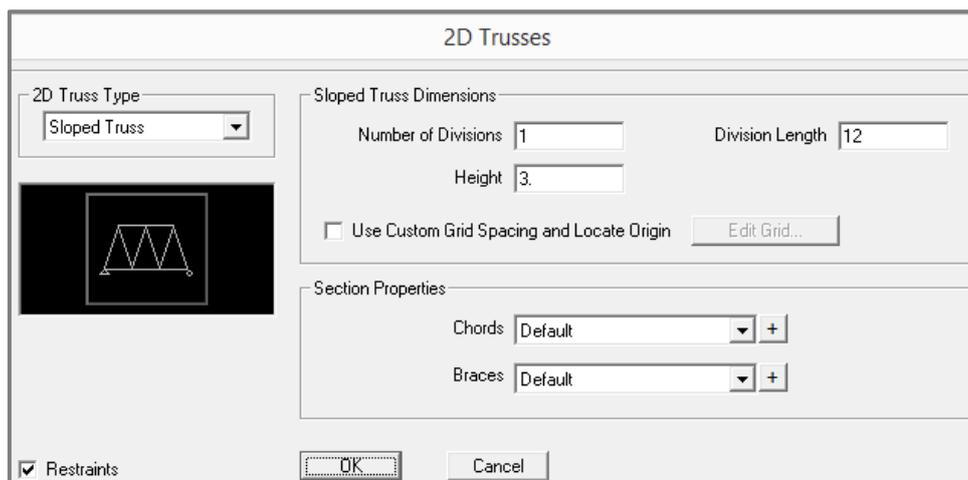
### 4.1 Datos necesarios para el cálculo

#### 4.1.1 GEOMETRÍA

Vamos a describir a continuación un posible procedimiento para generar la geometría.



**Paso 1:** Seleccionar *File* → *New Model* (unidades: kgf, m, C). Entre los prototipos existentes (*Select Template*), vamos a seleccionar *2D Trusses*.



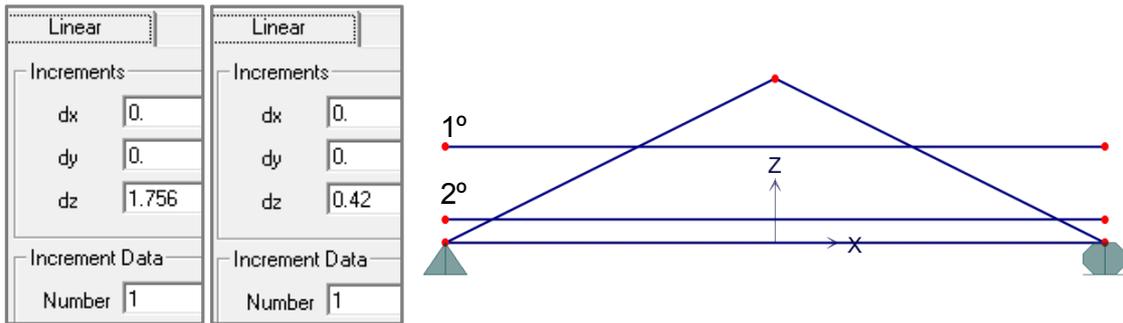
**Paso 2:** En *2D Truss Type*, se selecciona *Sloped Truss*: *Number of Divisions* (tramos): 1; *Division Length* (longitud del tramo): 12; *Height* (altura): 3. Conservamos *Restraints* que consiste en disponer un apoyo fijo a la izquierda y deslizante a la derecha.

Aparecerán en pantalla 3 barras, que son el cordón inferior y los superiores, en dos ventanas. Cerramos la que está en perspectiva (*3-D View*). La otra pertenece al plano **global** XZ (X: eje horizontal, Z: eje vertical).

Aparecen unas líneas y letras grises que son una malla o rejilla de referencia (*Grid*) para operar con la estructura. Con *View* → *Show Grid* eliminamos su visualización.

**Paso 3:** Vamos a construir las diagonales y el montante con un par de líneas auxiliares:

- Se selecciona el cordón inferior y con la orden *Edit* → *Replicate*.  $dz = 1.756$  se traza una 1ª paralela que corta los cordones superiores en la unión a la diagonal.
- Repetimos la selección del cordón inferior y se traza la 2ª paralela con la orden *Replicate*:  $dz = 0.42$



La tecla  permite en *Joints* → desactivar *Invisible*, para visualizar los nudos

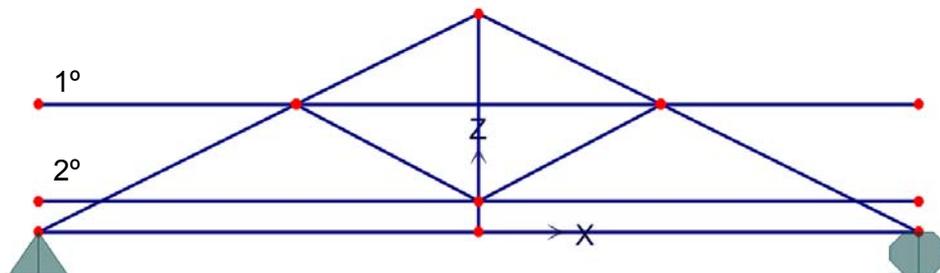
Paso 4: Activamos el 2° y 3° botón de la regleta a la izquierda de la pantalla, que permite seleccionar *Ends and Midpoints* (2°) e *Intersections* (3°)

Paso 5: Dibujamos las barras con la tecla *Draw Frame/Cable Element*

El cursor se cambia a una flecha vertical ↑.

- Para dibujar la **diagonal** izquierda y derecha, pinchamos (botón izquierdo del ratón) en la intersección de la 1° línea auxiliar a la izquierda, continuamos con el punto medio de la 2° línea auxiliar y acabamos en la intersección de la 1° línea auxiliar a la derecha. Se termina pulsando el botón derecho del ratón.
- Para dibujar el **herraje** y el **montante**, se pincha en el punto medio del cordón inferior y de la 2° línea de referencia, continuando hasta el nudo de cumbre.

Pulsamos la tecla *Set Select Mode* para volver al modo normal de edición



Se borran las líneas de referencia (se seleccionan y presiona la tecla *Supr* del teclado). Se desactivan el 2° y 3° botón de la regleta a la izquierda de la pantalla.

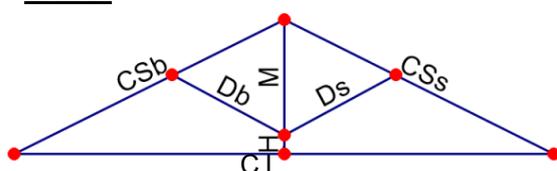
Paso 6 (Optativo): Se ha modificado la numeración (no es obligatorio), pinchando sobre el nudo o barra con el botón derecho del ratón, modificando el cuadro que aparece en *Identification Label, Update Display*. En todo caso, un proyecto debe acompañarse con la numeración de nudos y barras.

Cordón superior barlovento: **CSb** ; sotavento: **CSs** ; Cordón inferior: **CI**

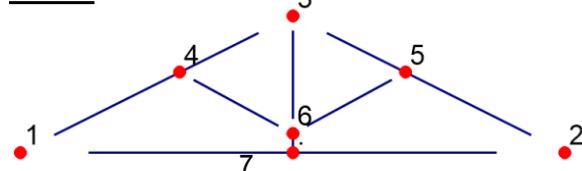
Diagonal barlovento: **Db** ; sotavento: **Ds** ; Montante: **M**

Herraje: **H**

Barras



Nudos



La tecla  activa la visualización de la numeración de nudos y pilares (*Labels*)

La tecla  separa la barra del nudo *Shrink Objects* para mejorar la visibilidad.

El extremo de la diagonal, si bien no pertenece al cordón superior, el programa interpreta que es una unión y se transmiten esfuerzos entre las barras unidas. Ambos cordones se componen de dos tramos o segmentos con continuidad.

**Paso 5:** Guardar en un fichero el trabajo con un *nombre* mediante *File* → *Save*. Se generan dos ficheros: **“Nombre”.sdb** y **“Nombre”.\$2k**. El primero contiene todos los datos para el cálculo y de configuración (formato, gráficos, etc.) y el segundo sólo los estrictamente necesarios para el cálculo (se maneja con un editor de texto).

#### 4.1.2 PROPIEDADES DEL MATERIAL

##### 4.1.2.1 Acero del herraje

Se definen las propiedades mecánicas del acero a utilizar.

**Paso 1:** Tecleamos *Define* → *Materials* → *Add New Material*

En el cuadro, se pueden definir sólo las variables necesarias para este cálculo:

- *Material Name*: por ejemplo, S275JR.
- *Peso por unidad de volumen (Weight per Unit Volume)*: 7850 kg/m<sup>3</sup> (Uds. Kgf, m).
- *Módulo de deformación (Modulus of Elasticity, E)*: 2.1·10<sup>10</sup> kg/m<sup>2</sup> se escribe 2.1E10<sup>10</sup>
- 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* ( $G = E/[2 \cdot (1 + U)] = 8.08 \cdot 10^9$  kg/m<sup>2</sup>) para evaluar las deformaciones debidas al cortante

Material Property Data	
General Data	
Material Name and Display Color	S275JR 
Material Type	Steel
Material Notes	<input type="button" value="Modify/Show Notes..."/>
Weight and Mass	
Weight per Unit Volume	7850
Mass per Unit Volume	800.4772
Units	
	Kgf, m, C
Isotropic Property Data	
Modulus of Elasticity, E	2.100E+10
Poisson's Ratio, U	0.3
Coefficient of Thermal Expansion, A	1.200E-05
Shear Modulus, G	8.077E+09
Other Properties for Steel Materials	
Minimum Yield Stress, Fy	27500000

##### 4.1.2.2 Madera

La madera es un material ortotrópico, siendo necesaria para su definición completa introducir 3 valores del módulo de elasticidad ( $E_1, E_2, E_3$ ), 3 coeficientes de Poisson ( $\mu_{12}, \mu_{13}, \mu_{23}$ ) y 3 módulos de rigidez transversal o cortante ( $G_{12}, G_{13}, G_{23}$ ).

En nuestro análisis plano sólo son necesarios los valores de  $E_1$  y  $G_{12}$ . El primero tiene en cuenta las deformaciones debidas al axil y flector y el segundo contabiliza las deformaciones por cortante.

En un material isotrópico el programa solicita  $E_1$  y  $\mu_{12}$  Se obtiene  $G_{12}$  a partir de ellos :

$$G_{12} = \frac{E_1}{2 \cdot (1 + \mu_{12})}$$

Sin embargo esta relación no es válida para un material ortotrópico, ya que para unos valores de  $E_1$  y  $G_{12}$  como los que tiene la madera (en coníferas  $E/G \approx 16$ ), el coeficiente de Poisson es  $\mu > 0.5$ , valor inadmisibile.

Paso 1: Activar *Define* → *Materials* → *Add New Material* → *Switch To Advanced Property Display* (parte inferior de la ventana).

Paso 2: En la siguiente pantalla introducimos:

- *Material Name:* MADC24 (nombre para designar una madera C24)
- *Material Type:* Other
- *Directional Symmetry Type:* Orthotropic

Pulsar *Modify/Show Material Properties*

Paso 3: Aparece un cuadro amplio donde introduciremos las propiedades de una madera C24. Las unidades serán *kg* y *m*. Las propiedades necesarias para el cálculo son:

- Densidad:  $\rho_m = 420 \text{ kg/m}^3$  o densidad media de la madera que se utilizará para calcular el peso propio de la estructura
- Módulo de elasticidad en dirección local 1 o eje *x*:  $E = 1.1 \cdot 10^9 \text{ kg/m}^2$
- Módulo de rigidez transversal en el plano 12 (*xz*):  $G_{12} = 6.9 \cdot 10^7 \text{ kg/m}^2$

El resto de propiedades, aunque se han introducido, no son utilizadas en el cálculo.

#### 4.1.3 PROPIEDADES DE LAS BARRAS

Paso 1: Se definen las barras de la celosía. Los perfiles son (*m*):

Tipo de barra	Denominación	Designación	t3	t2	Material
Cordón superior	Par	R24x18	0.24	0.18	MADC24
Cordón inferior	Tirante				
Montante	Pendolón				
Diagonales	Codal	C18x18	0.18	0.18	
Herraje		PL2x6x80	0.08	0.012	S275JR

**Paso 2 :** Definir y asignar a la vez las propiedades: Se seleccionan el cordón superior, el inferior y el montante. Abrimos la orden *Assign* → *Frame* → *Frame Sections* → *Add New Property* → *Frame Section Property Type = Concrete* y se escribe (m):

**Section Name:** R24x18  
**Material:** MADC24  
**Outside Depth (canto):**  $t_3 = 0.24$   
**Outside Width (ancho):**  $t_2 = 0.18$

**Nota:** la barra se coloca de canto. En una vista frontal o en alzado muestra su dimensión mayor (24 cm).

La vista de la sección en el recuadro cuadrículado se actualiza pinchando en él.

Las secciones macizas se definen como hormigón (*concrete*) lo que no afecta al cálculo.

Si tecleamos *Sections Properties*, se consultan las propiedades mecánicas de esta sección calculadas a partir de las dimensiones geométricas.

**Paso 3:** Tras seleccionar los codales o diagonales, repetimos la orden para asignar la sección cuadrada de 0.18x0.18 m.

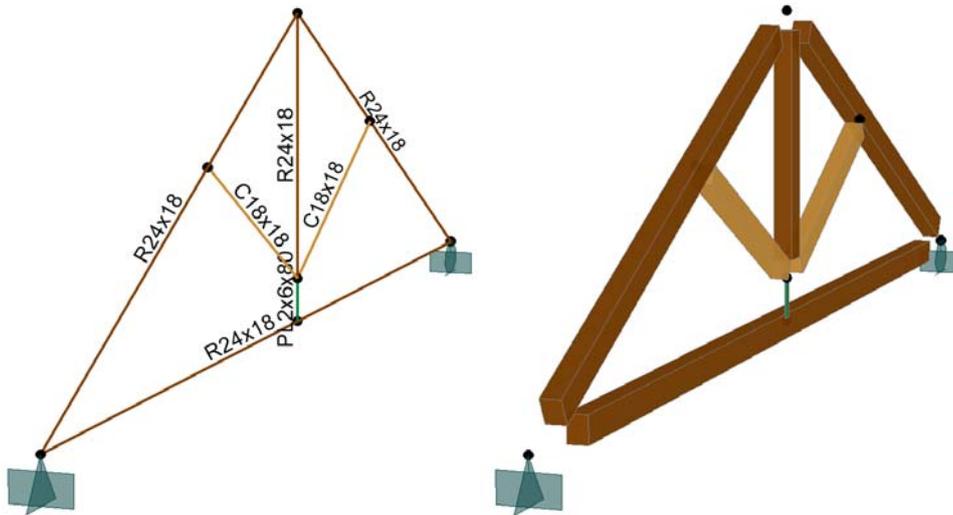
Podemos utilizar la función *Add Copy of Property* para realizar un duplicado de la sección R24x18 y a continuación modificar sus propiedades y denominación de la sección (C18x18) en la ventana *Rectangular Section*. Se rellena el resto de datos según se muestra.

**Paso 4:** Se selecciona el herraje que une el tirante y el pendolón o montante. Consiste en una doble chapa de 6 mm de espesor cada una y 80 mm de canto. Como constituye sólo una sujeción (es biarticulado) se definirá como una sección rectangular de acero de dimensiones 80x12 mm.

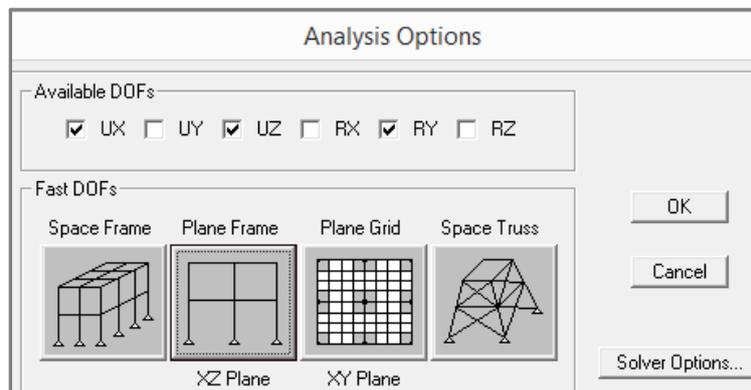
Se pueden juntar ambas chapas en una sola debido a que el área y la inercia respecto a un eje normal al plano de la estructura son los mismos que el considerar ambas chapas separadas. Además, para este herraje interesa sólo el área ya que está biarticulado.

**Section Name:** PL2x6x80  
**Material:** S275JR  
**Outside Depth (canto):**  $t_3 = 0.08$   
**Outside Width (ancho):**  $t_2 = 0.012$

El resultado final, en una vista 3-d, es el siguiente:



#### 4.1.4 RESTRICCIONES



**Paso 1:** 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*.

**Comentario:** Apoyos

Inicialmente el modelo de estructura utilizado dispuso un apoyo fijo (izquierda) y otro deslizante (derecha) a la estructura triangulada. Si en otros casos es necesario definir los apoyos, se selecciona el nudo a definir un apoyo y se asigna el mismo con: *Assign* → *Joint* → *Restraints*, seleccionando el apoyo adecuado:

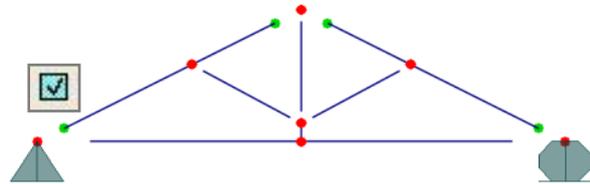


- Empotramiento
- Apoyo fijo (remarcado en la Figura)
- Apoyo deslizante
- Nudo libre

#### 4.1.5 ARTICULACIONES EN BARRAS

Se trata de una estructura en la que las barras que la componen tienen sus extremos **articulados**, no transmisoras de momento (giro libre). Se exceptúan los nudos intermedios de los cordones pues son piezas continuas que transmiten el flector en cada tramo y sección de la barra.

Inicialmente el modelo de estructura utilizado definió como articulados los cordones (el cordón inferior ya está unido a dos apoyos con rótulas). Se consulta activando la tecla *Releases* (liberar) del botón *Set Display Options*



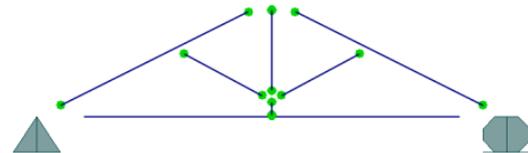
Aparecen en el cordón superior dos puntos de color (verde) que son las rótulas.

Sin embargo, falta disponer rótulas en los extremos de las barras que se crearon al inicio (Nota: existe la opción, al crear las barras, en el cuadro *Properties of Object*, *Moment Releases*, seleccionar *Pinned* (articulada) en lugar de *Continuous*).

**Paso 1:** Se seleccionan las diagonales, herraje y montante. Abrimos el menú *Assign* → *Frame* → *Releases/Partial Fixity*. Estas barras tienen ambos extremos articulados. En el cuadro *Assign Frame Releases* activamos ambas casillas (*Start*, *End*) de liberación del momento *Moment 33* (Mayor).

Assign Frame Releases				
Frame Releases	Release		Frame Partial Fixity Springs	
	Start	End	Start	End
Axial Load	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Shear Force 2 (Major)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Shear Force 3 (Minor)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Torsion	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Moment 22 (Minor)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Moment 33 (Major)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0	0

No Releases      Units: Kgf, m, C



Nota: se ha eliminado la visualización de los nudos (en rojo) para mejor apreciación de las rótulas (en verde).

La unión del cordón inferior al herraje es singular. No es sencillo modelizar este tipo de unión de forma simple, ya que además de biarticulado, puede deslizar horizontalmente y *descolgarse* o separarse hacia abajo (no hacia arriba, pues el herraje **sujeta** al cordón inferior en sentido ascendente). El desplazamiento horizontal queda permitido al biarticular el herraje, tal como ya se ha realizado (no transmite cortante al herraje).

Respecto al desplazamiento vertical, el herraje no puede estar comprimido en ninguna combinación de carga. Si así ocurre, es necesario rehacer el cálculo para esa combinación liberando del axil uno de los dos extremos de la barra, con la orden anterior, *Releases* → *Axial Load*, *Start*. Esta operación puede realizarse directamente para todas las combinaciones con un cálculo no lineal permitiendo que el herraje trabaje sólo a tracción.

#### 4.1.6 HIPÓTESIS, CASOS DE CARGA Y COMBINACIONES

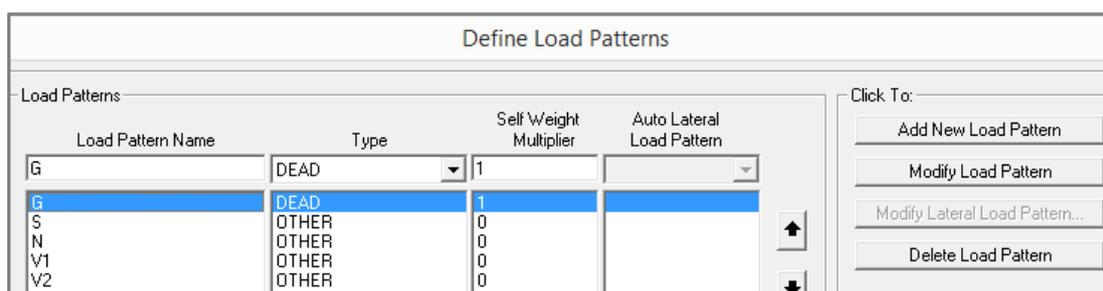
Es el apartado más laborioso en el que se deben introducir los datos con más cuidado. Una equivocación en la introducción de datos no produce un error de proceso de cálculo, pero el análisis producirá resultados inadecuados.

### Paso 1: Definir las **hipótesis de carga**

Es el conjunto de cargas que actúan a la vez sobre una estructura, es decir, como un conjunto. Se detallan en el siguiente cuadro:

Tipo de hipótesis	Designación	Clase de duración
<i>Acción permanente (Peso propio)</i>	<i>G</i>	Permanente
<i>Sobrecarga uso</i>	<i>S</i>	Media duración
<i>Nieve</i>	<i>N</i>	Corta duración
<i>Viento – succión</i>	<i>V1</i>	Corta duración
<i>Viento - presión</i>	<i>V2</i>	Corta duración

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* (parámetro no necesario para este cálculo). En la 3ª se escribe un factor del **peso propio de la estructura** *Self Weight*, según la dirección -Z.



Una vez modificado el nombre por defecto *Dead* por *G*, pinchar en *Modify Load*.

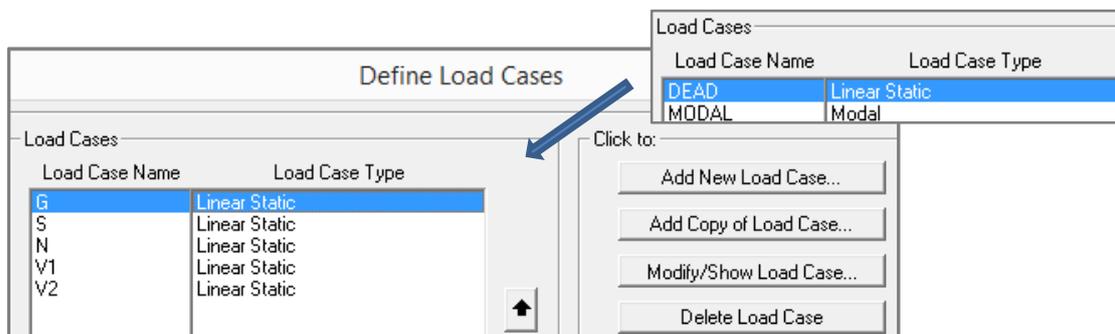
Las siguientes hipótesis de carga, al ser nuevas, se añaden a la lista con *Add New Load*.

En la 3ª columna, sólo la hipótesis *G* tiene el coeficiente 1 multiplicativo del **peso propio** de la estructura (*Self Weight*). Para el resto es nulo.

**Paso 2:** Definir el tipo de análisis a efectuar o **caso de carga**. Se trata de un análisis estático lineal. En este trabajo, coincide la hipótesis con el caso de carga.

En el menú *Define* → *Load Cases*:

- 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*
- 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



**Load Case Data - Linear Static**

Load Case Name:   Notes:  Load Case Type:

Stiffness to Use:  
 Zero Initial Conditions - Unstressed State  
 Stiffness at End of Nonlinear Case   
 Important Note: Loads from the Nonlinear Case are NOT included in the current case

Analysis Type:  
 Linear  
 Nonlinear  
 Nonlinear Staged Construction

Loads Applied:

Load Type	Load Name	Scale Factor
Load Pattern	G	1.
Load Pattern	G	1.

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

Comb.	Permanente G	Sobrecarga S	Nieve N	Viento	
				Succión V1	Presión V2
COMB1	1.35				
COMB2	1.35	1.5			
COMB3	1.35		1.5		
COMB4	1.35				1.5
COMB5	0.8			1.5	
COMB6	1.35	1.5	0.75		
COMB7	1.35	1.5			0.9
COMB8	1.35	1.5	0.75		0.9
COMB9	1.35		1.5		0.9
COMB10	1.35		0.75		1.5

- Introducimos la combinación 1, *Comb1*, escribiendo su nombre COMB1 si no aparece (*Load Combination Name (User generated)*).
- En *Define Combinations of Load Case Results*, se selecciona el primer caso de carga *Load Case Name G*, y su factor de carga 1.35 (*Scale Factor*).
- Tecleamos a continuación *Add* y para finalizar *OK*.
- Tecleamos *Add Copy of Combo* para iniciar la COMB2. Localizamos el caso de carga S con su factor de mayoración 1.50, y se tecléa *Add*, que se sitúa en la línea inferior a G. Se repite con la COMB3, localizando el caso de carga N con su factor de mayoración 1.50, y se tecléa *Add*, que se sitúa en la línea inferior a G. Se continúa con la COMB4 para V2 con su factor de mayoración 1.50 (*Add*).
- Tecleamos *Add New Combo* para iniciar la COMB5. Localizamos los casos de carga G y V1 con sus factores de mayoración 0.8 y 1.5 respectivamente. Se tecléa en cada caso *Add*.
- Se agiliza la introducción del resto de combinaciones si se copia *Add Copy of Combo*, una combinación precedente a la que se añade el nuevo caso de carga:

COMB 6	COMB2	+	0.75 N
COMB 7	COMB2	+	0.9 V2
COMB 8	COMB6	+	0.9 V2
COMB 9	COMB3	+	0.9 V2
COMB 10	COMB4	+	0.75 N

**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

**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

**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
N	Linear Static	1.5

**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	1.35
G	Linear Static	1.35
V2	Linear Static	1.5

**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	0.8
G	Linear Static	0.8
V1	Linear Static	1.5

**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	1.35
G	Linear Static	1.35
S	Linear Static	1.5
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
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	1.35
G	Linear Static	1.35
S	Linear Static	1.5
N	Linear Static	0.75
V2	Linear Static	0.9

<b>Load Combination Name (User-Generated)</b> COMB9 Notes <input type="button" value="Modify/Show Notes..."/> Load Combination Type <b>Linear Add</b> Options <input type="button" value="Convert to User Load Combo"/> <input type="button" value="Create Nonlinear Load Case from Load Combo"/>	<b>Load Combination Name (User-Generated)</b> COMB10 Notes <input type="button" value="Modify/Show Notes..."/> Load Combination Type <b>Linear Add</b> Options <input type="button" value="Convert to User Load Combo"/> <input type="button" value="Create Nonlinear Load Case from Load Combo"/>																														
<b>Define Combination of Load Case Results</b> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Load Case Name</th> <th>Load Case Type</th> <th>Scale Factor</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>G</td> <td>Linear Static</td> <td>1.35</td> </tr> <tr> <td>G</td> <td>Linear Static</td> <td>1.35</td> </tr> <tr> <td>N</td> <td>Linear Static</td> <td>1.5</td> </tr> <tr> <td>V2</td> <td>Linear Static</td> <td>0.9</td> </tr> </tbody> </table> <input type="button" value="Add"/>	Load Case Name	Load Case Type	Scale Factor	G	Linear Static	1.35	G	Linear Static	1.35	N	Linear Static	1.5	V2	Linear Static	0.9	<b>Define Combination of Load Case Results</b> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Load Case Name</th> <th>Load Case Type</th> <th>Scale Factor</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>G</td> <td>Linear Static</td> <td>1.35</td> </tr> <tr> <td>G</td> <td>Linear Static</td> <td>1.35</td> </tr> <tr> <td>V2</td> <td>Linear Static</td> <td>1.5</td> </tr> <tr> <td>N</td> <td>Linear Static</td> <td>0.75</td> </tr> </tbody> </table> <input type="button" value="Add"/>	Load Case Name	Load Case Type	Scale Factor	G	Linear Static	1.35	G	Linear Static	1.35	V2	Linear Static	1.5	N	Linear Static	0.75
Load Case Name	Load Case Type	Scale Factor																													
G	Linear Static	1.35																													
G	Linear Static	1.35																													
N	Linear Static	1.5																													
V2	Linear Static	0.9																													
Load Case Name	Load Case Type	Scale Factor																													
G	Linear Static	1.35																													
G	Linear Static	1.35																													
V2	Linear Static	1.5																													
N	Linear Static	0.75																													

#### 4.1.7 CARGAS GRAVITATORIAS

**Paso 1:** Definición de las cargas y asignación a las barras. En primer lugar seleccionamos las barras a las que queremos aplicar cargas.

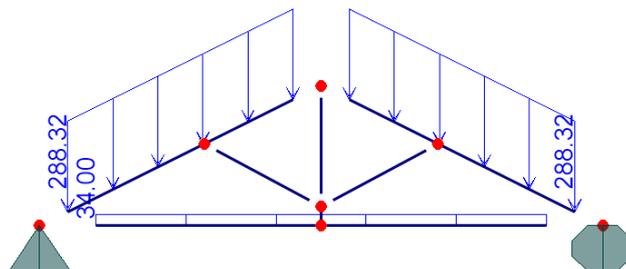
Para especificar las cargas, abrimos la orden *Assign* → *Frame Loads* → *Distributed*, aparece un cuadro para introducir la carga y sus propiedades.

Las cargas pueden definirse en ejes locales (1, 2 y 3) o en ejes globales (X, Y, Z), por unidad de longitud de barra o en proyección sobre ejes globales.

Se selecciona el cordón superior, se especifica la hipótesis de carga **G** y se define una carga según el eje *Global Z* de valor **-288.32** kg/m. La carga permanente (tablero y teja) se refieren a unidad de longitud de faldón de cubierta. Sin embargo el peso de las correas se repartió por unidad de superficie proyectada. Al ser de pequeño valor, aceptamos esa reducida inexactitud.

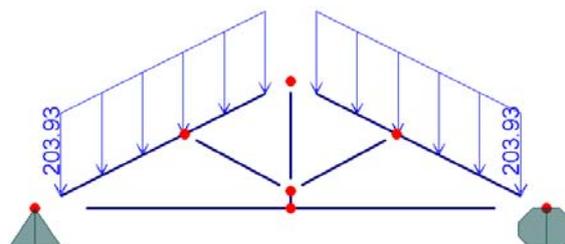
El siguiente paso es definir la carga del tirante (**-34** kg) en la hipótesis **G**. El procedimiento es el mismo: seleccionar el tirante y a continuación introducir la carga.

Frame Distributed Loads	Frame Distributed Loads																												
Load Pattern Name: <b>G</b> Units: <b>Kgf, m, C</b>	Load Pattern Name: <b>G</b> Units: <b>Kgf, m, C</b>																												
Load Type and Direction: <input checked="" type="radio"/> Forces <input type="radio"/> Moments Coord Sys: <b>GLOBAL</b> Direction: <b>Z</b> Options: <input type="radio"/> Add to Existing Loads <input checked="" type="radio"/> Replace Existing Loads <input type="radio"/> Delete Existing Loads	Load Type and Direction: <input checked="" type="radio"/> Forces <input type="radio"/> Moments Coord Sys: <b>GLOBAL</b> Direction: <b>Z</b> Options: <input type="radio"/> Add to Existing Loads <input checked="" type="radio"/> Replace Existing Loads <input type="radio"/> Delete Existing Loads																												
Trapezoidal Loads: <table border="1"> <tr><th>1.</th><th>2.</th><th>3.</th><th>4.</th></tr> <tr><td>Distance</td><td>0.</td><td>0.25</td><td>0.75</td><td>1.</td></tr> <tr><td>Load</td><td>0.</td><td>0.</td><td>0.</td><td>0.</td></tr> </table> <input checked="" type="radio"/> Relative Distance from End-I <input type="radio"/> Absolute Distance from End-I	1.	2.	3.	4.	Distance	0.	0.25	0.75	1.	Load	0.	0.	0.	0.	Trapezoidal Loads: <table border="1"> <tr><th>1.</th><th>2.</th><th>3.</th><th>4.</th></tr> <tr><td>Distance</td><td>0.</td><td>0.25</td><td>0.75</td><td>1.</td></tr> <tr><td>Load</td><td>0.</td><td>0.</td><td>0.</td><td>0.</td></tr> </table> <input checked="" type="radio"/> Relative Distance from End-I <input type="radio"/> Absolute Distance from End-I	1.	2.	3.	4.	Distance	0.	0.25	0.75	1.	Load	0.	0.	0.	0.
1.	2.	3.	4.																										
Distance	0.	0.25	0.75	1.																									
Load	0.	0.	0.	0.																									
1.	2.	3.	4.																										
Distance	0.	0.25	0.75	1.																									
Load	0.	0.	0.	0.																									
Uniform Load: Load: <b>-288.32</b> <input type="button" value="OK"/> <input type="button" value="Cancel"/>	Uniform Load: Load: <b>-34</b> <input type="button" value="OK"/> <input type="button" value="Cancel"/>																												



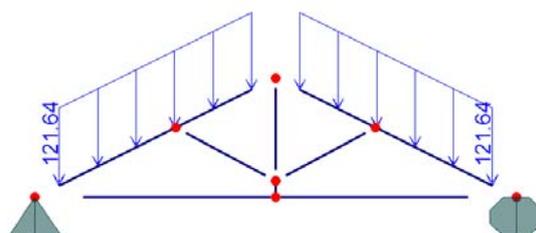
**Paso 2:** Para el caso de sobrecarga de uso **S**, se selecciona el cordón superior y se define especificando como *Load Pattern Name* = S, la dirección *Global Z Projected* y su valor **-228 kg/ml**. El programa calcula el valor de la carga proyectada (-203.93 kg/m) resultado de multiplicar por ( $\cos \alpha$ ) la carga introducida, siendo  $\alpha = 26.57^\circ$  ( $\text{tg } \alpha = 0.5$ ) el ángulo del par con la horizontal.

Frame Distributed Loads			
Load Pattern Name + S	Units Kgf, m, C		
Load Type and Direction <input checked="" type="radio"/> Forces <input type="radio"/> Moments Coord Sys GLOBAL Direction Z Projected	Options <input type="radio"/> Add to Existing Loads <input checked="" type="radio"/> Replace Existing Loads <input type="radio"/> Delete Existing Loads		
Trapezoidal Loads			
1.	2.	3.	4.
Distance 0.	0.25	0.75	1.
Load 0.	0.	0.	0.
<input checked="" type="radio"/> Relative Distance from End-I		<input type="radio"/> Absolute Distance from End-I	
Uniform Load Load -228		OK Cancel	



**Paso 3:** Para el caso de sobrecarga de nieve **N**, tras seleccionar el par, definimos esta carga especificando en *Load Pattern Name* N, la dirección *Global Z Projected* y su valor **-136 kg/ml**. El programa presenta el valor de la carga proyectado (-121.64 kg/m) al multiplicar por ( $\cos \alpha$ ) la carga introducida.

Frame Distributed Loads			
Load Pattern Name + N	Units Kgf, m, C		
Load Type and Direction <input checked="" type="radio"/> Forces <input type="radio"/> Moments Coord Sys GLOBAL Direction Z Projected	Options <input type="radio"/> Add to Existing Loads <input checked="" type="radio"/> Replace Existing Loads <input type="radio"/> Delete Existing Loads		
Trapezoidal Loads			
1.	2.	3.	4.
Distance 0.	0.25	0.75	1.
Load 0.	0.	0.	0.
<input checked="" type="radio"/> Relative Distance from End-I		<input type="radio"/> Absolute Distance from End-I	
Uniform Load Load -136		OK Cancel	



#### 4.1.8 ACCIONES DEL VIENTO (CASOS DE CARGA V1 Y V2).

Al ser la carga de viento perpendicular a la directriz de las barras del cordón superior, se procede a definir dicha acción según los ejes locales de la barra, es decir, el EJE LOCAL 2. El eje local 1 es la directriz de la barra. Para referirla a los ejes globales, sería necesario proyectarla previamente según Z y X.

Para poder definir correctamente las cargas sobre el eje local 2, es **IMPORTANTE** conocer la dirección **positiva** de este eje. Según convenio del programa, en elementos horizontales o inclinados (no verticales) el eje 2 siempre tiene una componente en la

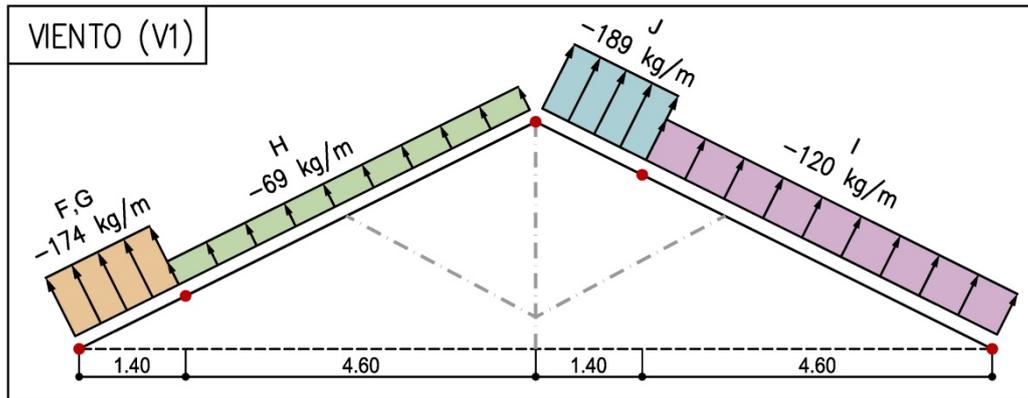
**dirección positiva del eje Z global** (“se dirige hacia arriba”). Por ello los valores de las cargas se definen con SIGNO POSITIVO para la **hipótesis de succión** y SIGNO NEGATIVO para la **hipótesis de presión**. En caso de error su detección es inmediata si observamos la representación de las cargas.

Las cargas de viento actuantes en esta cercha tradicional, y las longitudes relativas para cada barra se resumen a continuación:

FALDÓN	ZONA	Load	LONGITUD ZONA (m)	LONGITUD RELATIVA ZONAS (*)	Presión kg/m
BARLOV.	F, G	V1	1.4	$\frac{1.4}{6} = 0.2333$	- 174
	H		4.6		- 69
	F, G	V2	1.4	$\frac{1.4}{6} = 0.2333$	174
	H		4.6		105
SOTAV.	J	V1	1.4	$1 - \frac{1.4}{6} = 0.7667$	- 189
	I		4.6		- 120
	J,I	V2	6.0	0	

(\*) Longitudes relativas para cada cordón superior expresadas en relación al origen de cada cordón. El origen de ambos cordones se encuentra en el apoyo.

Se procede a seleccionar cada una de las barras del par e introducir la carga de viento correspondiente a cada hipótesis de carga. (**V1 y V2**). En *Trapezoidal Loads*, se especifica el intervalo como distancia relativa y el valor de la carga. Para **V1**:

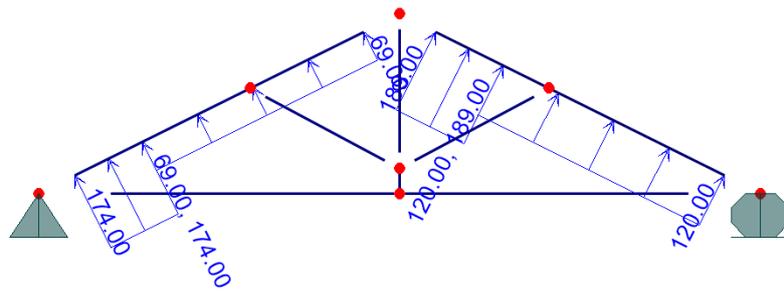


BARLOVENTO

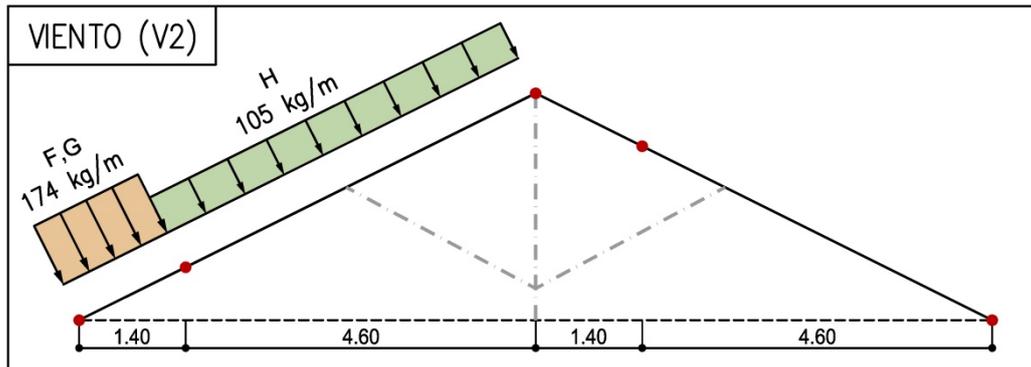
Frame Distributed Loads				
Load Pattern Name	+ V1		Units	Kgf. m. C
Load Type and Direction	<input checked="" type="radio"/> Forces <input type="radio"/> Moments			
Coord Sys	Local			
Direction	2			
Options	<input type="radio"/> Add to Existing Loads <input checked="" type="radio"/> Replace Existing Loads <input type="radio"/> Delete Existing Loads			
Trapezoidal Loads	1.	2.	3.	4.
Distance	0.	0.2333333	0.2333333	1.
Load	174	174	69	69
	<input checked="" type="radio"/> Relative Distance from End-I		<input type="radio"/> Absolute Distance from End-I	
Uniform Load	Load 0			
<input type="button" value="OK"/> <input type="button" value="Cancel"/>				

SOTAVENTO

Frame Distributed Loads				
Load Pattern Name	+ V1		Units	Kgf. m. C
Load Type and Direction	<input checked="" type="radio"/> Forces <input type="radio"/> Moments			
Coord Sys	Local			
Direction	2			
Options	<input type="radio"/> Add to Existing Loads <input checked="" type="radio"/> Replace Existing Loads <input type="radio"/> Delete Existing Loads			
Trapezoidal Loads	1.	2.	3.	4.
Distance	0.	0.7666667	0.7666667	1.
Load	120	120	189	189
	<input checked="" type="radio"/> Relative Distance from End-I		<input type="radio"/> Absolute Distance from End-I	
Uniform Load	Load 0			
<input type="button" value="OK"/> <input type="button" value="Cancel"/>				



Para la hipótesis **V2**:



BARLOVENTO

Frame Distributed Loads

Load Pattern Name:  Units:

Load Type and Direction:  Forces  Moments

Coord Sys:  Options:  Add to Existing Loads  Replace Existing Loads  Delete Existing Loads

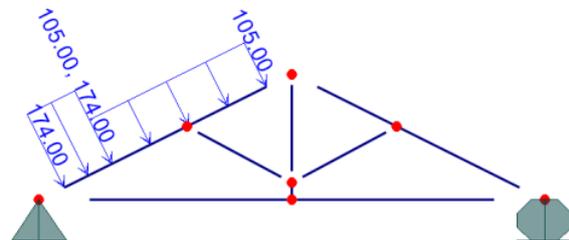
Direction:

Trapezoidal Loads:

	1.	2.	3.	4.
Distance	<input text"="" type="text" value="0.2333333"/>	<input type="text" value="0.2333333"/>	<input type="text" value="1."/>	
Load	<input type="text" value="-174"/>	<input type="text" value="-174"/>	<input type="text" value="-105"/>	<input type="text" value="-105"/>

Relative Distance from End-I  Absolute Distance from End-I

Uniform Load: Load



#### 4.1.9 SECCIONES DE BARRA

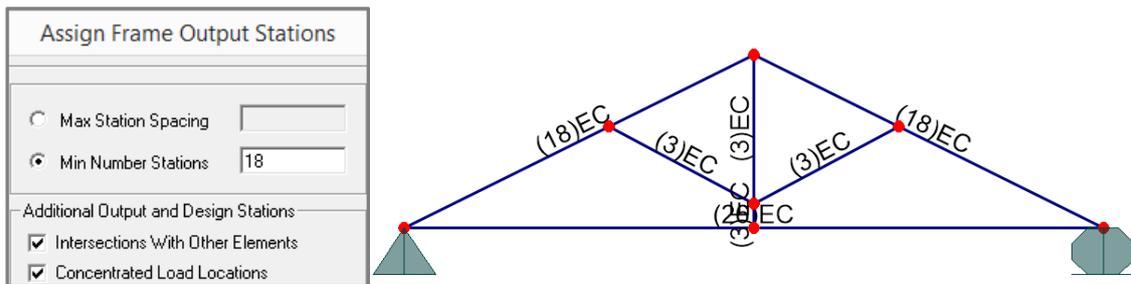
El programa realiza la salida de resultados de esfuerzos en los extremos de barras y secciones intermedias distribuidas en segmentos de longitud constante. Influye en las gráficas y listados de los esfuerzos. Si el número de secciones es elevado:

- El diagrama es más afinado en las gráficas (a base de rectas que unen los valores del esfuerzo en las secciones) y en la magnitud de algunos puntos (en las secciones definidas es exacta, pero los valores intermedios, como los máximos relativos, no lo son al ajustarse a una recta en lugar de la curva real polinómica).
- Los listados de resultados son largos y más inmanejables. La mayor parte de valores no interesan ni serán utilizados posteriormente en el dimensionado.

Por esas razones el usuario define a su juicio un número adecuado, pudiendo diferir de unas barras a otras, según el trazado de la curva del diagrama de momentos.

- Cordón inferior: 26 secciones. Se considera también la unión al montante
- Cada cordón superior: 18 secciones. Se considera también la unión a la diagonal
- Resto de barras: 3 secciones (aparte de las extremas, la sección central)

Para efectuar dicha operación seleccionamos en primer lugar las barras y mediante la orden *Assign* → *Frame* → *Output Stations* → *Min Number Stations*, especificamos las secciones deseadas, que darán lugar a un número de segmentos inferior en una unidad. El cuadro para el cordón superior y el resultado final son:



## 4.2 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 de la ventana **Run Now**. Para más información consultar 1.2 .



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 en los datos.



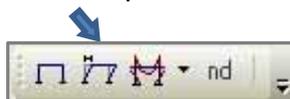
Si hay que deshacer el cálculo para introducir nuevos datos o modificarlos, es necesario abrir el candado pinchando sobre él.

## 4.3 Resultados

### 4.3.1 INFORMACIÓN GRÁFICA

a) **Deformaciones en nudos:** Es el dibujo que se activa al finalizar el cálculo. Se selecciona con el menú de *Display* → *Show Deformed Shape* ó F6.

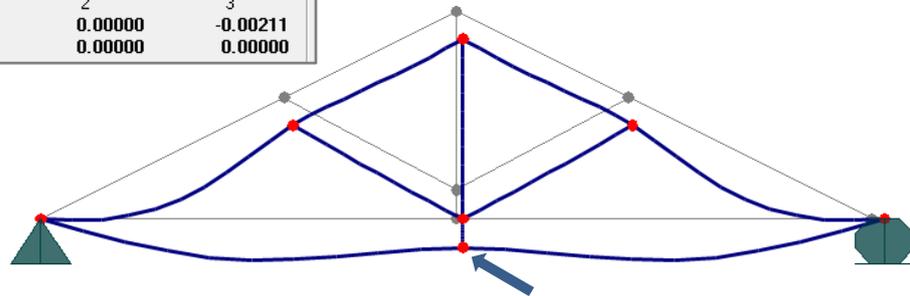
- Se elige la hipótesis o combinación de carga *Case/Combo*. Ejemplo: G.
- Se puede aplicar un factor de escala al dibujo
- Se añade en el dibujo la posición inicial sin deformar o *Wire Shadow* (recomendable)
- La deformada se dibuja curvada entre nudos (*Cubic Curve*) o mediante rectas que los unen



En las Figuras se muestra la deformada debida a la hipótesis **G** y la hipótesis **V2**. Pinchando con el botón derecho del ratón sobre un nudo aparecen los valores de los desplazamientos y giros. Debido a **G** el nudo central del tirante (7) desciende 2.1 mm. En cambio, en la hipótesis **V2** ese nudo no se deforma prácticamente, ya que al estar el herraje biarticulado, no transmite al tirante esfuerzos debidos al viento.

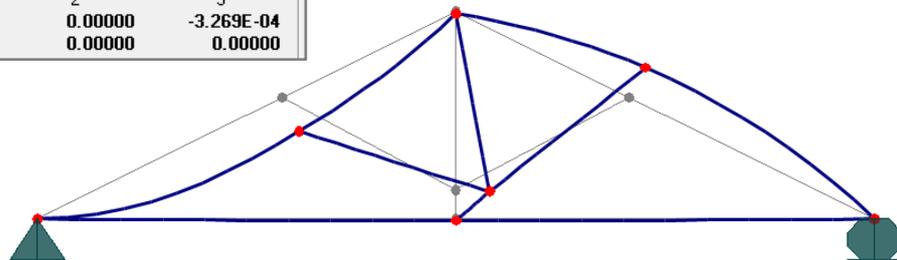
Joint Object	Joint Element 7		
	1	2	3
Trans	4.563E-04	0.00000	-0.00211
Rotn	0.00000	0.00000	0.00000

**Hipótesis G**  
 Nudo central cordón inferior:  $\Delta_z = -2.11 \text{ mm}$



Joint Object	Joint Element 7		
	1	2	3
Trans	7.888E-05	0.00000	-3.269E-04
Rotn	0.00000	0.00000	0.00000

**Hipótesis V2**



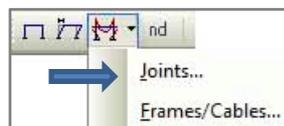
b) **Reacciones:**

Display → Show Forces/ Stresses → Joints:

- Se selecciona la hipótesis o combinación de carga *Case/Combo*. Ejemplo: COMB2
- Se elige si se desea representar el resultado con flechas (*Arrows*) o bien designando cada componente, junto a la magnitud:

F1 = FX (horizontal)  
 F3 = FZ (vertical)  
 M2 (flector)

- También con la tecla:



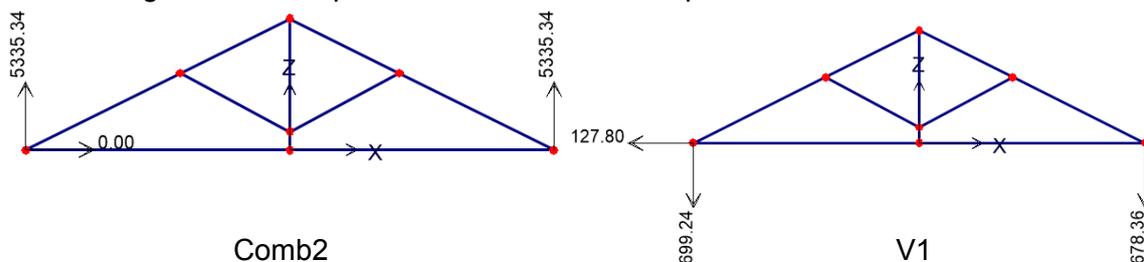
**Joint Reaction Forces**

Case/Combo  
**Case/Combo Name** COMB2

Multivalued Options  
 Envelope (Range)  
 Step 1

Type  
 Show Results as Arrows

En la Figura se han representado las reacciones para la **COMB2 = 1.35G + 1.5S**



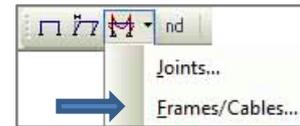
En cambio, en el caso de la hipótesis **V1** (viento succión), se observa que las reacciones verticales son hacia abajo y la horizontal hacia la izquierda, oponiéndose a la acción del viento.

c) **Esfuerzos:** Mediante la orden *Display* → *Show Forces/Stresses* → *Frames*. También con la barra de teclas:

- Se selecciona la hipótesis o combinación de carga *Case/Combo*
- Se elige el tipo de esfuerzo a representar:

Axil: *Axial Force*  
 Flector: *Moment 3-3*  
 Cortante: *Shear 2-2*

- Se puede aplicar un factor de escala al dibujo. En el caso del axil y cortante, se usa esta opción para introducir **un factor de escala negativo**, porque mejora la visualización respecto al axil y coincide con el dibujo de la Resistencia de Materiales respecto al cortante. No modifica el signo del axil o cortante, sólo su dibujo.
- En *Options*, representar la ley de esfuerzos con los valores en las unidades activas (la tecla *Object Shrink Toggle*: permite separar el número del nudo para mejorar su visualización):



**Member Force Diagram for Frames**

Case/Combo  
**Case/Combo Name** G

Multivalued Options  
 Envelope (Range)  
 Step

Component  
 Axial Force       Torsion  
 Shear 2-2       Moment 2-2  
 Shear 3-3       Moment 3-3

Scaling  
 Auto  
 Scale Factor

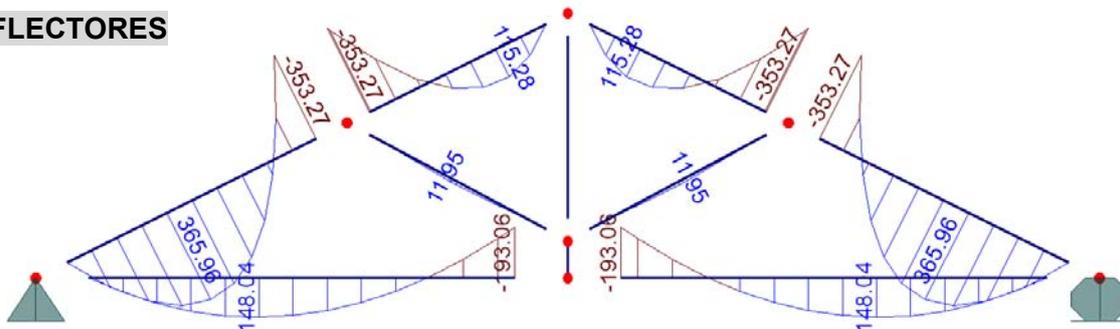
Options  
 Fill Diagram  
 Show Values on Diagram

OK Cancel

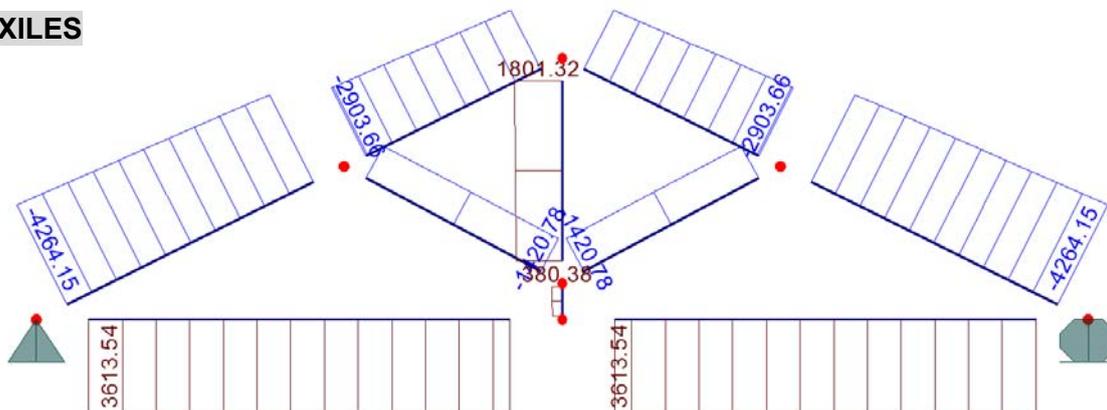
- Podemos obtener un diagrama sólido (*Fill Diagram*), o bien con valores de esfuerzos (*Show Values on Diagram*). El color del diagrama y textos puede modificarse en *Options* → *Colors* → *Output* → *Diagram Fill, Positive*.

### Hipótesis G:

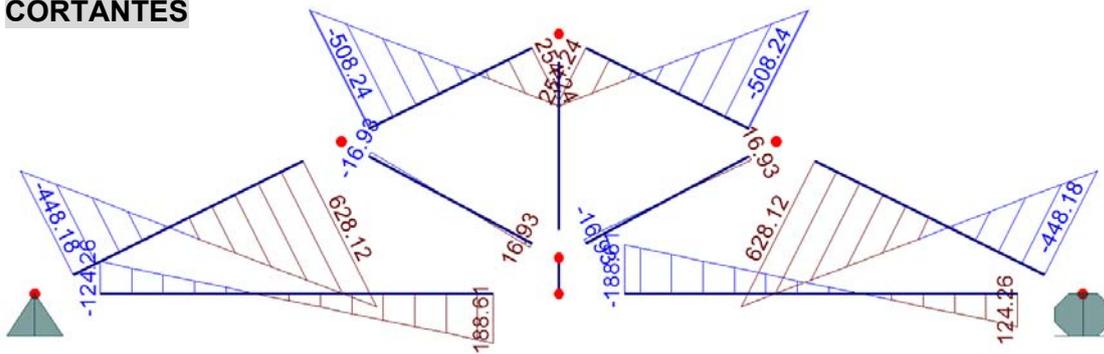
#### FLECTORES



#### AXILES



## CORTANTES



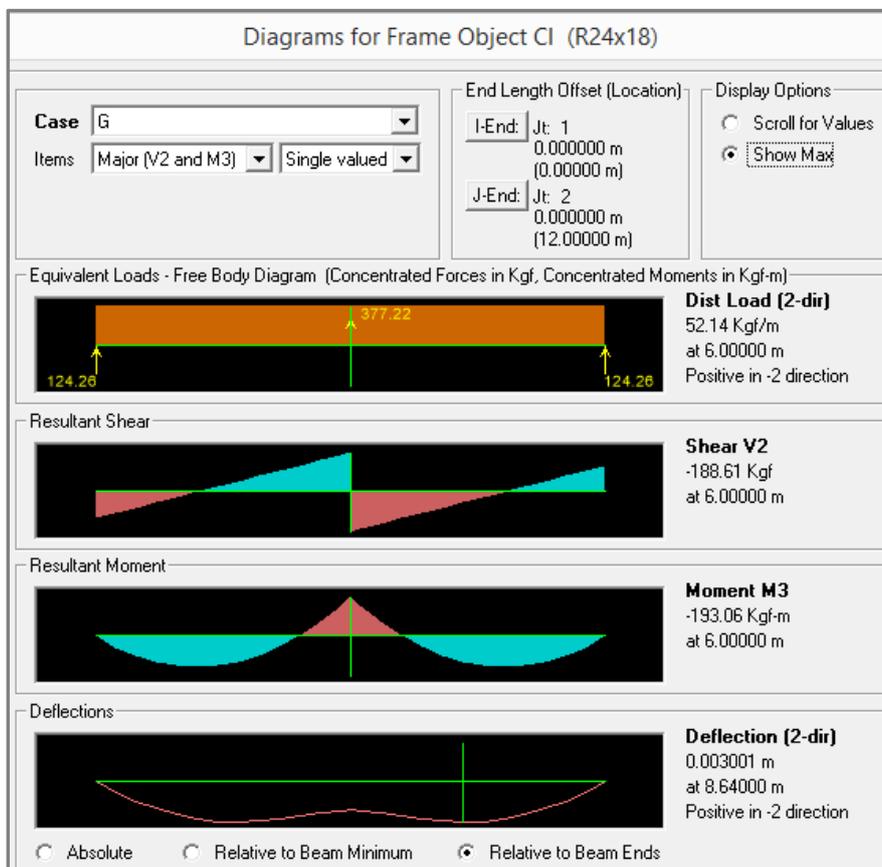
El convenio de signos coincide con el habitual en Resistencia de Materiales (5.4). El esfuerzo positivo queda representado en la ordenada (eje 2) negativa:

- **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)

El esfuerzo a lo largo de una barra y su abscisa pueden conocerse gráficamente con sólo pinchar encima de la barra en cuestión.

Por ejemplo, se ha seleccionado el cordón inferior para la hipótesis **G** donde se observa un primer diagrama de sólido libre (cargas y reacciones en los extremos y nudo de sujeción al herraje), cortantes, flectores y la deformada de la viga (pueden obtenerse flechas relativas y absolutas).

Podemos obtener los resultados para una sección específica indicando su abscisa (*Scroll for Values*) o los valores máximos (*Show Max*).



#### 4.3.2 OBTENCIÓN DE LISTADOS

Destacan tres procedimientos para obtener listados de datos o resultados:

- **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
- Un procedimiento de gran 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.

Puede consultarse en 1.3.2 y 3.3.2 las diferentes opciones, entre las que se destacan.

- *Miscellaneous data, Material List.* Peso propio de las barras, por material (*Objects*) y por secciones. Podemos obtener una medición del volumen de madera a efectos de presupuesto (a partir del peso pues se conoce la densidad).
- *Analysis results, Joint Output. Displacements* (desplazamientos y giros de los nudos) y *Reactions* (reacciones en los apoyos).  
Interesan los desplazamientos de las hipótesis: G, S, N, V1 y V2. Al existir la fluencia, no podemos crear combinaciones lineales, y el cálculo de la flecha para cada combinación en estado límite de servicio se deberá hacer manualmente.
- Las reacciones sirven para calcular la estructura que soporta la cubierta, que en nuestro caso son los pilares de hormigón, en otros puede ser la cimentación.
- *Analysis results, Element Output, Frame Output, Table; Element Forces-Frames:* esfuerzos en nudos y en las secciones intermedias de las barras definidas con la orden *Output Stations*. Con ellos comprobaremos manualmente las condiciones de resistencia y estabilidad o pandeo de las barras.
- *Structure Output, Base Reactions:* Suma total de las acciones aplicadas a la estructura que se usa, si se desea, para verificar manualmente el equilibrio de las cargas introducidas al programa.
- En *Analysis Cases Result:* comprobar que solo se encuentren seleccionadas las combinaciones de carga, ya que las hipótesis no interesan. En listados de desplazamientos, es al revés, y sólo necesitamos las hipótesis.

Se adjuntan Tablas con los resultados más relevantes:

##### a) **Reacciones totales**

###### **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	OutputCase	GlobalFX	GlobalFZ
Text	Kgf	Kgf	Text	Kgf	Kgf
COMB1	0	6567	COMB6	0	11895
COMB2	0	10671	COMB7	-327	11325
COMB3	0	9015	COMB8	-327	12549
COMB4	-545	7657	COMB9	-327	9669
COMB5	-192	1825	COMB10	-545	8881

**b) Peso de la estructura**

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

El peso de la estructura puede utilizarse para la medición de la madera. Es el punto *Miscellaneous Data* → *Material List*. En el cuadro aparece, para cada tipo de sección, el número de barras de cada tipo, la longitud total y el peso.

ObjectType	Material	TotalWeight	NumPieces
Text	Text	Kgf	Unitless
Frame	MADC24	585	6
Frame	S275JR	3	1

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

Section	ObjectType	NumPieces	TotalLength	TotalWeight
Text	Text	Unitless	m	Kgf
R24x18	Frame	4	28.00	507.97
C18x18	Frame	2	5.65	76.86
PL2x6x80	Frame	1	0.42	3.17

**c) Deformaciones (Table: Displacements)**

Por ejemplo, para el nudo 7 en el centro del cordón inferior, para las hipótesis de carga, se selecciona *Joints Output* → *Displacements*:  $U_1 = \Delta_x$ ;  $U_3 = \Delta_z$ .

Joint	OutputCase	U1	U3	OutputCase	U1	U3
Text	Text	m	m	Text	m	m
7	G	0.00046	-0.00211	V1	-0.00011	0.00055
	S	0.00026	-0.00118	V2	0.00008	-0.00033
	N	0.00016	-0.00070	G	0.00046	-0.00211

**d) Reacciones (Table: Reactions)**

Para las reacciones en apoyos se seleccionan todas las combinaciones; a continuación *Joints Output* → *Reactions*:  $F1 = FX$ ,  $F3 = FZ$ .

Joint	OutputCase	F1	F3	Joint	OutputCase	F1	F3
Text	Text	Kgf	Kgf	Text	Text	Kgf	Kgf
1 (apoyo simple)	COMB1	0.00	3283.34	2 (apoyo deslizante)	COMB1	0.00	3283.34
	COMB2	0.00	5335.34		COMB2	0.00	5335.34
	COMB3	0.00	4507.34		COMB3	0.00	4507.34
	COMB4	-544.95	4067.36		COMB4	0.00	3589.22
	COMB5	-191.70	896.83		COMB5	0.00	928.14
	COMB6	0.00	5947.34		COMB6	0.00	5947.34
	COMB7	-326.97	5805.75		COMB7	0.00	5518.87
	COMB8	<b>-326.97</b>	<b>6417.75</b>		COMB8	0.00	<b>6130.87</b>
	COMB9	-326.97	4977.75		COMB9	0.00	4690.87
	COMB10	-544.95	4679.36		COMB10	0.00	4201.22

**e) Esfuerzos (Table: Element Forces, Frames)**

*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 de interés, para el dimensionado de las barras, son:

**P** (axil) **V2** (cortante) ; **M3** (flexión en el plano, según el eje local 3)

TABLE: Element Forces – Frames, <i>ESFUERZOS</i>					
Frame	Station	COMB.	P	V2	M3
Cordón inferior	0.000	COMB1	4878.28	-167.74	0.00
	2.400			1.20	199.85
	6.000			254.62	-260.63
	6.000			-254.62	<b>-260.63</b>
	9.600			-1.20	199.85
	12.000			167.74	0.00
Cordón inferior	0.000	COMB2	7975.02	-173.30	0.00
	2.400			-4.35	213.18
	6.000			249.07	-227.32
	6.000			-249.07	-227.32
	9.600			4.35	213.18
	12.000			173.30	0.00
Cordón inferior	0.000	COMB3	6725.45	-171.06	0.00
	2.400			-2.11	207.80
	6.000			251.31	-240.76
	6.000			-251.31	-240.76
	9.600			2.11	207.80
	12.000			171.06	0.00
Cordón inferior	0.000	COMB4	5815.34	-169.29	0.00
	2.400			-0.34	203.55
	6.000			253.08	-251.38
	6.000			-253.08	-251.38
	9.600			0.34	203.55
	12.000			169.29	0.00
Cordón inferior	0.000	COMB5	1640.36	-96.82	0.00
	2.400			3.29	112.23
	6.000			153.47	-169.94
	6.000			-153.47	-169.94
	9.600			-3.29	112.23
	12.000			96.82	0.00
Cordón inferior	0.000	COMB6	8898.61	-174.95	0.00
	2.400			-6.01	217.15
	6.000			247.41	-217.38
	6.000			-247.41	-217.38
	9.600			6.01	217.15
	12.000			174.95	0.00
Cordón inferior	0.000	COMB7	8537.25	-174.22	0.00
	2.400			-5.28	215.40
	6.000			248.14	-221.77
	6.000			-248.14	-221.77
	9.600			5.28	215.40
	12.000			174.22	0.00
Cordón inferior	0.000	COMB8	9460.84	-175.88	0.00
	2.400			-6.93	219.37
	6.000			246.49	-211.83
	6.000			-246.49	<b>-211.83</b>
	9.600			6.93	219.37
	12.000			175.88	0.00
Cordón inferior	0.000	COMB9	7287.69	-171.98	0.00
	2.400			-3.03	210.02
	6.000			250.39	-235.21
	6.000			-250.39	-235.21
	9.600			3.03	210.02
	12.000			171.98	0.00

TABLE: Element Forces – Frames, <i>ESFUERZOS</i>						
Frame	Station	COMB.	P	V2	M3	
Cordón inferior	0.000	COMB10	6738.93	-170.94	0.00	
	2.400			-2.00	207.53	
	6.000			251.42	-241.45	
	6.000			-251.42	-241.45	
	9.600			2.00	207.53	
	12.000			170.94	0.00	
Cordón superior barlov.	0.000	COMB1		-5756.60	-605.04	0.00
	1.578			-5464.56	-20.96	494.04
	3.927			-5030.10	847.96	-476.92
	3.927			-3919.94	-686.13	-476.92
	5.919			-3551.29	51.18	155.63
	6.708			-3405.26	343.23	0.00
Cordón superior barlov.	0.000	COMB2		-9441.61	-1050.54	0.00
	1.578			-8933.64	-34.60	856.39
	3.927			-8177.95	1476.77	-836.81
	3.927			-6264.52	-1196.04	-836.81
	5.919			-5623.29	86.41	268.64
	6.708			-5369.31	594.38	0.00
Cordón superior barlov.	0.000	COMB3		-7954.67	-870.78	0.00
	1.578			-7533.84	-29.10	710.18
	3.927			-6907.77	1223.04	-691.59
	3.927			-5318.46	-990.28	-691.59
	5.919			-4787.22	72.20	223.04
	6.708			-4576.80	493.04	0.00
Cordón superior barlov.	0.000	COMB4		-6457.25	-1129.56	0.00
	1.973			-6092.20	73.30	1008.97
	3.927			-5730.75	1103.88	-140.86
	3.927			-4370.76	-784.37	-140.86
	5.524			-4075.11	58.58	439.00
	6.708			-3856.08	683.09	0.00
Cordón superior barlov.	0.000	COMB5		-1653.50	-67.68	0.00
	2.762			-1350.64	5.62	233.26
	3.927			-1222.98	140.43	148.24
	3.927			-1031.33	-107.75	148.24
	4.735			-942.66	-14.12	197.51
	6.708			-726.33	214.33	0.00
Cordón superior barlov.	0.000	COMB6		-10540.65	-1183.40	0.00
	1.578			-9968.28	-38.67	964.46
	3.927			-9116.79	1664.31	-944.15
	3.927			-6963.78	-1348.12	-944.15
	5.919			-6241.26	96.92	302.34
	6.708			-5955.08	669.28	0.00
Cordón superior barlov.	0.000	COMB7		-9862.00	-1365.25	0.00
	1.578			-9354.03	-102.95	1158.06
	3.927			-8598.34	1630.32	-635.17
	3.927			-6535.01	-1254.98	-635.17
	5.524			-6020.77	-75.52	427.81
	6.708			-5639.80	798.30	0.00
Cordón superior barlov.	0.000	COMB8		-10961.04	-1498.11	0.00
	1.578			<b>-10388.67</b>	-107.02	<b>1266.13</b>
	3.927			-9537.18	1817.86	-742.51
	3.927			-7234.27	-1407.06	-742.51
	5.524			-6654.84	-97.21	459.31
	6.708			-6225.57	873.20	0.00

TABLE: Element Forces – Frames, <i>ESFUERZOS</i>					
Frame	Station	COMB.	P	V2	M3
Cordón superior barlov.	0.000	COMB9	-8375.06	-1185.48	0.00
	1.578		-7954.23	-97.44	1011.85
	3.927		-7328.16	1376.59	-489.96
	3.927		-5588.95	-1049.23	-489.96
	5.524		-5162.92	-46.17	385.20
	6.708		-4847.29	696.96	0.00
Cordón superior barlov.	0.000	COMB10	-7556.29	-1262.42	0.00
	1.973		-7110.74	101.43	1112.29
	3.927		-6669.58	1291.42	-248.20
	3.927		-5070.02	-936.45	-248.20
	5.524		-4709.18	36.89	470.49
	6.708		-4441.85	758.00	0.00
Cordón superior sotav.	0.000	COMB4	-6730.83	-458.18	0.00
	1.184		-6511.80	-20.12	283.11
	3.927		-6004.33	994.82	-1053.57
	3.927		-4644.34	-893.43	-1053.57
	6.314		-4202.68	-10.10	24.82
	6.708		-4129.67	135.92	0.00
Cordón superior sotav	0.000	COMB5	-1838.96	-9.96	0.00
	3.551		-1449.57	129.57	-212.38
	3.927		-1408.44	144.30	-263.75
	3.927		-1216.79	-103.88	-263.75
	6.314		-955.07	-131.26	-56.79
	6.708		-911.80	-156.60	0.00
Cordón superior sotav	0.000	COMB7	-10026.15	-962.42	0.00
	1.578		-9518.18	53.51	717.31
	3.927		-8762.50	1564.89	-1182.80
	3.927		-6699.16	-1320.42	-1182.80
	5.919		-6057.93	-37.97	170.48
	6.708		-5803.95	470.00	0.00
Cordón superior sotav	0.000	COMB8	-11125.19	-1095.29	0.00
	1.578		-10552.82	49.44	825.38
	3.927		<b>-9701.33</b>	1752.42	<b>-1290.14</b>
	3.927		-7398.42	-1472.50	-1290.14
	5.919		-6675.90	-27.47	204.18
	6.708		-6389.72	544.90	0.00
Cordón superior sotav	0.000	COMB9	-8539.22	-782.66	0.00
	1.578		-8118.38	59.02	571.10
	3.927		-7492.31	1311.16	-1037.58
	3.927		-5753.10	-1114.67	-1037.58
	5.919		-5221.86	-52.19	124.88
	6.708		-4715.43	210.83	0.00
Cordón superior sotav	0.000	COMB10	-7829.87	-591.05	0.00
	0.395		-7740.76	-412.83	198.07
	1.184		-7562.54	-56.39	383.22
	3.927		-6943.17	1182.36	-1160.90
	3.927		-5343.60	-1045.51	-1160.90
	6.314		-4804.54	32.61	48.03
6.708	-4715.43	210.83	0.00		

TABLE: Element Forces – Frames, <i>ESFUERZOS</i>					
Frame	Station	COMB.	P	V2	M3
Diag. barlov.	2.824	COMB1	-1918.05	22.85	0.00
		COMB2	-3311.58	22.85	
		COMB3	-2749.28	22.85	
		COMB4	-2351.46	22.85	
		COMB5	-327.82	13.54	
		COMB6	-3727.20	22.85	
		COMB7	-3571.63	22.85	
		COMB8	<b>-3987.25</b>	<b>22.85</b>	
		COMB9	-3009.33	22.85	
		COMB10	-2767.08	22.85	
		Diag. sotav.	2.824	COMB1	
COMB2	-3287.04			22.85	
COMB3	-2724.74			22.85	
COMB4	-2326.92			22.85	
COMB5	-313.28			13.54	
COMB6	-3702.66			22.85	
COMB7	-3547.09			22.85	
COMB8	<b>-3962.70</b>			<b>22.85</b>	
COMB9	-2984.78			22.85	
COMB10	-2742.53			22.85	
Mont.	2.580			COMB1	2431.78
		COMB2	3739.20		
		COMB3	3211.65		
		COMB4	2838.78		
		COMB5	680.96		
		COMB6	4129.13		
		COMB7	3983.40		
		COMB8	<b>4373.34</b>		
		COMB9	3455.85		
		COMB10	3228.72		
		Herra <sup>2</sup> .	0.420	COMB1	<b>513.52</b>
COMB2	502.41				
COMB3	506.89				
COMB4	510.43				
COMB5	309.47				
COMB6	499.10				
COMB7	500.56				
COMB8	497.25				
COMB9	505.04				
COMB10	507.12				

<sup>2</sup> Se comprueba que el herraje trabaja siempre a tracción, incluso en la COMB5 de succión del viento

### 4.3.3 CÁLCULO CON CARGAS PUNTUALES

A partir de los datos del problema anterior, vamos a definir un nuevo fichero y realizar los cambios oportunos para calcular la cercha con la consideración de que las correas son cargas puntuales sobre el par, más acorde a la realidad pero más largo de definir. Como comprobaremos en este problema, los resultados son muy similares al anterior en el que definimos las cargas como uniformes.

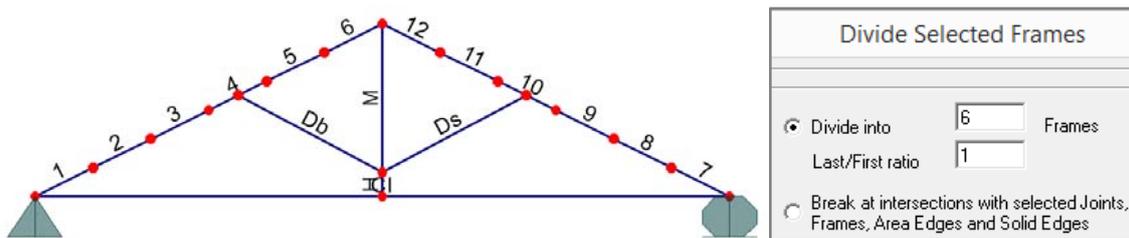
Debido a que este segundo cálculo es más elaborado que el primero, es habitual definir las cargas como uniformes salvo que el número de correas sea pequeño.

Paso 1: Efectuaremos una copia del fichero original con otro nombre, para disponer de los datos de ambos ejemplos. Para ello en *File* → *Save As*, escribiremos el nuevo nombre del fichero. Se recomienda que al realizar la operación el fichero original se encuentre desbloqueado (desactivar candado).

Paso 2: Para definir las cargas puntuales en los nudos, vamos a crear nuevos nudos en los puntos de aplicación de la carga.

Dividimos los pares en 6 barras continuas e independientes de longitudes iguales, en cuyos extremos se aplicarán posteriormente las cargas puntuales.

Tras seleccionar ambas barras, usaremos la orden *Edit* → *Edit Lines* → *Divide Frames*. Anotaremos que divida los pares en 6 barras (*Divide into*), siendo la relación entre la longitud de la última barra respecto a la primera de 1 (*Last/First ratio*).



Nota: Esta división no afecta a las articulaciones, que se mantienen en su posición.

Paso 3: Al dividir las barras, cada nueva barra mantiene 18 secciones (4.1.9 *Output Stations*). Es un número excesivo y se van a asignar 3 secciones por barra pues al ser las cargas mayoritariamente puntuales, la variación de la ley de flectores es casi lineal: *Assign* → *Frame* → *Output Stations* → *Min Number Stations* = 3

Paso 4: Definición de las cargas puntuales.

Las cargas en nudo se pueden aplicar directamente en el nudo, o bien se pueden aplicar en los extremos de las barras adyacentes al nudo. Este 2º método tiene la ventaja que las cargas son iguales en todas las barras y de magnitud la mitad de la carga aplicada en el nudo. En el 1º método, los nudos extremos de cada cordón tienen la mitad de carga que los interiores, lo que duplica el trabajo de introducción de cargas.

Acciones verticales (-FZ):

Hipótesis	Longitud m	Carga kg/m	Resultado (kg)
G	1.118/2	288.32	<b>161</b>
S	1.00/2	228	<b>114</b>
N	1.00/2	136	<b>68</b>

Se seleccionan todas las barras del cordón superior y se aplica la orden *Assign* → *Frame Loads* → *Point*.

Frame Point Loads

Load Pattern Name: **G** Units: **Kgf, m, C**

Load Type and Direction:  Forces  Moments

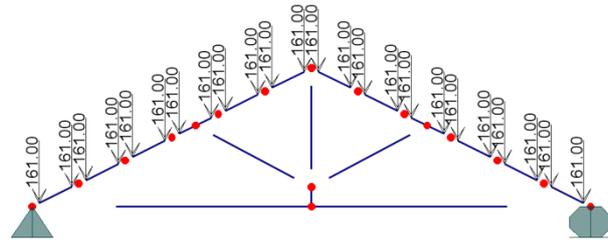
Coord Sys: **GLOBAL** Direction: **Z**

Options:  Add to Existing Loads  Replace Existing Loads  Delete Existing Loads

Point Loads:

1.	2.	3.	4.
Distance: 0.	1.	0.75	1.
Load: -161	-161	0.	0.

Relative Distance from End-I  Absolute Distance from End-I



Load Pattern Name: **S** Units: **Kgf, m, C**

Load Type and Direction:  Forces  Moments

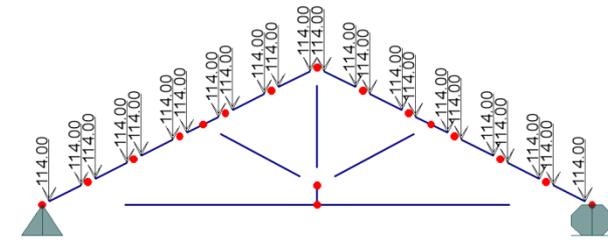
Coord Sys: **GLOBAL** Direction: **Z**

Options:  Add to Existing Loads  Replace Existing Loads  Delete Existing Loads

Point Loads:

1.	2.	3.	4.
Distance: 0.	1.	0.75	1.
Load: -114	-114	0.	0.

Relative Distance from End-I  Absolute Distance from End-I



Load Pattern Name: **N** Units: **Kgf, m, C**

Load Type and Direction:  Forces  Moments

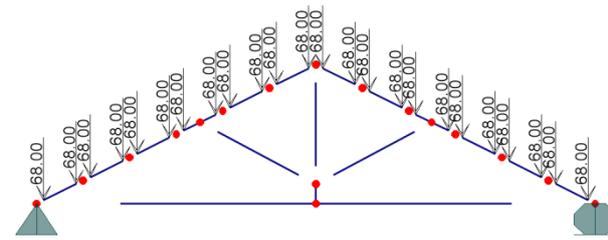
Coord Sys: **GLOBAL** Direction: **Z**

Options:  Add to Existing Loads  Replace Existing Loads  Delete Existing Loads

Point Loads:

1.	2.	3.	4.
Distance: 0.	1.	0.75	1.
Load: -68	-68	0.	0.

Relative Distance from End-I  Absolute Distance from End-I



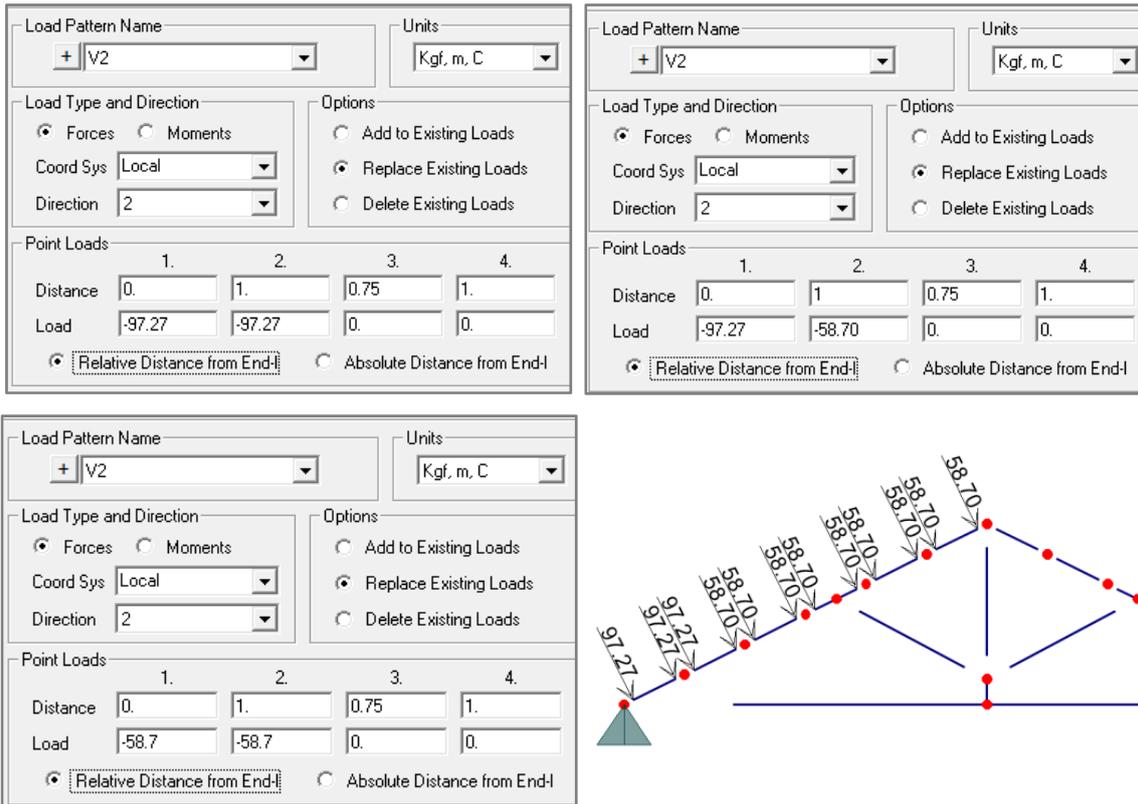
### Viento V2 (Local 2):

En el caso del **viento**, al no encontrarse las fuerzas según los ejes globales, se definen según el eje local 2, normal a la barra. Para la presión V2, el sentido es negativo.

Hipótesis	Longitud m	Carga kg/m	Resultado (kg)	Barras
V2 Barlov.	1.118/2	174	97.27	1
			97.27	2 origen
		105	58.70	2 extremo
			58.70	3, 4 5, 6

Las zonas F y G tienen una longitud proyectada de 1.40 m, y 1.565 m según el faldón. El tramo inferior de la barra 2 se encuentra en zona F, G; mientras que el superior está en zona H ( $(1.118 \cdot 1.5 = 1.677 \text{ m})_{\text{Barras}} > (1.565 \text{ m})_{\text{FG}}$ ). Para simplificar se anotará una carga distinta en cada extremo tal como refleja el cuadro anterior.

Se selecciona en primer lugar la barra 1 y se aplica una carga de -97.27 según el eje 2 en ambos extremos. A continuación se selecciona la barra 2 y se aplican una carga de -97.27 y -58.70 según el eje 2 en el extremo inferior y superior respectivamente. Se seleccionan las barras 3, 4, 5 y 6 y se aplica una carga de -58.70 en ambos extremos:



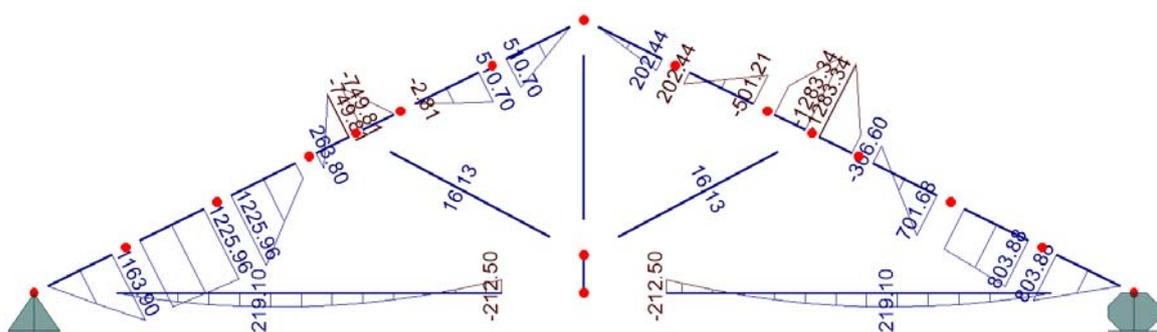
Nota: se prescinde de V1 y COMB5, pues se comprobó que no eran más desfavorables.

Paso 5: Se suprimen las cargas uniformes de las hipótesis G, S, N, V2. Se selecciona el cordón superior y con la orden *Assign* → *Frame Loads* → *Distributed*, se tecldea en *Delete Existing Loads*, cada vez una hipótesis.

## RESULTADOS

Son muy similares, siendo admisible disponer todas las cargas como uniformes.

Las diferencias mayores se observan en el diagrama de momentos. Por ejemplo, para la **COMB8**, el momento máximo positivo de la barra inferior del par vale  $1226 \text{ mkg}$  mientras que con carga uniforme se obtuvo  $1266 \text{ mkg}$  (un 3% superior). En este caso la ley de momentos es una poligonal (no una parábola, si no tenemos en cuenta el peso propio) al tratarse de cargas puntuales.



Por su parte, en el diagrama de esfuerzos axiales, para la Combinación 8, se puede comprobar que las variaciones de los esfuerzos son inferiores al 3% entre ambas modelizaciones.

## 5.- DATOS Y RESULTADOS DEL CÁLCULO ESTRUCTURAL

### 5.1 Datos

Los datos **necesarios** a definir en un problema de cálculo de una estructura **plana**, son:

- Tipología o geometría de la estructura:

- Coordenadas de los nudos (puntos de unión de los ejes que definen las barras)
- Definición de barras que conectan nudos
- Tipo de unión entre barras (articulada o rígida)
- Nudos que constituyen apoyos (empotramientos, apoyo simple, en voladizo)

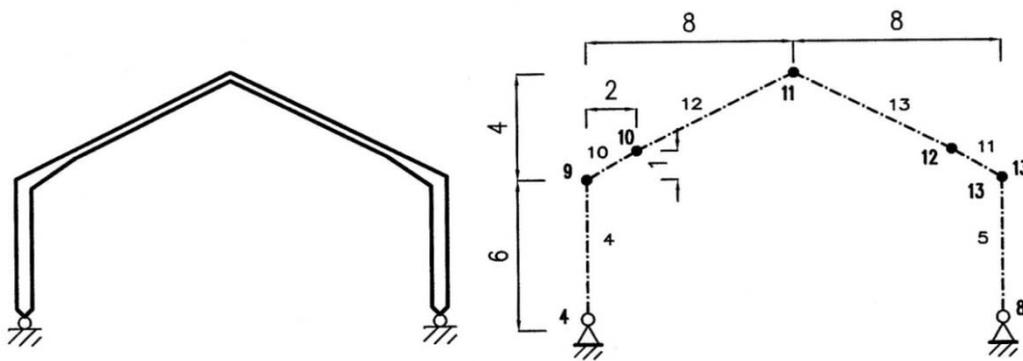


Figura 5.1: Estructura real y modelo de cálculo con propiedades geométricas (tipología)  
(Unidades: metros)

En el ejemplo de la Figura 5.1 se ha representado un pórtico biarticulado cuyo dintel (viga de cubierta) tiene un tramo de sección variable. Se acompaña con un posible **modelo** de cálculo, sustituyendo las barras por sus ejes, situando nudos en la intersección de barras o en cambios de la sección. Se numeran los nudos y las barras. Los apoyos son nudos articulados y el resto de nudos son rígidos.

- Definición del material: Es suficiente definir el peso específico ( $W$ ), el módulo de elasticidad ( $E$ ) y el coeficiente de Poisson ( $\mu$ ). Los programas suelen tener predefinidos los valores de las constantes anteriores para los materiales más habituales (acero, hormigón, aluminio, fundición, etc.)
- Dimensiones de las secciones: Las propiedades mecánicas básicas para el cálculo son el Área  $A$  (axil) y la Inercia  $I$ , (flexión). Si se trata de perfiles normalizados (IPE, H, etc.), los programas adoptan estos valores de las bases de datos donde se encuentran tabuladas, por lo que sólo es necesario designar el nombre del perfil.

En vigas o triangulaciones isostáticas (biapoyada, en voladizo) e hiperestáticas de sección constante en todas las barras, los esfuerzos y reacciones no dependen ni de la sección asignada a las barras ni del material. Las deformaciones sí dependen del perfil y material en todos los casos.

- Acciones exteriores: son los distintos fenómenos que solicitan la estructura y producen una respuesta por parte de la misma (acciones gravitatorias como carga permanente, sobrecarga de uso, nieve; viento, sismo, presión del terreno o del agua).

## 5.2 Incógnitas a resolver

Las **incógnitas** del cálculo de una estructura plana (plano XZ, siendo X el eje cartesiano horizontal y Z el vertical), son:

- Los **movimientos** de los nudos de la estructura (grados de libertad: *degrees of freedom*): son los desplazamientos referidos a unos ejes y el giro (rotación de la posición deformada respecto a la inicial) de cada nudo. En un nudo libre (que no es un apoyo) existen **tres** incógnitas, el desplazamiento vertical y horizontal ( $\Delta_x$ ,  $\Delta_y$ ) y el giro ( $\theta_z$ ). Los apoyos son nudos en los que son nulos (están restringidos: *restraints*) algunos de los movimientos, por lo que no son incógnitas.

Las ecuaciones para resolver las incógnitas se consiguen formulando el equilibrio de fuerzas y momentos en los nudos. Para que el sistema sea resoluble, el número de ecuaciones debe igualar al de incógnitas. Si no se pueden plantear suficientes ecuaciones de equilibrio, la estructura consiste en un mecanismo y no existe equilibrio estático.

A partir de los movimientos los programas calculan:

- Las **reacciones** en los apoyos: son las acciones exteriores aportadas por la sustentación del edificio, necesarias para su estabilidad estática.
- Los **esfuerzos** en las barras: son las acciones internas que ocurren en las secciones de las barras.

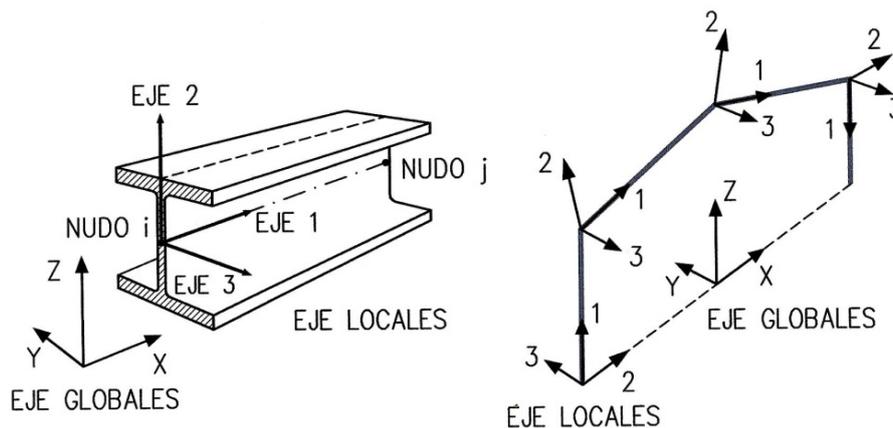


Figura 5.2: Ejes globales y ejes locales de barras. Ejemplo en un pórtico a dos aguas

## 5.3 Ejes globales y ejes locales

En cualquier programa el usuario debe conocer el sistema de ejes coordenados respecto al cual se referirán muchos de los datos y de los resultados del programa. Generalmente los programas definen estos ejes por defecto o según unas reglas que el usuario puede modificar.

Destacan dos tipos de sistemas cartesianos de ejes. En el programa SAP2000, estos ejes se muestran en la Figura 5.2 ( $\wedge$ : producto vectorial):

1. **EJES GLOBALES:** sistema único para todos los elementos de la estructura. Se utilizan para definir las coordenadas de los nudos, muchos tipos de cargas, reacciones y movimientos de los nudos. En SAP2000, se recomienda:
  - X: Eje horizontal de izquierda a derecha (o eje 1 global)
  - Z: Eje vertical de abajo hacia arriba (o eje 3 global)
  - Y: Eje horizontal perpendicular al plano de la estructura ( $Z = X \wedge Y$ ) (o eje 2 global)

2. EJES LOCALES: afectan a cada tipo de elemento. Existen para los nudos y para las barras. En general, en el caso de los nudos coinciden con los ejes globales (1 = X, 2 = Y, 3 = Z). Respecto a los ejes locales de barra, se utilizan para referir a ellos los parámetros de las secciones de una barra, como perfiles, algunos tipos de cargas, esfuerzos y las flechas locales de barra.
- 1: Eje según la directriz de la barra (es el eje x de la Resistencia de Materiales). Su origen es uno de los dos extremos de la barra, preferiblemente el inferior o el de la izquierda o el que el usuario estime conveniente.
  - 2: Eje contenido en el plano de la estructura. Tiene dirección hacia arriba salvo que la barra sea vertical, en cuyo caso es horizontal (es el eje y de la R.M.)
  - 3: Eje normal al plano de la estructura (es el eje z de la R.M.) (3 = 1∧2)

#### 5.4 Nomenclatura y signos de los esfuerzos

Es necesario conocer el **convenio de signos** a la hora de interpretar los resultados de los programas. No existe un procedimiento único aceptado universalmente, sino que cada programa sigue su propio criterio.

En el programa SAP2000 el signo de los esfuerzos se encuentra representado en la Figura 5.3, que coincide con el de la Resistencia de Materiales.

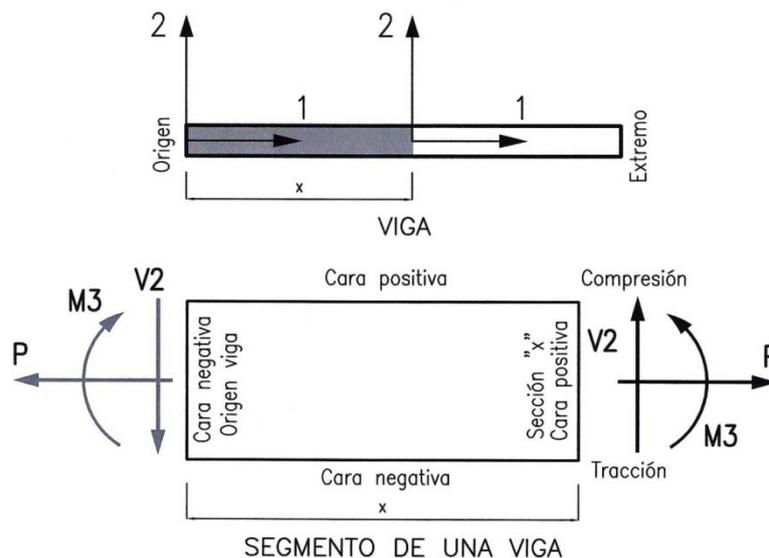


Figura 5.3: Convenio de signos y nomenclatura de los esfuerzos según SAP2000

- P: Axil (*axial*). Tracción es positivo, compresión es negativo.
- M3: Flector (*Moment*). Si es positivo las fibras traccionadas por el efecto del momento, se encuentran en la mitad inferior, y las comprimidas en la superior.
- V2: Cortante (*Shear*).

Sin embargo, al representar los esfuerzos, el axil y el cortante quedan dibujados en el lado superior del eje de la barra si son positivos, y en el lado inferior si son negativos, al contrario según realizamos en Resistencia de Materiales. En cambio respecto al diagrama de momentos se representan de la misma forma.

El origen de este convenio de signos es el siguiente:

- El origen de la barra (representado en este caso por el extremo izquierdo) es el lado negativo o *negative face* según SAP2000. Los esfuerzos son positivos si tienen las direcciones negativas de los ejes locales 1 (P, axil), 2 (V2, cortante).

Este convenio de signos se usa para comprender el significado del signo de los esfuerzos en el origen de la barra, pero NO se utiliza en los diagramas de esfuerzos, en donde se representa el extremo opuesto o sección de corte que dista  $x$  del origen.

- La sección de corte de la barra (representado en este caso por el extremo derecho) es el lado positivo o *positive face* según SAP2000. Los esfuerzos son positivos si tienen las direcciones positivas de los ejes locales 1 (P, axil), 2 (V2, cortante). La sección más alejada es el extremo final ( $x = L$ ).

Al representar gráficamente el diagrama de axiles y cortantes, a diferencia de lo que ocurre en Europa, en EEUU se suele representar el esfuerzo positivo en la ordenada positiva del eje local 2 (eje local y en R.M., es decir, el lado superior de la figura) que es lo que hace SAP2000.

- **El momento M3 es positivo**, en ambas caras, si provoca tracción en la cara situada en la zona negativa del eje 2 (en la figura es la cara inferior), y si provoca compresión en la cara del lado positivo del eje 2 (en la figura es la cara superior).

Respecto a la representación gráfica, cuando el momento es positivo se representa en el lado de la sección que está traccionada. En la Figura 5.3, es el lado inferior. SAP2000 tiene una opción, *Options* → *Moment Diagrams on Tension Side*, para cambiar el lado de la gráfica del diagrama de momentos sin cambiar el signo (Al desactivarla, los momentos positivos se sitúan en la zona comprimida).

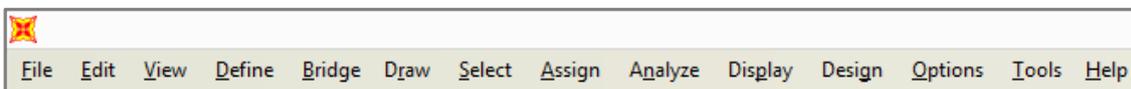
El resultado práctico final de este convenio de signos, si lo comparamos con el convenio seguido en Resistencia de Materiales, Cálculo de estructuras, Estructuras Metálicas (EAE), de Hormigón (EHE-08) y de Madera (EC-5), es el siguiente:

- MOMENTO: El signo de los esfuerzos y la representación del diagrama COINCIDEN ambas y son iguales a las de los apuntes.
- CORTANTE Y AXIL: El signo de los esfuerzos coincide pero la representación gráfica es contraria. ES NECESARIO INTRODUCIR UN FACTOR DE ESCALA NEGATIVO si queremos que el lado donde se encuentra la gráfica coincida.

## 5.5 Organización del programa

La pantalla que aparece al iniciar el programa consiste en las siguientes partes:

- Primera fila de comandos: órdenes de los menús desplegables, destacando:



- \* **File:** Ordenes relacionadas con la creación e inicio (*New, Open, Import*), el manejo de los ficheros de entrada de datos y salida de resultados del programa e impresión.
- \* **Edit:** operaciones sobre los elementos creados, copiar, cortar, dividir, mover, simetría, mallar, girar, numerar, etc.
- \* **View:** control de la visualización de la ventana gráfica activa.
- \* **Define:** establecer las propiedades del material, de las secciones, de las cargas (hipótesis, casos, combinaciones), etc.
- \* **Draw:** Creación de barras, placas, elementos de contacto, etc.

- \* **Select:** Formas diversas de selección de elementos (nodos, barras, ...), a las que a continuación va aplicarse (*Assign*) alguna orden.
- \* **Assign:** Tras efectuar una selección de elementos, se les asigna propiedades o cargas.
- \* **Analyze:** Inicio del cálculo estructural y control de los parámetros de cálculo.
- \* **Display:** control de la visualización gráfica y listados en pantalla de los datos y resultados del cálculo.
- \* **Design:** órdenes para efectuar el dimensionado de perfiles de acero, de armado de barras de hormigón, etc.
- \* **Options:** conjunto de opciones para controlar el funcionamiento del programa, pero que no intervienen en el cálculo mismo.
- \* **Help:** Ayudas del programa.



- Segunda fila: Teclas o barra de herramientas con las órdenes más habituales, de forma que se encuentran disponibles de forma más rápida. Puede personalizarse.
- Ventana gráfica: es el área de trabajo. Pueden abrirse hasta 4 ventanas a la vez, siendo sólo una de ellas la ventana activa. Cualquier cambio en la ventana activa aparecerá reflejado en las restantes. Pueden definirse distintos puntos de vista en cada una, o diferentes salidas gráficas (esfuerzos, deformadas, reacciones).
- Columna izquierda: Más teclas o barras de herramientas con las ayudas de dibujo más habituales: crear elementos, selección, forzar intersecciones, nodos, punto medio, perpendicular, etc.
- Línea inferior: informaciones sobre el dibujo (coordenadas), ayudas, sistema de referencia y coordenadas del cursor, unidades y otros.

En las páginas siguientes se adjuntan la pantalla completa del programa y las órdenes incluidas en cada menú desplegable.

Línea de menús desplegables

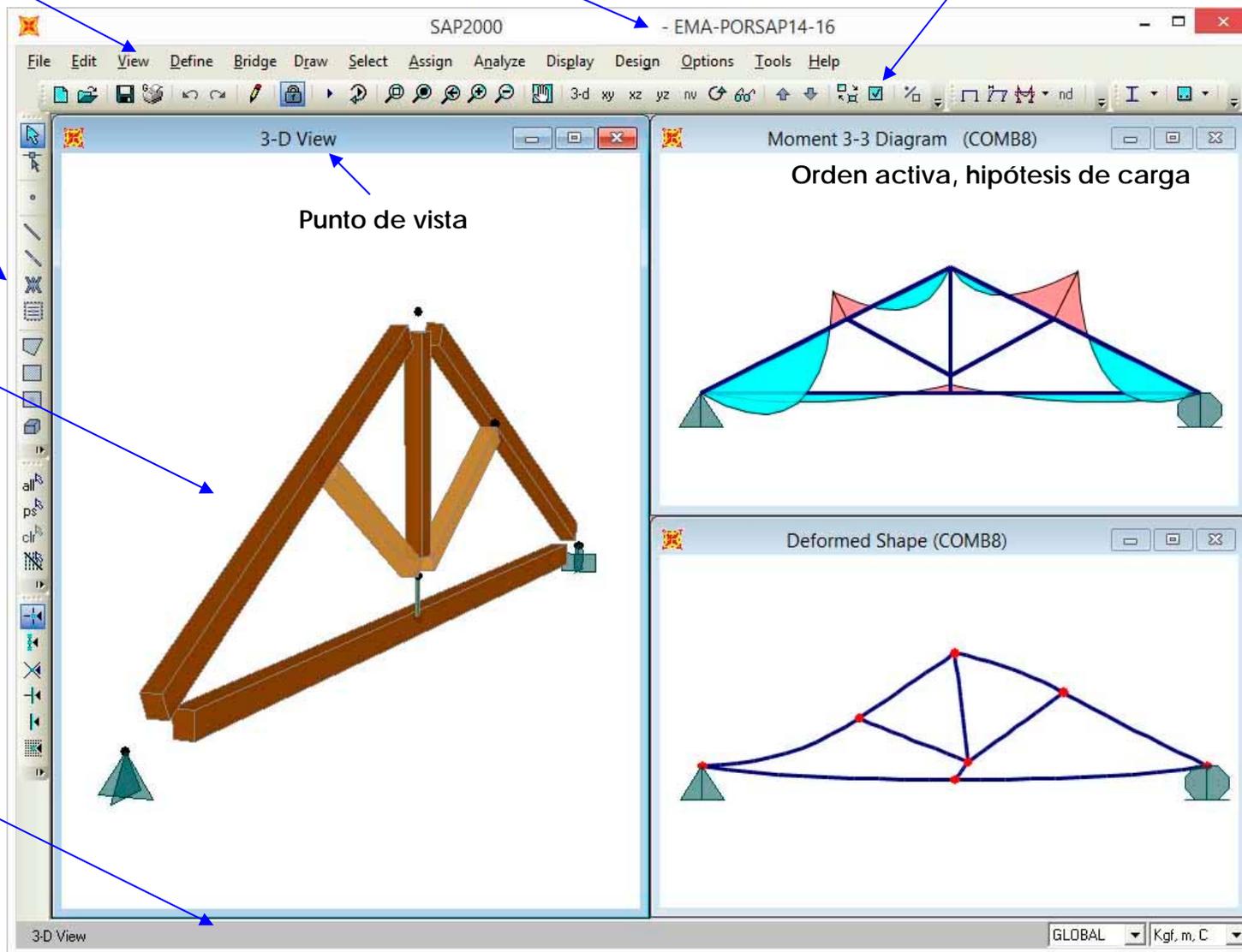
Nombre fichero

Fila de teclas

Columna de teclas

Área gráfica  
Ventana activa

Línea de coordenadas,  
unidades, ayuda.



File	
	New Model... Ctrl+N
	Open... Ctrl+O
	Save... Ctrl+S
	Save As... F12
	Import ▶
	Export ▶
	Batch File Control...
	Create Video... ▶
	Print Setup for Graphics... Ctrl+P
	Print Graphics Ctrl+G
	Print Tables... Ctrl+I
	Report Setup...
	Create Report
	Advanced Report Writer...
	Capture Enhanced Metafile
	Capture Picture ▶
	Modify/Show Project Information...
	Modify/Show Comments and Log...
	Show Input/Log Files...
	1 D:\DOC\...\CELSAP8_V11_V12.SDB
	2 D:\DOC\APUN\CEM\...\CELSAP8.SDB
	3 D:\DOC\...\DEP-5X5-25X25.SDB
	Exit Shift+F4

Edit	
	Undo Ctrl+Z
	Redo
	Cut Ctrl+X
	Copy Ctrl+C
	Paste... Ctrl+V
	Delete SUPR
	Add to Model From Template Ctrl+T
	Interactive Database Editing...
	Replicate... Ctrl+R
	Extrude ▶
	Move... Ctrl+M
	Edit Points ▶
	Edit Lines ▶
	Edit Areas ▶
	Divide Solids...
	Show Duplicates
	Merge Duplicates...
	Change Labels...

View	
	Set 3D View... Shift+F3
	Set 2D View... Ctrl+Shift+F1
nv	Set Named View...
	Set Limits...
<input checked="" type="checkbox"/>	Set Display Options... Ctrl+E
	Rubber Band Zoom F2
	Restore Full View F3
	Previous Zoom
	Zoom In One Step Shift+F8
	Zoom Out One Step Shift+F9
	Zoom Realtime
	Fly-through
	Pan F8
	Show Grid
	Show Axes
	Show Selection Only
	Invert View Selection
	Remove Selection from View
	Restore Previous Selection To View
	Show All
	Refresh Window Ctrl+W
	Refresh View F11

Define	
	Materials...
	Section Properties ▶
	Mass Source...
	Coordinate Systems/Grids...
	Joint Constraints...
	Joint Patterns...
	Groups...
	Section Cuts...
	Generalized Displacements...
	Functions ▶
	Load Patterns...
	Load Cases...
	Load Combinations...
	Bridge Loads ▶
	Named Views...
	Named Property Sets ▶
	Pushover Parameter Sets ▶
	Named Sets ▶

**Draw**

- Set Select Mode
- Set Reshape Element Mode
- Draw Special Joint
- Draw Frame/Cable/Tendon
- Quick Draw Frame/Cable/Tendon
- Quick Draw Braces
- Quick Draw Secondary Beams
- Draw Poly Area
- Draw Rectangular Area
- Quick Draw Area
- Draw Solid
- Draw 1 Joint Link
- Draw 2 Joint Link
- Quick Draw Link
- Draw Section Cut...
- Draw Developed Elevation Definition...
- Draw Reference Point
- Draw/Edit General Reference Line...
- Snap to ▶
- New Labels...

**Select**

- Select ▶
  - Pointer/Window
  - Poly
  - Intersecting Poly
  - Intersecting Line
  - Coordinate Specification ▶
  - Select Lines Parallel To ▶
  - Properties ▶
  - Assignments ▶
  - Groups...
  - Labels...
  - All Ctrl+A
- Deselect ▶
- Select Using Tables...
- Invert Selection
- Get Previous Selection
- Clear Selection

**Analyze**

- Set Analysis Options...
- Create Analysis Model
- Set Load Cases to Run...
- ▶ Run Analysis F5
- Model-Alive™
- Modify Undeformed Geometry...
- Show Last Run Details...

**Assign**

- Joint ▶
- Frame ▶
- Cable ▶
- Tendon ▶
- Area ▶
- Solid ▶
- Link/Support... ▶
- Joint Loads ▶
- Frame Loads ▶
- Cable Loads ▶
- Tendon Loads ▶
- Area Loads ▶
- Solid Loads ▶
- Link/Support Loads ▶
- Joint Patterns...
- Assign to Group...
- Update All Generated Hinge Properties
- Clear Display of Assigns
- Copy Assigns
- Paste Assigns ▶

Display	Design	Options
<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Show <u>U</u>ndeformed Shape <span style="float: right;">F4</span></li> <li>Show <u>L</u>oad Assigns <span style="float: right;">▶</span></li> <li>Show <u>M</u>isc Assigns <span style="float: right;">▶</span></li> <li>Show <u>L</u>anes...</li> <li> Show <u>D</u>eformed Shape... <span style="float: right;">F6</span></li> <li> Show <u>F</u>orces/<u>S</u>tresses <span style="float: right;">▶</span></li> <li>Show <u>B</u>ridge Forces/<u>S</u>tresses...</li> <li> Show <u>V</u>irtual Work Diagram...</li> <li>Show <u>I</u>nfluence Lines/<u>S</u>urfaces...</li> <li> Show <u>R</u>esponse Spectrum Curves...</li> <li> Show <u>P</u>lot Functions... <span style="float: right;">Shift+F11</span></li> <li> Show <u>S</u>tatic Pushover <u>C</u>urve...</li> <li>Show <u>H</u>inge Results...</li> <li>Show <u>T</u>ables... <span style="float: right;">Shift+F12</span></li> <li>Save <u>N</u>amed Display...</li> <li>Sh<u>o</u>w <u>N</u>amed Display...</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><u>S</u>teel Frame Design <span style="float: right;">▶</span></li> <li> <u>C</u>oncrete Frame Design <span style="float: right;">▶</span></li> <li> <u>A</u>luminum Frame Design <span style="float: right;">▶</span></li> <li> <u>C</u>old-<u>F</u>ormed Steel Frame Design <span style="float: right;">▶</span></li> <li>Lateral <u>B</u>racing</li> <li>Overwrite Frame Design <u>P</u>rocedure...</li> <li><u>B</u>ridge Design <span style="float: right;">▶</span></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>View/<u>R</u>evise Preferences...</li> <li>View/<u>R</u>evise <u>O</u>verwrites...</li> <li>Select Design <u>G</u>roups...</li> <li>Select Design <u>C</u>ombos...</li> <li>Set <u>D</u>isplacement Targets...</li> <li>Set <u>T</u>ime Period Targets...</li> <li><u>S</u>tart <u>D</u>esign/<u>C</u>heck of Structure</li> <li><u>I</u>nteractive Steel Frame Design</li> <li>Display Design <u>I</u>nfo...</li> <li>Make <u>A</u>uto Select Section Null...</li> <li><u>C</u>hange Design Section...</li> <li><u>R</u>eset Design Section to Last Analysis...</li> <li><u>V</u>erify Analysis vs Design Section...</li> <li>Verify all Members <u>P</u>assed...</li> <li>Reset All Steel <u>O</u>verwrites...</li> <li>Delete Steel Design <u>R</u>esults...</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li><u>H</u>elp</li> <li><u>C</u>ontents and Index... <span style="float: right;">F1</span></li> <li><u>D</u>ocumentation...</li> <li><u>C</u>SI on the Web...</li> <li>SAP2000 Version 14 News...</li> <li><u>A</u>bout SAP2000...</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><u>D</u>imensions/<u>T</u>olerances...</li> <li><u>C</u>olors <span style="float: right;">▶</span></li> <li>Set <u>P</u>rogram Default Display Units...</li> <li><u>D</u>atabase <span style="float: right;">▶</span></li> <li><u>G</u>raphics Mode <span style="float: right;">▶</span></li> <li><u>W</u>indows <span style="float: right;">▶</span></li> <li>Set <u>C</u>alculator Memory...</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> <u>A</u>uto Refresh</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> <u>S</u>how <u>T</u>ips at Startup</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> Show <u>B</u>ounding Plane</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> <u>M</u>oment Diagrams on Tension Side</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> <u>S</u>ound</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> 3D View Up <u>D</u>irection <span style="float: right;">▶</span></li> <li> <u>U</u>nlock Model</li> <li>Auto Save Model...</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> Show <u>F</u>loating Property Window</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> Sh<u>o</u>w <u>R</u>esult Values While Scrolling</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> Show <u>T</u>ool Tips In <u>F</u>orms</li> <li><u>R</u>eset Toolbars</li> <li>Set <u>M</u>enu Level <span style="float: right;">▶</span></li> <li><u>R</u>equest Module License <span style="float: right;">▶</span></li> </ul>

## 5.6 Options: opciones de formato, visualización y selección

### 5.6.1 FORMATO

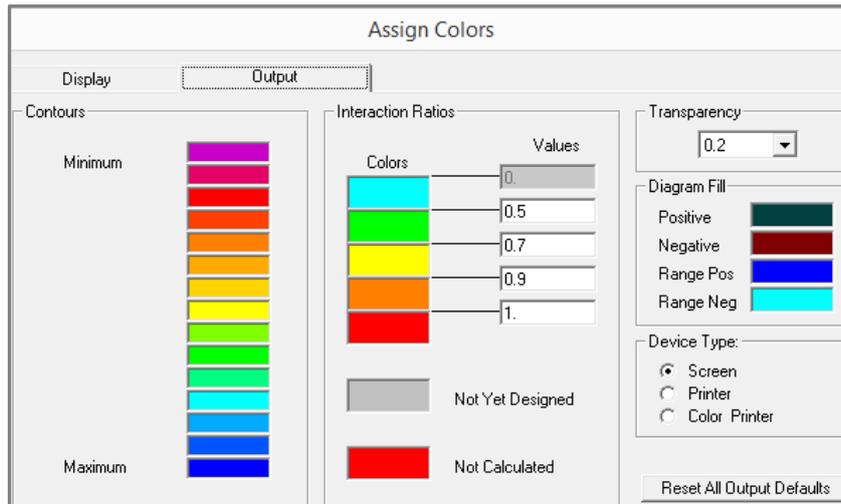
En cualquier momento de la sesión de trabajo pueden modificarse los parámetros relacionados con la visualización de líneas, puntos, textos, colores, ventanas, etc. Podemos tener acceso a ellos en el menú desplegable de *Options*:

- *Preferences*: destacamos:
  - Screen Line Thickness: grosor de las líneas del dibujo de la estructura.
  - Maximum and Minimum Graphic Font Size: tamaño de las fuentes de los textos que aparecen en pantalla.
  - Shrink Factor: el programa permite visualizar las barras recortadas antes de unirse en el nudo. Mediante este valor, expresado en tanto por ciento, se varía la distancia relativa de recorte.
- *Colors*: diferenciamos los colores de los datos y pantalla (*Display*) y de los resultados (*Output*).
  - En *Display* podemos cambiar el color del fondo de pantalla (*background*), de nudos (*Points*), barras (*Frames*), apoyos (*Restraints*), ejes globales (*Axes*), texto (*text*), etc. En *Transparency* → *Line*, el índice de transparencia (0 = opaca) y en *Darkness*.

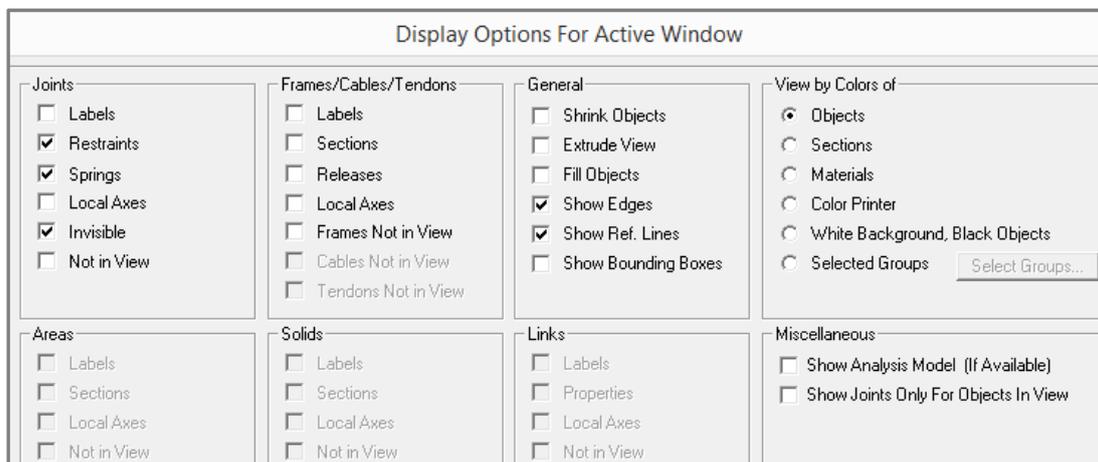
Dimensions/Tolerances Preferences		
Auto Merge Tolerance	1.000E-03	meters
2D View Cutting Planes +/-	0.1	meters
Plan Fine Grid Spacing	0.25	meters
Plan Nudge Value	0.25	meters
Screen Selection Tolerance	3	pixels
Screen Snap To Tolerance	12	pixels
Screen Line Thickness	1	pixels
Printer Line Thickness	4	pixels
Maximum Graphic Font Size	10	points
Minimum Graphic Font Size	10	points
Auto Zoom Step	10	percent
Shrink Factor	80	percent
Max Line Length in Text File	240	characters

Assign Colors		
Display		Output
Points		Area Fill Face 5
Frames		Area Fill Face 6
Frame Extrusion		Area Fill Sides
Cables		Area Edge
Tendons		Solid Fill/Face 1
Springs/NLLinks		Solid Face 2
Restraints		Solid Face 3
Releases		Solid Face 4
Axes		Solid Face 5
Text	xyz	Solid Face 6
Shadow Lines		Solid Edge
Guide Lines		Floor
Highlight		Background
Selection		
		Darkness
		0.2
		Transparency
		Line 0.2
		Area 0.5
		Solid 0.5
		Selection 0.4
		Device Type:
		<input checked="" type="radio"/> Screen
		<input type="radio"/> Gray-scale Printer
		<input type="radio"/> Color Printer
		Quick Color Scheme
		Select scheme
		Set Selected Scheme
		Reset All Display Defaults

- En *Output* destacamos en *Diagram Fill*, los colores a asignar a los rellenos de los diagramas de esfuerzos y al texto de los mismos. Las acciones que se asignen a barras o nudos utilizan también esa paleta de colores. En pantalla blanca o clara, se deberá modificar el color por defecto (amarillo) por otro más oscuro para visualizar bien los diagramas de esfuerzos.



- **Graphics Mode:** Se recomienda modificar el modo gráfico por defecto, *Classical*, por *Classical Plus*, pues mejora la visualización.
- **Windows:** Número de ventanas activas del área de trabajo. Generalmente seleccionamos una (*one*) en estructuras planas simples para una más amplia visualización. Puede convenir abrir varias por ejemplo para visualizar simultáneamente diagramas de esfuerzos y deformada. Las modificaciones de datos en la ventana activa se reflejan en todas las ventanas.
- Pueden personalizarse las áreas de botones horizontal y vertical mediante el botón, en el extremo de cada regleta, *More Buttons* → *Add o Remove buttons*. Resulta conveniente cuando una orden se repite muchas veces.
- Botón  *Set Display Options* (o mediante *View* → *Set display Options* (CTRL-E))



Este cuadro suele ser muy utilizado en cualquier sesión de trabajo.

Mediante este cuadro se activa la visualización de algunos de los parámetros de nudos y barras. Si tecleamos *Not in View* quedan desactivados de la pantalla, no pudiendo seleccionarse. En cambio, *Invisible* sólo desactiva la visualización pero no la selección.

**Labels:** Numeración de nudos (*Joints*) y barras (*Frames*).

**Local Axes:** Ejes locales de nudos y barras.

**Shrink Objets:** Recortar barras antes de intersectar en el nudo.

**Extrude View:** Visualizar las barras en su sección (en volumen o tamaño).

- Visualización de ejes globales y líneas auxiliares (rejilla). En *View* → *Show Grid* o *Show Axes* podemos des/activar la visualización de las líneas de referencia para dibujar la estructura y los ejes.
- Algunos de los cambios antes citados necesitan para hacerse efectivos regenerar la ventana de trabajo activa mediante la tecla  (*Refresh Window* o *CTRL-W*).
- Posición sin deformar:  (*Show Undeformed Shape* o *F4*).
- Si una acción resulta incorrecta, podemos deshacerla mediante  (undo) que a su vez puede rehacerse (redo).

### 5.6.2 VENTANAS (ZOOM)

Los procedimientos para visualizar el área de trabajo son:

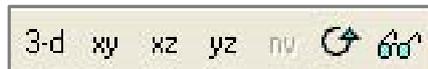


1 2 3 4 5

1. Mediante una ventana (*Rubber Band Zoom* o *F2*)
2. Vista completa (*Restore Full View* o *F3*)
3. Regresar a la ventana anterior (*Restore Previous Zoom*).
4. Aumentar o disminuir el tamaño de la ventana (*Zoom in/out One Step*)
5. Mover la ventana (*Pan* o *F8*)

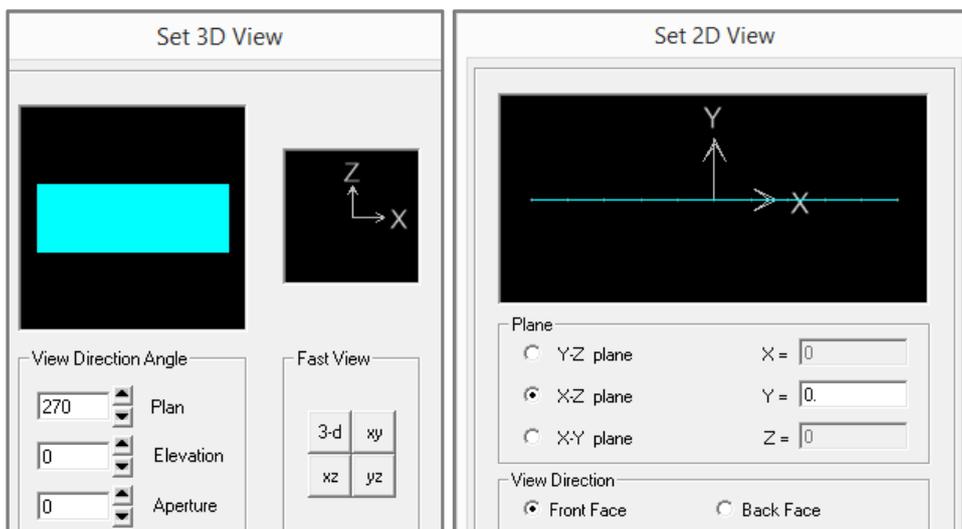
### 5.6.3 VISTAS

Pueden activarse algunas vistas desde la botonera horizontal:



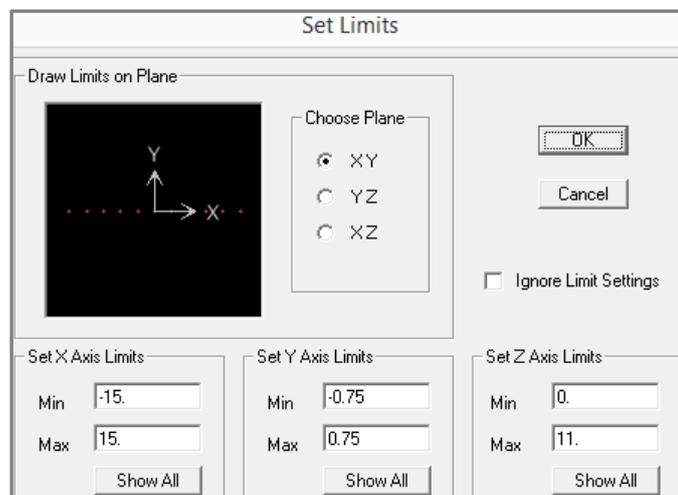
1 2 3 4

1. Punto de vista 3-d predeterminado (*Set Default 3D View*).
2. Puntos de vistas planos *xy*, *xz*, *yz*. Representa los objetos en el plano cuya coordenada en el eje perpendicular es nula (en el origen).
3. Girar el objeto en tres dimensiones: *Rotate 3D View*.
4. Cambia el punto de vista 3-d (*Perspective Toggle*).



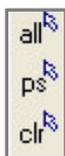
En el menú *View* pueden seleccionarse:

1. Set 3D View: Mediante la orden *View* → *Set 3D View* aparece un cuadro donde podemos seleccionar la vista apropiada, *Fast View: 3D, XY* (planta), *XZ, YZ* (alzados). En *View Direction Angle* se selecciona el punto de vista de la perspectiva: en planta (*Plan* o giro alrededor de Z), profundidad (*Elevation* o giro alrededor de un eje normal a Z) y en altura (*Aperture* o fuga). Se recomienda en *Aperture* poner 0 si se desea una vista sin fuga. El botón 3D corresponde a una perspectiva cónica de ángulo fijo (225, 35, 60).
2. *Set 2D View*: se visualizan los objetos contenidos en uno de los planos normales a un eje coordenado y la abscisa respecto a ese eje.
3. La orden *View* → *Set Limits* resulta muy útil para trabajar con sólo los objetos situados entre coordenadas límites de cualquiera de los 3 ejes globales. Con ello se mejora la visualización de ciertas regiones de la estructura o se evita el problema de que al manejar vistas *3D View* se seleccionen objetos no deseados que se encuentren superpuestos de los que vemos en pantalla.



#### 5.6.4 SELECCIÓN

- Selección con el ratón:
  - Pinchando encima de la barra o nudo.
  - Ventana que contiene los objetos a seleccionar, designando el extremo izquierdo y a continuación abriendo la ventana con el derecho.
  - Ventana que contiene y corta los objetos a seleccionar, designando el extremo derecho y seguidamente abriendo la ventana con el izquierdo.
  - Para deseleccionar pinchar nuevamente sobre el elemento que se desea quitar.
- Los siguientes botones de la barra vertical permiten controlar la selección:



- Se seleccionan todos los elementos existentes
- Se vuelve a seleccionar la última selección
- Se elimina la selección en curso

Las selecciones se mantienen aunque se haya abortado (*Undo*) una orden, pudiendo recuperarse con *ps* (*previous selection*).

- Selección de elementos utilizando la orden *Select* del menú, con diversos procedimientos. Destacamos *Properties* → *Frame Sections* (las barras con un determinado perfil), *Labels* (nudos o barras cuya numeración es conocida). Para quitar elementos de una selección abrir *Select* → *Deselect*, con las mismas opciones que la orden anterior.

- Tecla *Intersecting Line*  que selecciona los objetos cortados por la línea dibujada.
- Visualización de una selección mediante el menú desplegable *View*:
  - *Show selection only*: se visualiza únicamente la selección en curso
  - *Invert view selection*: se invierte la visualización de los objetos en curso
  - *Remove selection from view*: los objetos seleccionados se quitan de la vista en curso
  - *Restore previous selection*: se restablece la visualización de la última selección
  - *Show All*: se restituye la visualización de toda la estructura

Esta orden suele ser de bastante utilidad. La no visualización de elementos existentes en nuestra ventana gráfica puede deberse a las siguientes circunstancias: bien se han eliminado por selección (*selection only*), bien porque se encuentran fuera de límites (*limits*) impuestos en nuestra vista, bien porque tenemos activada una vista 2D, bien porque se ha desactivado la visualización de nudos o barras e incluso si el objeto tiene el mismo color que el fondo de pantalla.

En la esquina inferior izquierda se indica el número y tipo de los objetos actualmente seleccionados.

Pulsando con el **botón derecho** del ratón sobre un elemento (nudo o barra), se abre una ventana con la geometría, propiedades y acciones, que pueden consultarse e incluso modificarse en la misma ventana.

## 5.7 Ejecución del programa

### 5.7.1 INICIAR UNA SESIÓN

- **Iniciar** un nuevo modelo (*File* → *New Model*) en base a una serie de plantillas predefinidas en el programa, que facilitan la definición de algunos tipos estructurales.
- **Abrir** un fichero ya creado: **extensión del archivo .sdb**. Se trata del fichero principal que contiene toda la información de los datos del cálculo y de formato.  
Es habitual que el usuario habitual disponga de una serie de ficheros **plantilla**, adaptados al caso a analizar, en donde muchos datos comunes se encuentran ya definidos (material, secciones, hipótesis de carga, de formato, etc.), a falta de introducir la geometría de la estructura y las cargas.
- **Importar** datos en otros formatos. Destacamos:
  - Acces (.mdb) o Excel (.xls) según un formato o plantilla específica.
  - Fichero SAP2000 con la extensión **.\$2k** (puede abrirse con un editor o procesador de texto y realizar cambios utilizando las órdenes de edición del programa). No se puede leer un fichero de una versión del programa más reciente, pero con un editor de texto se puede cambiar la *versión* que figura en el **.\$2k** a una más antigua. Este fichero constituye además una copia de seguridad, con la información de la estructura pero sin los datos del formato del trabajo.
  - Autocad (extensión **.dxf**).
- **Exportar** datos o resultados a otros formatos. Destacamos:
  - **Excel** (.xls): de gran utilidad para exportar resultados de esfuerzos o deformaciones que pueden ser utilizados por esta hoja de cálculo para realizar cálculo de dimensionado, gráficas, etc.
  - Fichero SAP2000 con la extensión **.\$2k**
  - Autocad (extensión **.dxf**).

Al importar/exportar ficheros de Excel pueden surgir conflictos con el uso de la “,” (coma) o “.” (punto) para los decimales. El tipo de separador de decimales se controla en el sistema operativo en *Panel de control* → *Reloj, idioma y región* → *Cambiar formatos de*

fecha, hora y número → Configuración adicional (símbolo decimal), o bien en la configuración de Excel.

Para que no existan problemas, debe utilizarse el punto decimal. En las aulas informáticas de la ETSIAMN, la configuración es de coma decimal.

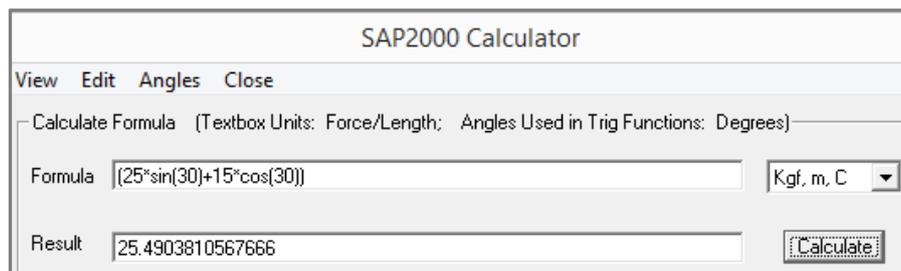
### 5.7.2 UNIDADES

- Es habitual definir en estas prácticas para fuerzas *kg* o *kN*, para dimensiones *m*. **Antes de iniciar** la introducción de una nueva estructura, se debe seleccionar en *File, New Model*, las unidades que se van a utilizar habitualmente.

Pueden modificarse durante la sesión de trabajo en la esquina inferior derecha de la pantalla. Al guardar o salir, se actualizan a las definidas al inicio. Se recomienda siempre consultar si las unidades activas en cada instante son las adecuadas, pues pueden ocurrir **importantes** errores.

- Pueden introducirse datos como (*calculator*) cálculos aritméticos simples o realizar cambios de unidades con la tecla *Shift* (mayús) y *Enter* (entrar) dentro de cualquier casilla numérica, abriéndose un cuadro donde pueden realizarse dichas operaciones.

Pueden utilizarse diversas operaciones como funciones trigonométricas  $\sin( )$ ,  $\cos( )$ ,  $\tan( )$ ,  $\sec( )$ ,  $\csc( )$ ,  $\cot( )$ ,  $\text{asin}( )$ ,  $\text{acos}( )$ ,  $\text{atan}( )$ , otras funciones son  $\text{sqr}( )$ ,  $\text{exp}( )$ ,  $\text{ln}( )$ ,  $\text{log10}( )$ , etc.



### 5.7.3 GEOMETRÍA

El programa ofrece diversas posibilidades de definición de la geometría de la estructura. Podemos destacar varios modos de trabajo:

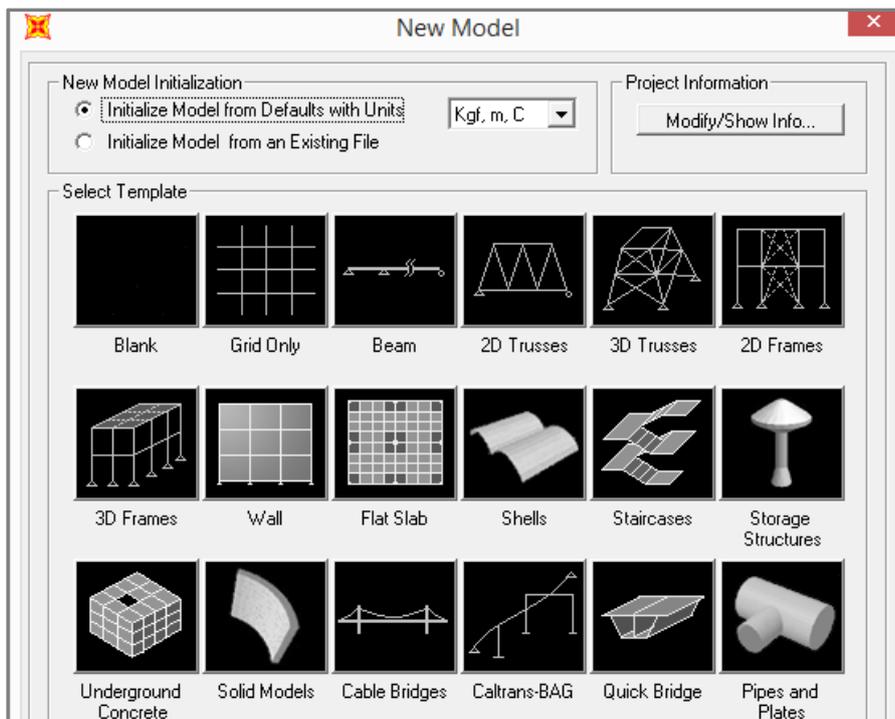
1. Mediante una rejilla o malla de líneas auxiliares cuyas intersecciones contienen puntos relevantes de la geometría de la estructura. Fue un procedimiento bastante utilizado en las primeras versiones del programa pero resulta poco práctico.
2. Mediante las plantillas (*template*) existentes en el programa que permiten generar algunos tipos estructurales muy utilizados (vigas continuas, triangulaciones, pórticos). Muchas veces no se adaptan a nuestro caso particular, pero con un reducido número de operaciones sencillas se consigue la estructura.
3. Mediante las órdenes de dibujo del programa para crear barras. El programa dispone de un conjunto de órdenes que permiten mover, copiar, girar, hacer simetrías, extender, cortar, dividir, unir, alinear, curvar vigas, etc.
4. Mediante otro programa (*Excel, Autocad, etc.*). Destacamos este último, pues en el proceso de diseño de una estructura se parte habitualmente de dibujos realizados en programas como *Autocad* que pueden adaptarse para ser utilizados en SAP2000.

Mediante *File* → *New Model* se inicia con la definición geométrica del modelo estructural que se va a utilizar. Con *Initialize Model from Defaults with Units* se arranca un modelo nuevo con los valores por defecto del programa. También es interesante *Initialize Model from an Existing File*, ya que de esta forma los parámetros y propiedades activadas o

incorporadas al fichero existente o *plantillas* quedan copiadas en el nuevo trabajo que se va a ejecutar.

Además, en un trabajo en curso pueden añadirse más estructuras a partir de plantillas mediante *Edit* → *Add to Model from Template*, que funciona igual que la orden anterior.

Para no visualizar la rejilla que aparece al utilizar las plantillas de tipos estructurales del programa, pinchar sobre ella dos veces con el ratón y activar *Hide All Grid Lines*, o bien con *View* → *Show Grid* (se desactiva).



El programa dispone de otro procedimiento para introducir, generar o corregir cualquier tipo de datos de forma interactiva que admite la posibilidad del uso del programa Excel (*Edit* → *Interactive Database Editing*), de gran utilidad para grandes cantidades de datos.

#### 5.7.4 IMPORTAR FICHEROS DXF

Se ha comentado que en muchas ocasiones el diseño de la estructura se realiza con un programa de diseño gráfico como AUTOCAD. La interface gráfica de este programa es potente y posee otras plataformas especializadas en construcción. De esta forma la estructura se extrae o representa a partir de planos constructivos de la edificación.

Por ello SAP2000 dispone de un sistema cómodo para incorporar ficheros *dxf* a la estructura en curso (existen otras formas muy sofisticadas, *Revit*, que permite trabajar en tiempo real en los diferentes aspectos constructivos e instalaciones). Para ello:

- Realizar el dibujo con *líneas*, en las mismas unidades de longitud que las que se van a utilizar en SAP2000 (por ejemplo metros). Estas líneas deben estar en una capa distinta de la *capa 0*. Sólo es posible importar las líneas que se encuentren en la misma capa, aunque pueden importarse sucesivamente capa por capa sobre el mismo trabajo de SAP2000. En nuestro caso, trabajamos en el plano XY de Autocad.
- Al crear las barras, pueden ir de nudo a nudo, o bien como los cordones de una celosía, constituir una única línea en toda su longitud, uniéndose a diagonales en puntos intermedios. Debe evitarse la superposición de líneas (podrían crearse barras con un tramo de longitud superpuesta).

- El fichero con la información gráfica se salva en un dibujo en formato *dxf* de *Autocad*, que debe cerrarse en *Autocad*.
- En *SAP2000*, con *File* → *AutoCAD DXF File*, se localiza y abre el fichero *dxf* creado
- En *Import Data* activar la dirección +Y , y las unidades adecuadas (Kgf, m, C)
- En *DXF import* → *Assign Layers* → *Frames*, seleccionar la capa de las *líneas*.
- Teclear *XZ* para obtener el dibujo en ese plano de la estructura.
- Los elementos importados aparecen seleccionados, lo cual es interesante si se desea asignarles alguna propiedad o carga específica.
- Si las *líneas* no están debidamente conectadas, puede ocurrir que visualmente parezca que lo están al ser difícil apreciarlo en pantalla. Para evitarlo, es muy aconsejable seleccionar toda la estructura y ejecutar la orden *Edit* → *Merge Joints*. Esta orden se utiliza para juntar en un único nudo varios nudos que se encuentren entre sí a una distancia inferior que una cantidad que fija el usuario en el *Merge Tolerance* (por ejemplo, 0.01 m). Activando la numeración de nudos, o haciendo una selección, se comprueba si sólo existe uno o todavía quedan varios nudos.
- Puede ser conveniente fraccionar el caso de una barra que se une a otras en puntos intermedios, para detectar y evitar desconexiones imprevistas (*Edit* → *Edit Lines* → *Divide Frames* → *Break at intersections ...*).

### 5.7.5 NUMERACIÓN DE NUDOS Y BARRAS

El programa numera los elementos según se van creando o automáticamente si se utilizan plantillas. Esta numeración puede consultarse con *View* → *Set Display Options* → *Labels* o bien pulsando sobre un elemento con el botón derecho del ratón.

En general, no es necesario realizar ninguna acción. Pero en ocasiones, puede ser conveniente personalizar la numeración de nudos y barras, para facilitar el manejo de elementos.

En *Edit* → *Change Labels*, se abre un cuadro similar al representado. En el seleccionamos en *Item Type* → *Element Labels – Frame* o *Joints* según sea lo que queremos modificar. En *First Relabel Order* y en *Second Relabel Order* indicamos el sentido de renumeración de las barras. Puede añadirse un prefijo alfanumérico a la designación de los elementos y definir una secuencia de numeración.

	Current Name	New Name
1	1	A1
2	2	A2
3	3	A3

Para hacer efectivos los cambios, en la misma ventana seleccionar *Edit* → *Auto Relabel* → *All in List*. El resultado es el cambio de numeración de los elementos existentes (*Current Name*) y asignación del nuevo (*New Name*). Sobre esa misma tabla puede corregirse elementos de la lista.

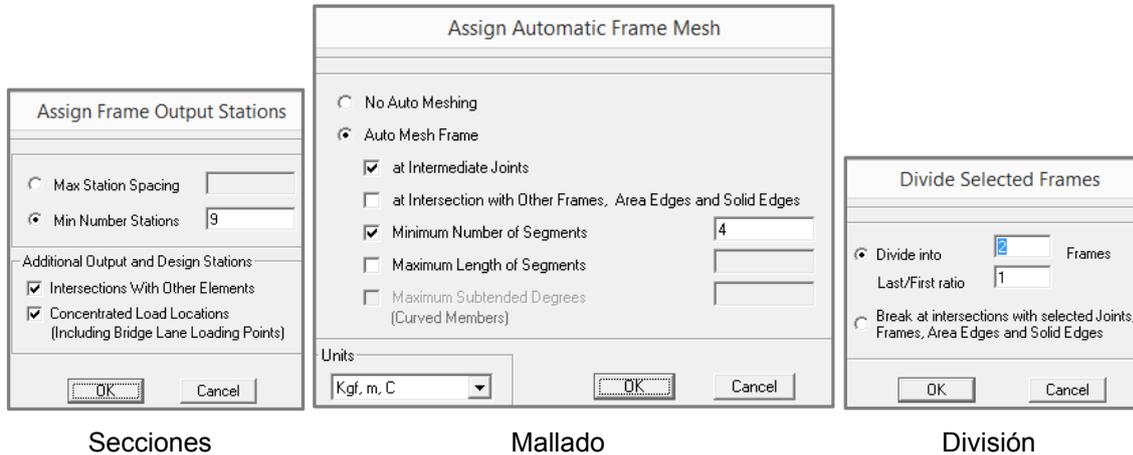
En ocasiones ocurre que el cambio no tiene lugar. Se debe comprobar que no se intente asignar un *Name* que ya está siendo usado por otro elemento existente.

También podemos cambiar la numeración de cualquier nudo o barra de forma individual en pantalla, pinchando sobre ella con el botón derecho del ratón, modificando el cuadro

que aparece en *Location* → *Identification Label*. Será necesario pinchar el botón de *Refresh Window* para visualizar el cambio. Si existe otro elemento con el número que deseamos cambiar, la sustitución no se realizará.

### 5.7.6 FRAGMENTACIÓN DE BARRAS

Vamos a diferenciar tres formas de fraccionar o subdividir barras, con diferentes efectos sobre el cálculo:



Secciones

Mallado

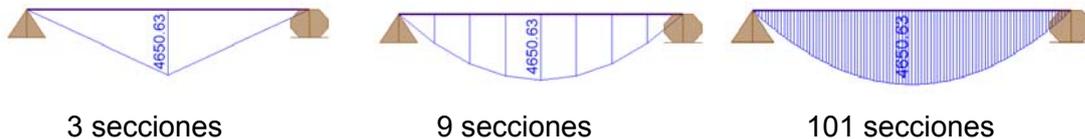
División

#### 5.7.6.1 Secciones de barra

El programa realiza la salida de resultados de esfuerzos en los extremos de barras y secciones intermedias o *Stations* tras dividir la barra en segmentos de igual longitud. El programa asigna un número de segmentos por defecto (variable según la versión utilizada) a cada barra que puede modificarse. No tiene ninguna influencia en el cálculo, pero tiene una repercusión importante en las representaciones gráficas por barra de esfuerzos y salida de listados de resultados.

Para efectuar dicha operación seleccionamos las barras y mediante la orden *Assign* → *Frame* → *Output Station* → *Min Number Station*, especificamos el número de secciones.

Esto es debido a que en los diagramas de esfuerzos, el programa **interpola** linealmente entre los valores de las secciones definidas y obtiene una poligonal. Así, una viga con carga uniforme con sólo 2 secciones o *Stations* (es decir, el inicio y el final), siendo la ley de momentos real una parábola, aparece inadecuadamente sin momentos al unir los flectores nulos de los extremos con una línea recta. Con 3 secciones aparece un diagrama bilineal también insatisfactorio.



De esta forma, 9 secciones puede resultar un número apropiado, en cambio 101 secciones puede dar lugar a listados innecesariamente largos y engorrosos de manejar.

Por ejemplo se citan varios casos en los que puede ser adecuado definir un número determinado de secciones intermedias:

- Soportes sin carga transversal: la ley de momentos es una línea recta con los valores máximos en los extremos. Es suficiente definir 2 secciones (los extremos)

- Vigas con momento positivo máximo o elevado en una sección interior. Cuanto mayor sea el número de secciones, mayor será la precisión de ese valor que puede ser el más desfavorable (mayor) para el dimensionado de la viga.
- El programa obtiene para cada barra la deformada (al pinchar sobre ella con el botón derecho del ratón) y por tanto la flecha máxima de la viga, cuyo cálculo será más preciso aumentando el número de secciones.

#### 5.7.6.2 Mallado de una barra

Consiste en dividir una barra en barras más pequeñas, de forma que aunque se mantiene la barra original, se introducen nuevos nudos secuenciados. Respecto al cálculo estructural, se originan nuevas incógnitas que son los movimientos de esos nudos.

Tras seleccionar la barra, se activa mediante *Assign → Frame → Automatic Frame Mesh*. Se utiliza si se desea representar con gran precisión la deformada de una barra con varios cambios de curvatura, o bien en cálculos más complejos (pandeo, plasticidad, etc.). La designación de la barra, sus propiedades, acciones etc., se refieren a la original, pero los resultados muestran los movimientos y esfuerzos de los nudos interiores generados.

No será necesario activar esta opción en un cálculo estructural normal para no complicarlo innecesariamente.

#### 5.7.6.3 División de barras

Consiste en dividir una barra para obtener otras independientes, con una nueva designación a la que pueden aplicarse diferentes propiedades y acciones.

Se realiza, tras seleccionar la barra, con la orden: *Edit → Lines → Divide Frame*. Puede dividirse a tramos iguales o según una secuencia, o utilizar otros elementos que la corten para dividirla. En general es preferible realizar un mallado de la barra salvo que sea preferible disponer de listados independientes de las barras o si las propiedades sean diferentes entre ellas.

#### 5.7.6.4 Conexión entre barras

En general, los nudos son los puntos de conexión entre barras. Esto supone una coacción o impedimento al movimiento libre de los extremos de barra que a su vez ocasiona la transmisión de esfuerzos entre ellas. Destacan en SAP2000 los siguientes casos:

- Si dos barras se cruzan pero no existe nudo en su intersección, las barras son independientes.
- El programa no admite dos barras iguales superpuestas, pero sí permite que existan nudos independientes en la misma posición, no existiendo relación entre ellos (*Edit → Edit Points → Disconnect/Connect*).
- Si el extremo de una barra coincide (con exactitud) con la directriz de otra barra, el programa reconoce que existe una unión en ese punto entre las dos barras, pero el nudo no pertenece a la barra con unión intermedia. Esta circunstancia puede facilitar la modelización de una estructura pero hay que asegurar que la unión sea efectiva. Así, al visualizar la deformada, el nudo debe mantener la unión entre barras sin desconectarse.

#### 5.7.7 CÁLCULO

El cálculo se inicia al teclear el botón  de la línea de teclas horizontal o bien en el menú desplegable *Analyze → Run Analysis*, o bien la tecla F5. Aparecen las hipótesis de carga, actualmente todavía sin calcular (*Status*) y que se calcularan (*Action → Run*) al

teclear en la parte inferior **Run Now**. La confirmación OK de la ventana **no inicia** el cálculo, sólo es para configurar dicha ventana.

El programa suele tener activado por defecto un caso de carga para el cálculo de los **modos** de vibración de la estructura. En las prácticas realizadas no es necesario ese tipo de cálculo. Por ello debemos desactivar ese caso de carga en *Run/Do Not Run Case* o bien borrarlo en *Define → Analysis Cases → Delete → Modal*.

El programa inicia el proceso de cálculo con la lectura de los datos introducidos. Seguidamente sin pausa realiza el cálculo y procesa los resultados.

En el caso de ocurrir errores de resolución del sistema de ecuaciones, el cálculo quedaría abortado (ANALYSIS INCOMPLETE). El origen habitual de esos errores es la falta de consistencia o singularidad de las matrices generadas, debidas en muchos casos a la falta de estabilidad estructural (mayor número de incógnitas o grados de libertad que de ecuaciones de equilibrios de fuerzas o momentos), imposibilidad de converger a una solución, etc.

Los comentarios que aparecen en pantalla vienen recogidos en el fichero "*nombre*".log (*File → Show Input/Log Files*: Fichero .log) o bien en *Analyze → Show Last Run Details*.

Cuando existen datos que el programa no pueda utilizar en el cálculo porque aparecen errores pero no impiden la ejecución del mismo, el programa avisa con advertencias o **Warnings**. Por ejemplo la existencia de nudos aislados, sin estar unidos a barras; o bien no se ha restringido el movimiento de todos los nudos en una determinada dirección (mecanismo). En esos casos el programa aplica restricciones al movimiento de los nudos. Conviene siempre analizar el origen de esos mensajes.

Se puede observar que el programa informa sobre el número de ecuaciones de equilibrio formuladas (*Total number of equilibrium equations*) para resolver idéntico número de incógnitas o grados de libertad (movimientos de los nudos).

- El nombre del fichero en formato SAP2000 se crea con la extensión **".sdb"**. Incluye toda la información de datos estructurales y datos de formato que se hayan definido.
- También se crea un archivo **".\$2k"** (.s2k en el menú) que sólo contiene las instrucciones necesarias para definir el modelo y proceder a su cálculo. Utiliza un lenguaje de programación específico del programa que pueden utilizar usuarios experimentados y que pueden editarse o modificarse mediante editores o procesadores de texto.

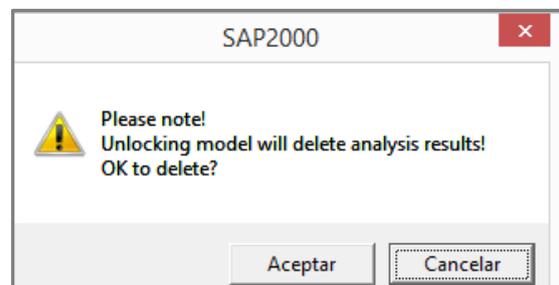
Es importante destacar que si el cálculo ha sido correcto, SAP2000 **cierra** la introducción de datos y aparece el candado cerrado  o bloqueo del cálculo.

Su significado es que en ese estado no se pueden realizar modificaciones en el fichero, pues ya está calculado.

Si se desea deshacer el cálculo para introducir nuevos datos o modificarlos, será necesario abrir el candado al pulsar sobre la tecla . SAP2000 advertirá de ese hecho.

El programa genera una gran cantidad de ficheros, la mayoría de ellos de uso interno para el programa al efectuar el cálculo estructural y que suelen ser innecesarios e inaccesibles. Al desbloquear el cálculo el programa borra prácticamente todos los ficheros de resultados generados (quedan 4).

En general se aconseja abrir el candado al finalizar el trabajo y así no efectuar un almacenaje masivo de ficheros innecesarios.



El fichero “\$.2k” puede abrirse si es necesario mediante la orden *File → Import → SAP2000 .s2k Text File*. Resulta de gran utilidad para:

- Como copia de seguridad del trabajo realizado.
- Si se desea abrir el trabajo con una versión anterior del programa a la utilizada, ello no es posible con el fichero .sdb. En cambio puede hacerse con el fichero \$.2k al modificar con un editor de texto, la versión del programa.
- Cuando tenemos varias estructuras de ficheros distintos e interesa enlazarlas en una nueva estructura. Además de la geometría, se importan todas las propiedades, cargas, etc. de cada una de ellas. Para ello abrimos una de ellas, guardamos con otro nombre, y sobre ese fichero vamos importando el resto (*File → Import → SAP2000.s2k Text File → Add to existing model*).

Deberán revisarse las coordenadas de los nudos comunes de cada subestructura, y comprobar que el sistema de ejes globales sea mismo en orientación y origen. El procedimiento incluye varias opciones para controlar la operación. Otro sistema es mover o girar la estructura importada hasta su posición definitiva.

El programa dispone de otra modalidad de cálculo, denomina *Model-Alive™* (tecla junto a *Run Analysis*). En este tipo de cálculo se pueden realizar modificaciones de la estructura de forma que el programa rehace automáticamente el cálculo tras efectuar la modificación. Puede ser de interés en estructuras sencillas con cambios concretos (por ejemplo, actualizar el cálculo cuando se modifica un perfil de una barra).

#### 5.7.8 OBTENCIÓN DE RESULTADOS

Los resultados pueden gestionarse de dos formas:

- Gráficos sobre un dibujo de la estructura calculada. Permiten comprobar con rapidez la *bondad* del cálculo por su aspecto general y localizar inmediatamente resultados de mayor interés. La ventana activa puede imprimirse mediante *File → Print Graphics*. Las opciones de impresora se activan mediante *File → Print Setup for Graphics*.

También resulta interesante el uso de *File → Capture Picture*, ya que permite crear un fichero “*jpg*” que luego puede ser insertado como imagen en otros programas (*Microsoft Word, Excel, etc.*). Se pueden realizar capturas de pantalla con la tecla *Impr Pant* del teclado o *Alt- Impr Pant* para la ventana activa, que desde el portapapeles de Windows se pueden insertar en muchos programas.

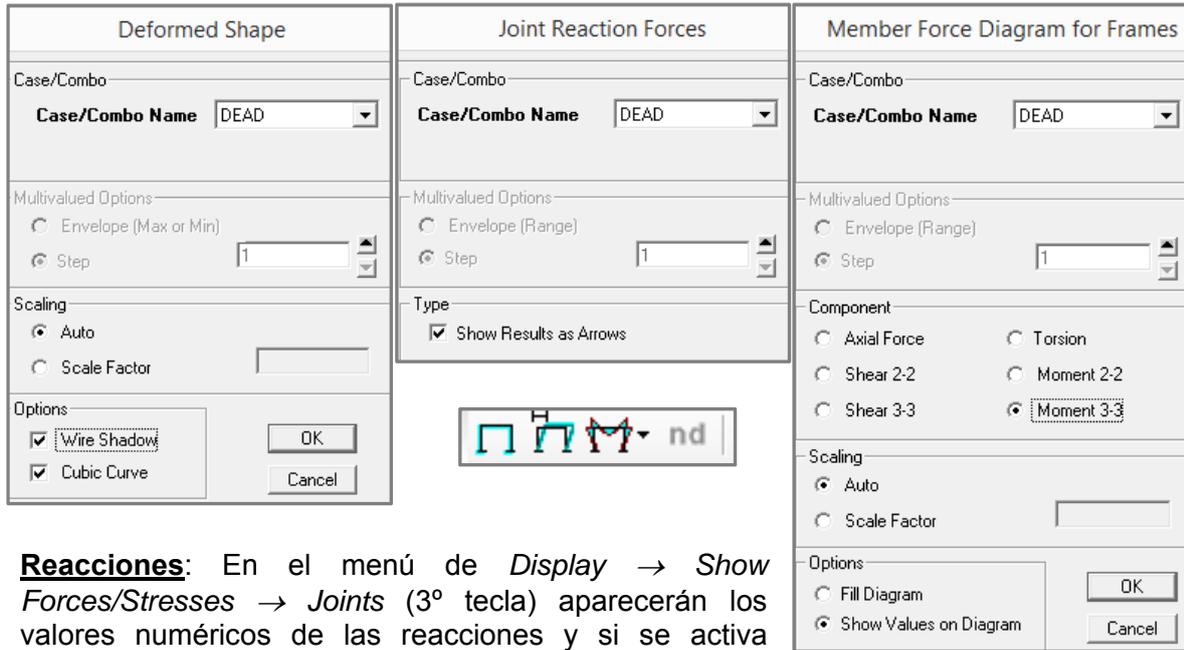
- Listados: Permiten obtener una relación parcial o total de una gran variedad de resultados (parcial si se ha realizado una preselección) y es útil por disponer de una información exhaustiva. Se suelen incluir en los Anejos de un proyecto técnico.

El programa permite obtener listados en pantalla, que a continuación pueden guardarse en ficheros, o bien directamente crear un archivo o abrirlo con otro programa (*Word (.rtf), Excel (.xls), Acces (.mdb)*).

##### 5.7.8.1 Información gráfica

**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* o la 2ª tecla de la barra de teclas.

Podemos seleccionar la hipótesis o combinación de carga, un factor de escala, posición inicial (*Wire Shadow*) y activar la curvatura de la viga (*Cubic Curve*). Acercándonos al nudo o pulsando con el botón derecho del ratón sobre el nudo obtenemos los movimientos del mismo.



**Reacciones:** En el menú de *Display* → *Show Forces/Stresses* → *Joints* (3<sup>o</sup> tecla) aparecerán los valores numéricos de las reacciones y si se activa *Arrow*, una flecha que refleja su dirección y sentido. Podemos seleccionarlo para cualquier hipótesis o combinación de carga.

**Esfuerzos:** En el menú de *Display* → *Show Forces/Stresses* → *Frames/Cables* (3<sup>o</sup> tecla), podemos seleccionar la hipótesis o combinación, el tipo de esfuerzo, factor de escala, visualización de los valores en la gráfica, etc.

Como opciones podemos dejar que SAP2000 escale el dibujo (*Auto*) o bien asignar nosotros un factor de escala. El dibujo puede ser un relleno con colores del diagrama, o una representación con líneas indicando los valores de los esfuerzos.

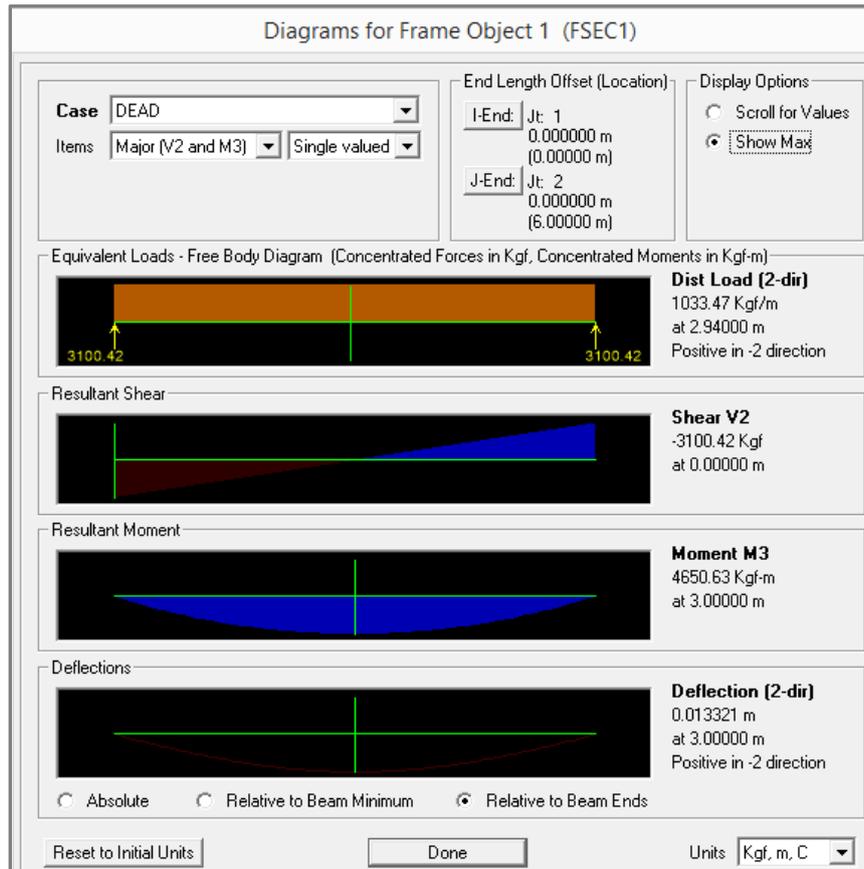
El esfuerzo en cada sección de una barra puede conocerse gráficamente con sólo pinchar encima de la barra en cuestión con el botón derecho del ratón. En la ventana siguiente se muestra un ejemplo de diagramas de esfuerzos y deformación de una barra.

Las *opciones* que se reflejan son las siguientes:

- *Case*: Hipótesis o combinación a mostrar
- *Items*: Esfuerzos que se desea representar (los agrupa en V2 y M3 o flexión simple vertical; V3 y M2 o flexión simple lateral; P y T o axil y torsor).
- *Display Options*: Obtener los máximos absolutos para cada caso, o bien el esfuerzo en la abscisa que se desea.
- *Equivalent Loads – Free Body Diagram*: Considerada la viga aislada, se representan los esfuerzos en los extremos y las cargas exteriores que verifican las condiciones de equilibrio estático de la barra aislada. Es la representación habitual en Resistencia de Materiales y Cálculo de Estructuras. Indica la carga uniforme aplicada.

Este diagrama proporciona bastante información, ya que el sentido de los esfuerzos (en amarillo) es el real de la barra.

- *Shear V2* (Cortante), *Moment M3* y *Deflections* (flechas): Desplazando la barra vertical se obtienen los esfuerzos en la sección en la que nos situamos (*Scroll for Values*). El programa obtiene los esfuerzos y flechas en las secciones en las que se encuentre dividida la sección e interpola linealmente para valores intermedios. También pueden obtenerse el máximo absoluto (*Show Max*). La flecha de consulta más habitual es la relativa a los extremos como fijos (*Relative to Beam Ends*).



### Choose Tables for Export to Excel

**Edit**

- MODEL DEFINITION (2 of 48 tables selected)**
  - System Data
  - Property Definitions
  - Load Pattern Definitions
  - Other Definitions
  - Load Case Definitions
  - Bridge Data
  - Connectivity Data
  - Joint Assignments
  - Frame Assignments
  - Options/Preferences Data
  - Miscellaneous Data**
    - Project Information
    - Material List
      - Table: Material List 1 - By Object Type
      - Table: Material List 2 - By Section Property
- ANALYSIS RESULTS (4 of 8 tables selected)**
  - Joint Output**
    - Displacements
      - Table: Joint Displacements
    - Reactions
      - Table: Joint Reactions
    - Joint Masses
  - Element Output**
    - Frame Output
      - Table: Element Forces - Frames
      - Table: Element Joint Forces - Frames
    - Objects and Elements
  - Structure Output**
    - Base Reactions
      - Table: Base Reactions

**Load Patterns (Model Def.)**

Select Load Patterns...  
1 of 1 Selected

---

**Load Cases (Results)**

Select Load Cases...  
1 of 1 Selected

Modify/Show Options...  
Set Output Selections...

---

**Options**

Selection Only

**Open File After Export**

Expose All Input Tables

---

**Named Sets**

Save Named Set...  
Show Named Set...  
Delete Named Set...

### 5.7.8.2 Obtención de listados

Un listado de esfuerzos de una barra (*Frame Forces*), desplazamientos (*Displacements*), reacciones (*Reactions*), reacciones totales (*Base Reactions*) de toda la estructura o un conjunto previa selección, puede obtenerse de forma inmediata en pantalla, tras haber seleccionado las combinaciones o hipótesis deseadas mediante las ordenes:

- *Display* → *Show Tables* → *Analysis Results*
- *File* → *Print Tables* → *Analysis Results*
- *File* → *Export* → *SAP2000 MS Excel Spreadsheet .xls File*

Los cuadros de resultados están ordenados y registrados por el programa con un formato predeterminado. Pueden modificarse o personalizarse las plantillas en las que aparece el formato por defecto de esos cuadros de resultados (*File* → *Create Custom Report*).

Los formatos de salida son: *.txt* (Editor de texto), *.rtf* (Word), *.xls* (Excel), *.mdb* (Acces). En el caso de formato *.rtf*, se recomienda la salida en apaisado (a lo ancho) o *Print Landscape*.

### 5.7.8.3 Reacciones totales

La obtención de las reacciones totales en apoyos puede utilizarse para realizar la verificación de los resultados y detectar errores fundamentalmente en la introducción de cargas (*Structure Output, Base Reactions*).

OutputCase	CaseType	GlobalFX	GlobalFZ	GlobalMY
Text	Text	Kgf	Kgf	Kgf-m

### 5.7.8.4 Peso de la estructura.

El peso de la estructura tiene interés para realizar o comprobar la medición de la estructura a efectos de redacción del presupuesto (*Miscellaneous* → *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

<b>ObjectType</b>	<b>Material</b>	<b>TotalWeight</b>	<b>NumPieces</b>
Text	Text	Kgf	Unitless

Table: Material List 2 - By Section Property

<b>Section</b>	<b>ObjectType</b>	<b>NumPieces</b>	<b>TotalLength</b>	<b>TotalWeight</b>
Text	Text	Unitless	m	Kgf

### 5.7.8.5 Esfuerzos

Un listado de esfuerzos de un conjunto de barras previamente seleccionadas (o de toda la estructura) en extremos de barras y en secciones intermedias (*Stations*) (*Element Output, Frame Output, Element Forces – Frames*). Con los esfuerzos se procede al dimensionado de las barras de la estructura.

<b>Frame</b>	<b>Station</b>	<b>OutputCase</b>	<b>CaseType</b>	<b>P</b>	<b>V2</b>	<b>M3</b>
	m			Kgf	Kgf	Kgf-m

#### 5.7.8.6 Deformaciones

Para los desplazamientos se selecciona *Joint Output* → *Displacements*. Se utiliza para realizar las comprobaciones de deformación de ciertos nudos de la estructura.

- U1: es el desplazamiento en la dirección del eje global X (horizontal)
- U3: es el desplazamiento en dirección del eje global Z (vertical)
- R2: es el giro alrededor del eje Y

<b>Joint</b>	<b>OutputCase</b>	<b>U1</b>	<b>U3</b>	<b>R2</b>
Text	Text	m	m	Radians

#### 5.7.8.7 Reacciones

Para las reacciones se selecciona *Joint Output* → *Reactions*. Se emplea para dimensionar los elementos de apoyo, como bases de anclaje en estructura metálica y cimentaciones.

- U1: es la resultante en dirección del eje global X (horizontal)
- U3: es la resultante en dirección del eje global Z (vertical)
- R2: es la resultante del momento según Y

<b>Joint</b>	<b>OutputCase</b>	<b>U1</b>	<b>U3</b>	<b>R2</b>
Text	Text	Kgf	Kgf	Kgf-m

## 6.- ESTRUCTURAS ANALIZADAS Y PLANTILLAS

Se adjuntan a continuación los ejemplos que se han desarrollado en el cálculo con programa. Los datos provienen de diversos proyectos técnicos de construcciones de edificación que se explicitan en las siguientes publicaciones:

- 1) *Proyecto de nave de estructura de acero (según EAE). N° 535*
  - Pórtico a dos aguas de acero para una nave (Tema 10)
  - Celosía de cubierta de acero para una nave (Tema 11)
- 2) *Curso de hormigón armado (según EHE-08). N° 40*
  - Pórtico de hormigón armado para un edificio de oficinas (Tema 16)
- 3) *Proyecto y cálculo de estructuras de madera. Parte 2. N° 106*
  - Cercha tradicional de madera (Ejemplo de cálculo 1)

Se adjuntan unas plantillas para facilitar al alumno la realización de las prácticas del proyecto que se le asigna en cada curso, de similar tipología estructural, pero de diferentes datos geométricos, perfiles de las barras y acciones actuantes.

Notas:

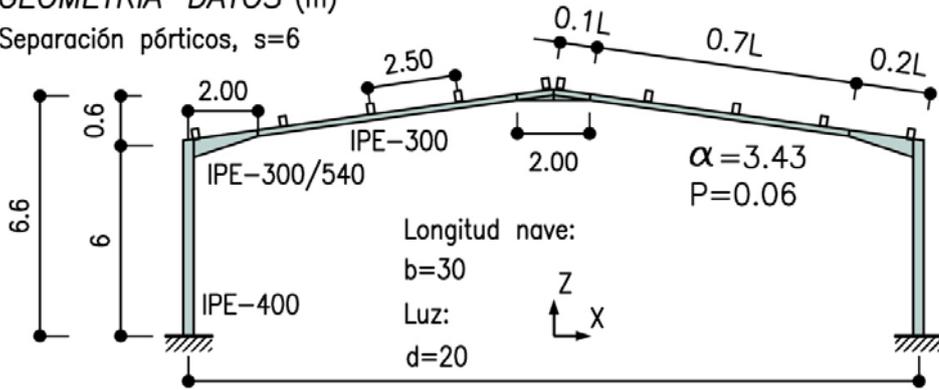
Se pueden introducir datos u operar en las zonas reseñadas en gris, siendo las zonas anaranjadas datos repetidos o simples cálculos (por defecto contiene 0) que realiza la propia plantilla. La tecla TAB permite el desplazamiento secuencial en las casillas.

Para rellenar la plantilla se recomienda visualizar conjuntamente la página de datos como referencia (*Ver, Presentación de página, Vista de dos páginas*).

En *Adobe Acrobat*, si es necesario, se borran todos los datos introducidos con *Herramientas, borrar Formularios, Borrar formulario*.

**GEOMETRIA-DATOS (m)**

Separación pórticos,  $s=6$



**MATERIAL** Acero S275JR  $W=7850 \text{ kg/m}^3$   $E=2.1 \cdot 10^6 \text{ kg/cm}^2$   $\mu=0.3$

**PERFILES** PILAR: IPE-400 ; DINTEL: IPE-300

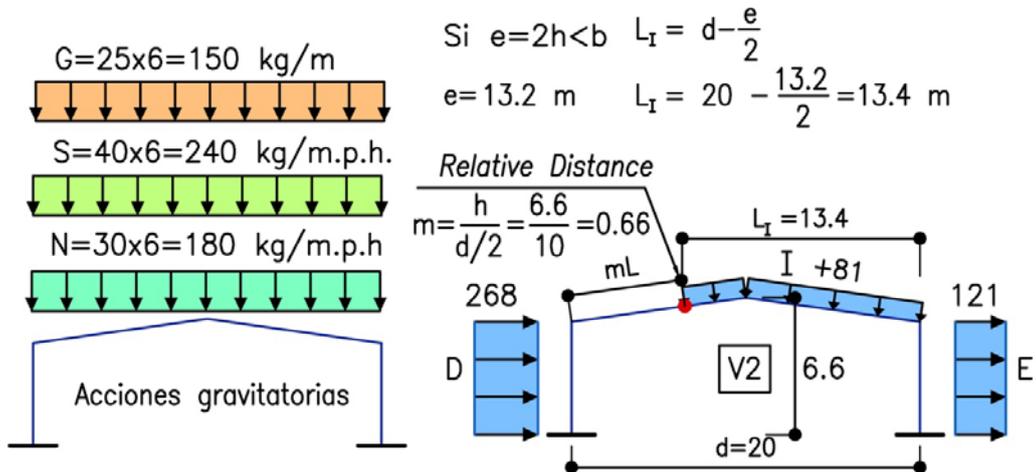
Acartelamiento esquina : IPE300/540 (mm)

$h=540$  ;  $b=150$  ;  $t_f=10.7$  ;  $t_w=7.1$

Acartelamiento cumbrera : IPE300/450  $h=450$

<b>ACCIONES</b>	1.- Cargas Permanentes : G	25
	2.- Sobrecarga de uso : S	40
<b>HIPOTESIS</b>	3.- Nieve : N	30
	4.- Viento Max Presión : V2	45

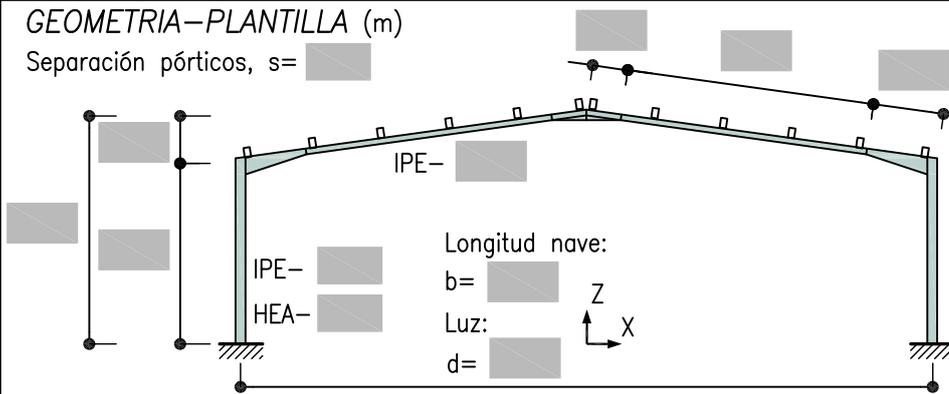
<b>COMBINACIONES</b>	Comb1) $1.35 G + 1.50 S + 0.75 N$
	Comb2) $1.35 G + 1.50 S + 0.75 N + 0.90 V2$
	ELS1) $G + S + N$
	ELS2) $G + S + 0.5N + 0.6V2$



ELEMENTO	ZONA EOLICA	$q_b$ kg/m <sup>2</sup>	$s$ pórticos m	$c_e$	$c_p$	Presión kg/m
PILARES	BARLOVENTO D	45	6	1.4	0.71	268
	SOTAVENTO E				0.32	121
DINTELES	ZONA I			1.5	0.20	81

**GEOMETRIA-PLANTILLA (m)**

Separación pórticos, s= [ ]



**MATERIAL** Acero S275JR  $W=7850 \text{ kg/m}^3$   $E=2.1 \cdot 10^6 \text{ kg/cm}^2$   $\mu=0.3$

**PERFILES** PILAR: IPE- [ ] ó HEA- [ ]; DINTEL: IPE- [ ]

Acartelamiento esquina : IPE [ ] / [ ] (mm)

$h= [ ]$ ;  $b= [ ]$ ;  $t_f= [ ]$ ;  $t_w= [ ]$

Acartelamiento cumbrera : IPE [ ] / [ ]  $h= [ ]$

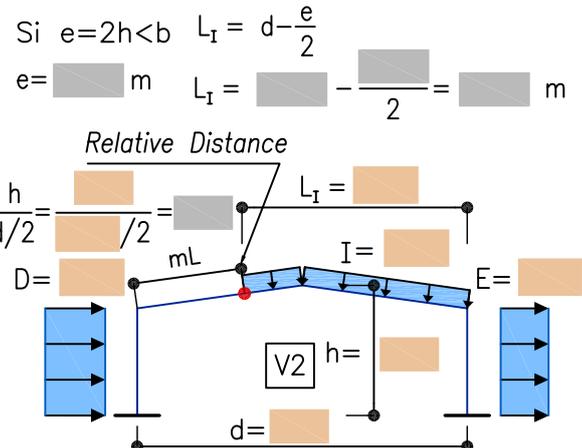
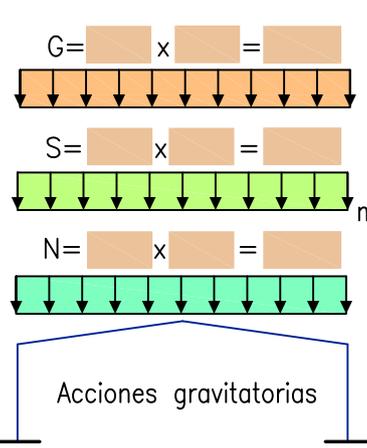
**ACCIONES**

- 1.- Cargas Permanentes : G [ ]
- 2.- Sobrecarga de uso : S [ ]
- 3.- Nieve : N [ ]
- 4.- Viento Max Presión : V2 [ ]

**HIPOTESIS**

**COMBINACIONES**

- Comb1)  $1.35 G + 1.50 S + 0.75 N$
- Comb2)  $1.35 G + 1.50 S + 0.75 N + 0.90 V2$
- ELS1)  $G + S + N$
- ELS2)  $G + S + 0.5N + 0.6V2$

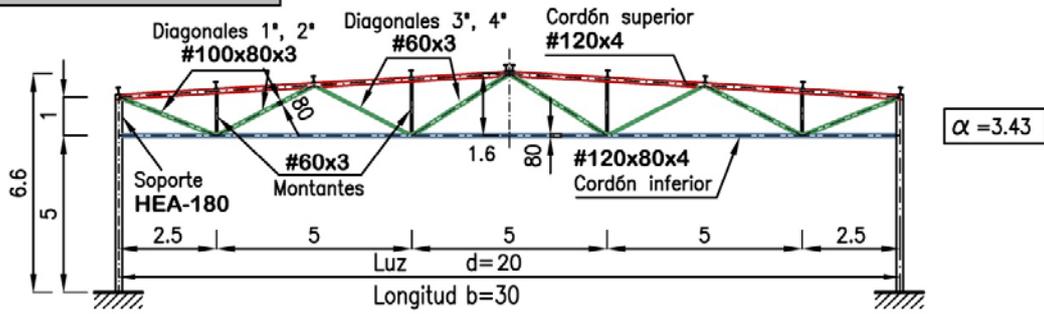


ELEMENTO	ZONA EOLICA	$q_b$ kg/m <sup>2</sup>	$s$ pórticos m	$c_e$	$c_p$	Presión kg/m
PILARES	BARLOVENTO D	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	D= [ ]
	SOTAVENTO E					E= [ ]
DINTELES	ZONA I			[ ]	[ ]	I= [ ]

**GEOMETRIA PERFILES**

Unidades: m, kg

**DATOS**

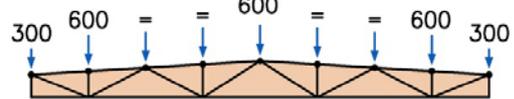


**ACCIONES**

COMBINACIONES Añadir a Comb1, Comb2, ELS-1, ELS-2:  
 Comb3)  $1.35 G + 0.75 N + 1.5 V2$   
 ELS-3)  $G + 0.5 N + V2$

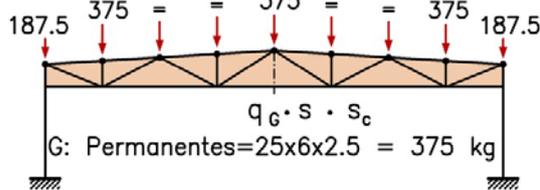
$q_G = 25$        $s = 6.0m$  (Pórticos)  
 $q_S = 40$        $s_c = 2.5m$  (Correas)  
 $q_N = 30$

**SOBRECARGA DE USO**



$q_S \cdot s \cdot s_c$   
 S : Uso =  $40 \times 6 \times 2.5 = 600 \text{ kg}$

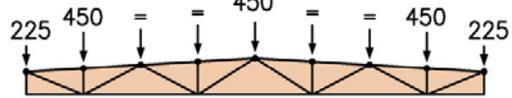
**ACCIONES PERMANENTES**



(Esquinas: la mitad)

$q_G \cdot s \cdot s_c$   
 G: Permanentes =  $25 \times 6 \times 2.5 = 375 \text{ kg}$

**SOBRECARGA DE NIEVE**

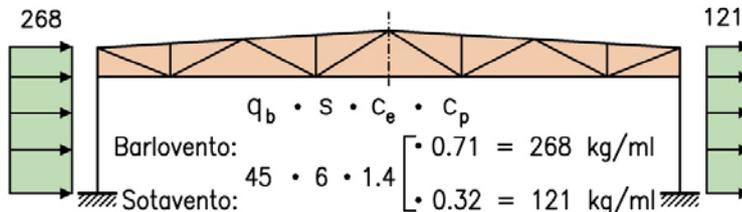


$q_N \cdot s \cdot s_c$   
 N : Nieve =  $30 \times 6 \times 2.5 = 450 \text{ kg}$

**VIENTO PILARES V2**

(igual al pórtico)  $q_b = 45$

$C_e = 1.40$   
 $C_{p,barlo} = 0.71$   
 $C_{p,sotav} = 0.32$



$q_b \cdot s \cdot C_e \cdot C_p$   
 Barlovento:  $45 \cdot 6 \cdot 1.4 \cdot 0.71 = 268 \text{ kg/ml}$   
 Sotavento:  $45 \cdot 6 \cdot 1.4 \cdot 0.32 = 121 \text{ kg/ml}$

**VIENTO CUBIERTA V2**

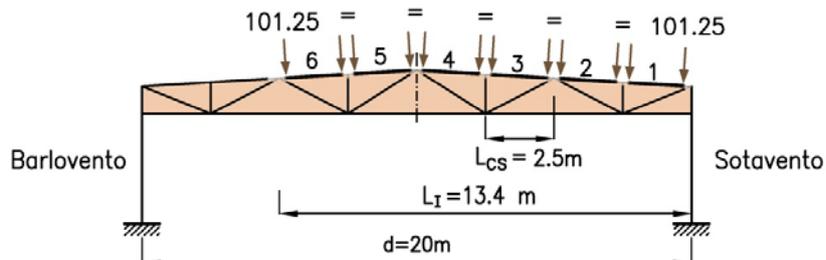
Carga puntual en extremo de barra

$C_e = 1.50$        $C_p = 0.20$

Longitud zona I

Número de barras con carga:

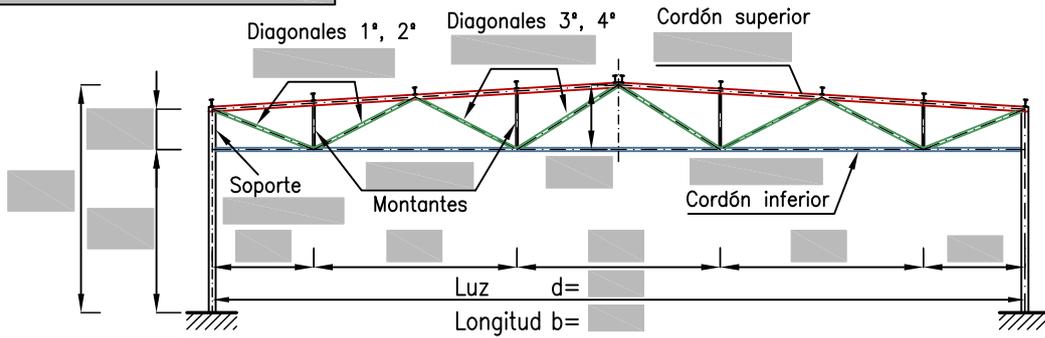
$q_b \cdot s \cdot C_e \cdot C_p \cdot L_{cs} / 2$   
 $45 \times 6 \times 1.5 \times 0.2 \times 2.5 / 2 = 101.25 \text{ kg}$   
 $e=2h < b \quad L_I = d - \frac{e}{2}$   
 $e=13.2 \text{ m} \quad L_I = 20 - \frac{13.2}{2} = 13.4 \text{ m}$   
 $\frac{L_I}{L_{cs}} = \frac{13.4}{2.5} = 5.4 \text{ barras} \rightarrow 6 \text{ barras}$



**GEOMETRIA PERFILES**

Unidades: m, kg

PLANTILLA

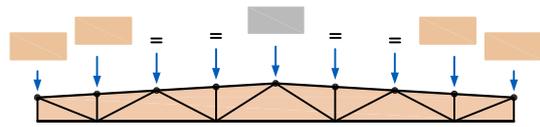


**ACCIONES**

COMBINACIONES Añadir a Comb1, Comb2, ELS-1, ELS-2:  
 Comb3) 1.35 G + 0.75 N + 1.5 V2  
 ELS-3) G + 0.5 N + V2

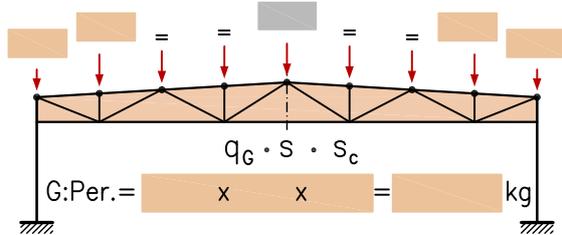
$q_G =$    $s =$   m (Pórticos)  
 $q_S =$    $s_c =$   m (Correas)  
 $q_N =$

**SOBRECARGA DE USO**



$S: \text{Uso} = \frac{q_S \cdot s \cdot s_c}{x \cdot x} =$   kg

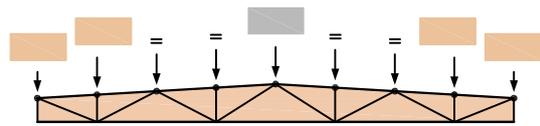
**ACCIONES PERMANENTES**



$G: \text{Per.} = \frac{q_G \cdot s \cdot s_c}{x \cdot x} =$   kg

(Esquinas: la mitad)

**SOBRECARGA DE NIEVE**

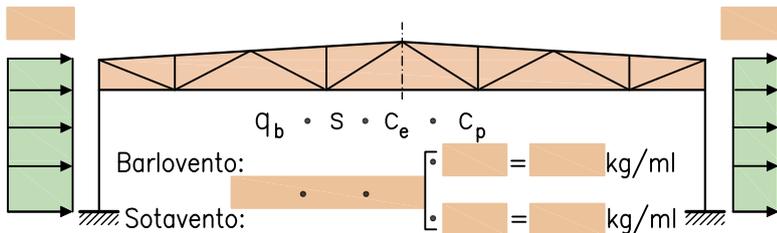


$N: \text{Nieve} = \frac{q_N \cdot s \cdot s_c}{x \cdot x} =$   kg

**VIENTO PILARES V2**

(igual al pórtico)  $q_b =$

$C_e =$    
 $C_{p, \text{barlovento}} =$    
 $C_{p, \text{sotavento}} =$



$q_b \cdot s \cdot C_e \cdot C_p$   
 Barlovento:  kg/ml  
 Sotavento:  kg/ml

**VIENTO CUBIERTA V2**

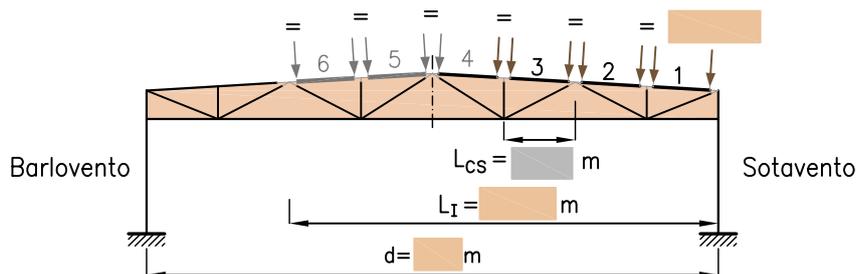
Carga puntual en extremo de barra

$C_e =$    $C_p =$

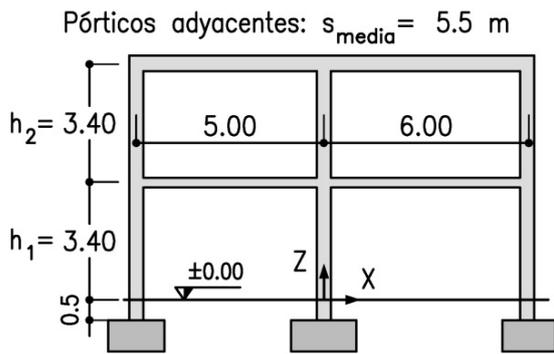
Longitud zona I

Número de barras con carga:

$\frac{q_b \cdot s \cdot C_e \cdot C_p \cdot L_{cs}}{2}$   
 $\frac{x \cdot x \cdot x \cdot x}{2} =$   kg  
 $e = 2h < b \quad L_I = d - \frac{e}{2}$   
 $e =$   m  $L_I =$   -  $\frac{e}{2} =$   m  
 $\frac{L_I}{L_{cs}} =$   =  barras  $\rightarrow$   barras

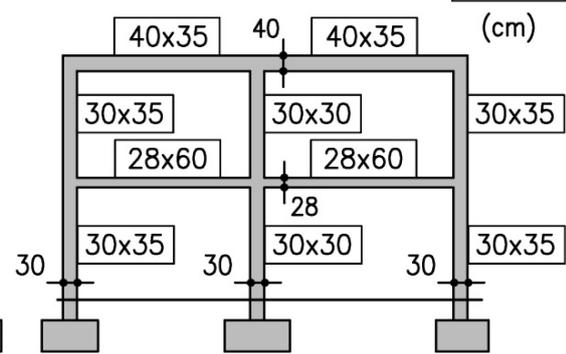


1) GEOMETRIA (m)



2) PROPIEDADES DE LAS BARRAS

$h \times b$



3) PROPIEDADES DEL MATERIAL HA-30  $W=2500 \text{ kg/m}^3$   $E=12200 \text{ N/mm}^2$   $\mu=0.15$

4) HIPOTESIS DE CARGA

		FORJADOS $\text{kN/m}^2$	
		1°Pl.	Cub.
HIPOTESIS 1 PERMANENTE	G	6.2	5.7
HIPOTESIS 2 USO	S	2.0	1.0
HIPOTESIS 3 NIEVE	N		1.0

G CERRAMIENTO

2.4  $\text{kN/m}^2$

$$h_2 \cdot s_{media} \cdot G_{cerram.} = 3.40 \cdot 5.5 \cdot 2.4 = 44.8 \text{ kN}$$

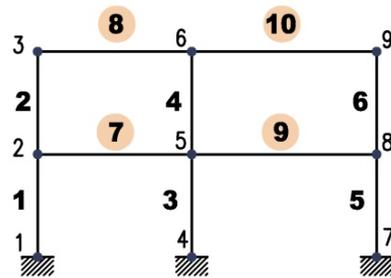
HIPOTESIS 4 VIENTO  $\rightarrow$   $V1 = q_b \cdot c_e \cdot c_p = 0.5 \cdot 2.6 \cdot 1.20 = 1.56 \text{ kN/m}^2$

HIPOTESIS 5 VIENTO  $\leftarrow$   $-V1$

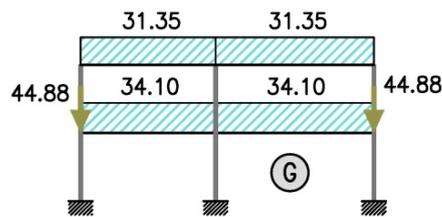
$$h_{media} \cdot s_{media} \cdot V1 \begin{cases} 1^\circ \text{Pl. } 3.4 \cdot 5.5 \cdot 1.56 = 29.17 \text{ kN} \\ \text{Cub. } 2.9 \cdot 5.5 \cdot 1.56 = 24.88 \text{ kN} \end{cases}$$

5) COMBINACIONES DE CARGA

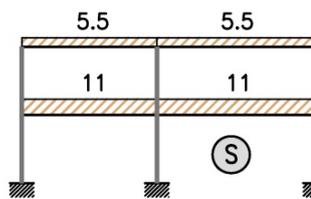
	G	S	N	V1	
COMB1	1.35	1.50	0.75		
COMB2	1.35	1.50	0.75	0.90	
COMB3	1.35	1.50	0.75	-0.90	
COMB4	1.35	1.05	0.75	1.50	
COMB5	1.35	1.05	0.75	-1.50	
	COMB1	COMB2	COMB3	COMB4	COMB5
COMB6	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0



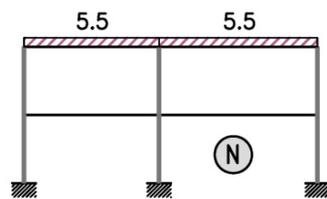
6) ACCIONES  $\text{kN, kN/m}$



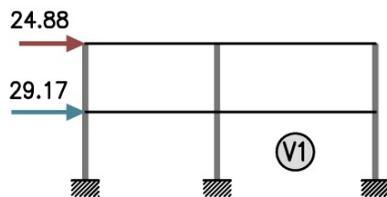
PERMANENTE (FORJADOS, CERRAMIENTOS)



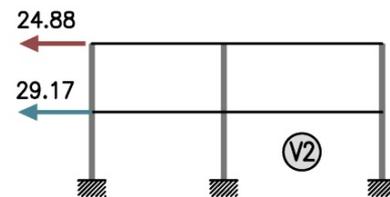
SOBRECARGA DE USO



SOBRECARGA DE NIEVE



VIENTO IZQ-DER.



VIENTO DER.-IZQ.

**1) GEOMETRIA (m) PLANTILLA**

Pórticos adyacentes:  $s_{media} =$   m

**2) PROPIEDADES DE LAS BARRAS**  $h \times b$  (cm)

---

**3) PROPIEDADES DEL MATERIAL** HA-   $W=2500 \text{ kg/m}^3$   $E=$    $\text{N/mm}^2$   $\mu=0.15$

**4) HIPOTESIS DE CARGA**

	FORJADOS $\text{kN/m}^2$	
	1ª Pl.	Cub.
HIPOTESIS 1 PERMANENTE <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">G</span>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
HIPOTESIS 2 USO <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">S</span>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
HIPOTESIS 3 NIEVE <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">N</span>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

**G CERRAMIENTO**  
  $\text{kN/m}^2$

$h_2 \cdot s_{media} \cdot G_{cerram.} =$   
  $\cdot$    $\cdot$    $=$    $\text{kN}$

HIPOTESIS 4 VIENTO  $\rightarrow$  V1  $= q_b \cdot c_e \cdot c_p =$    $\cdot$    $\cdot$    $=$    $\text{kN/m}^2$

HIPOTESIS 5 VIENTO  $\leftarrow$   $-V1$

$h_{media} \cdot s_{media} \cdot V1$	1ª Pl. <input type="text"/> $\cdot$ <input type="text"/> $\cdot$ <input type="text"/> $=$ <input type="text"/> $\text{kN}$
	Cub. <input type="text"/> $\cdot$ <input type="text"/> $\cdot$ <input type="text"/> $=$ <input type="text"/> $\text{kN}$

---

**5) COMBINACIONES DE CARGA**

	G	S	N	V1	
COMB1	1.35	1.50	0.75		
COMB2	1.35	1.50	0.75	0.90	
COMB3	1.35	1.50	0.75	-0.90	
COMB4	1.35	1.05	0.75	1.50	
COMB5	1.35	1.05	0.75	-1.50	
	COMB1	COMB2	COMB3	COMB4	COMB5
COMB6	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

---

**6) ACCIONES**  $\text{kN}, \text{kN/m}$

PERMANENTE  
(FORJADOS, CERRAMIENTOS)

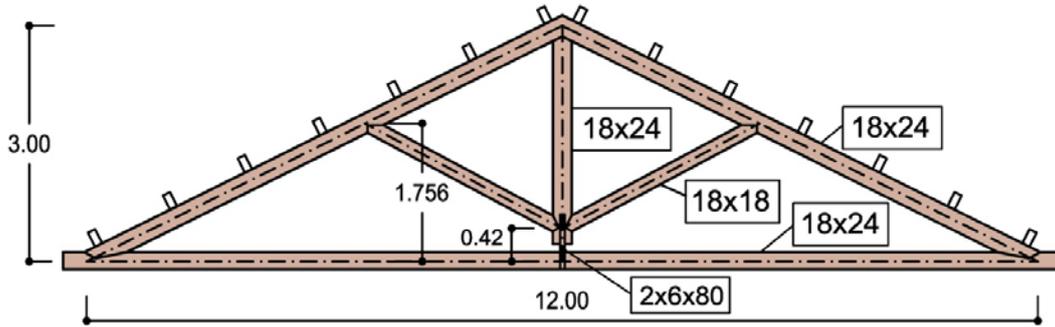
SOBRECARGA DE USO

SOBRECARGA DE NIEVE

VIENTO IZQ-DER.

VIENTO DER.-IZQ.

1) GEOMETRIA Y PROPIEDADES DE LAS BARRAS  
(m)



3) MATERIAL C24  $W=420 \text{ kg/m}^3$   $E1=1.1 \cdot 10^9 \text{ kg/m}^2$   $G12=6.9 \cdot 10^7 \text{ kg/m}^2$

4) HIPOTESIS DE CARGA

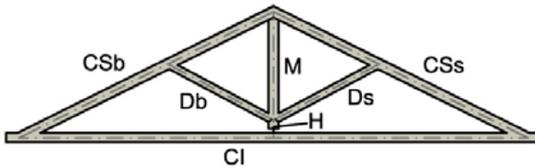
HIPOTESIS 1	PERMANENTE	G	HIPOTESIS 4	VIENTO SUCCION	V1
HIPOTESIS 2	SOBRECARGA USO	S	HIPOTESIS 5	VIENTO PRESION	V2
HIPOTESIS 3	NIEVE	N			

5) COMBINACIONES DE CARGA

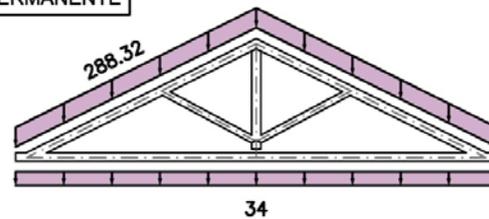
	G	S	N	V1	V2
COMB1	1.35				
COMB2	1.35	1.50			
COMB3	1.35		1.50		
COMB4	1.35				1.50
COMB5	0.80			1.50	

	G	S	N	V1	V2
COMB6	1.35	1.50	0.75		
COMB7	1.35	1.50			0.90
COMB8	1.35	1.50	0.75		0.90
COMB9	1.35		1.50		0.90
COMB10	1.35		0.75		1.50

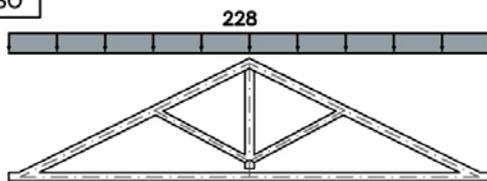
6) ACCIONES kg/m



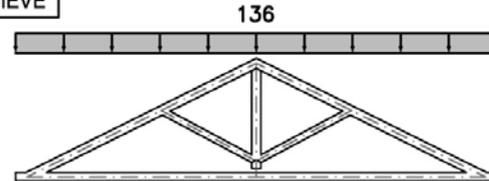
PERMANENTE



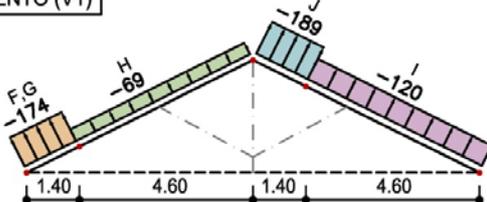
USO



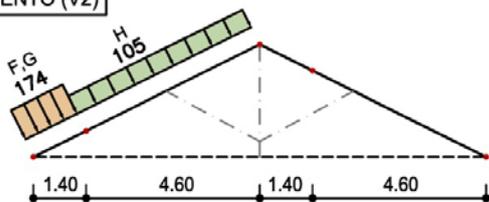
NIEVE



VIENTO (V1)

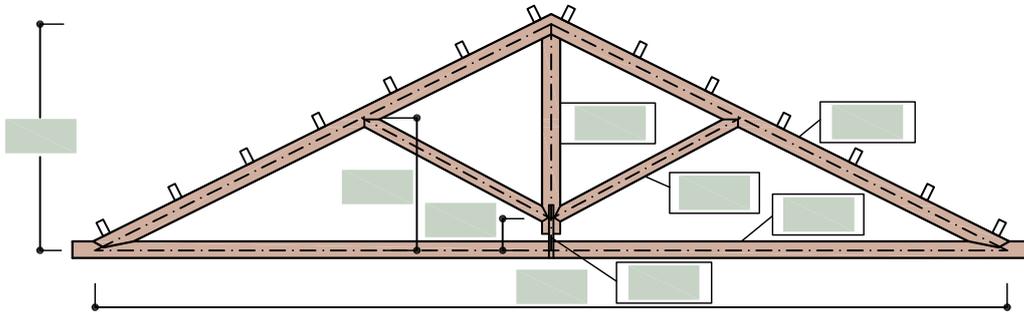


VIENTO (V2)



1) GEOMETRIA Y PROPIEDADES DE LAS BARRAS  
(m)

PLANTILLA



2) MATERIAL  $W = \text{[ ] kg/m}^3$   $E1 = \text{[ ]} \cdot 10^9 \text{ kg/m}^2$   $G12 = \text{[ ]} \cdot 10^7 \text{ kg/m}^2$

3) HIPOTESIS DE CARGA

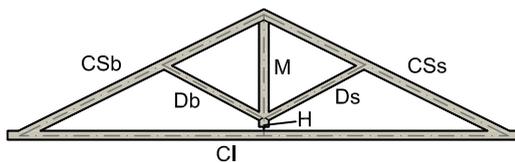
HIPOTESIS 1	PERMANENTE	G	HIPOTESIS 4	VIENTO SUCCIÓN	V1
HIPOTESIS 2	SOBRECARGA USO	S	HIPOTESIS 5	VIENTO PRESIÓN	V2
HIPOTESIS 3	NIEVE	N			

4) COMBINACIONES DE CARGA

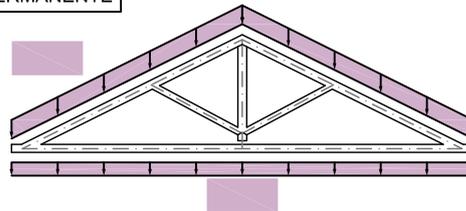
	G	S	N	V1	V2
COMB1	1.35				
COMB2	1.35	1.50			
COMB3	1.35		1.50		
COMB4	1.35				1.50
COMB5	0.80			1.50	

	G	S	N	V1	V2
COMB6	1.35	1.50	0.75		
COMB7	1.35	1.50			0.90
COMB8	1.35	1.50	0.75		0.90
COMB9	1.35		1.50		0.90
COMB10	1.35		0.75		1.50

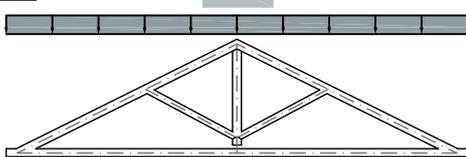
5) ACCIONES kg/m



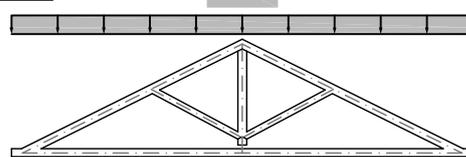
PERMANENTE



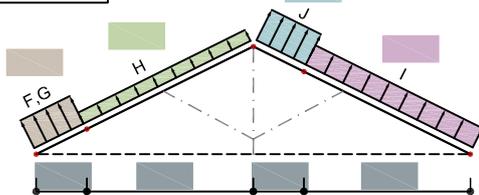
USO



NIEVE



VIENTO (V1)



VIENTO (V2)

