

17.- ESTRUCTURA TRIANGULADA (SAP2000 v. 15)

DATOS CON PLANTILLA INICIAL

17.1 - Geometría

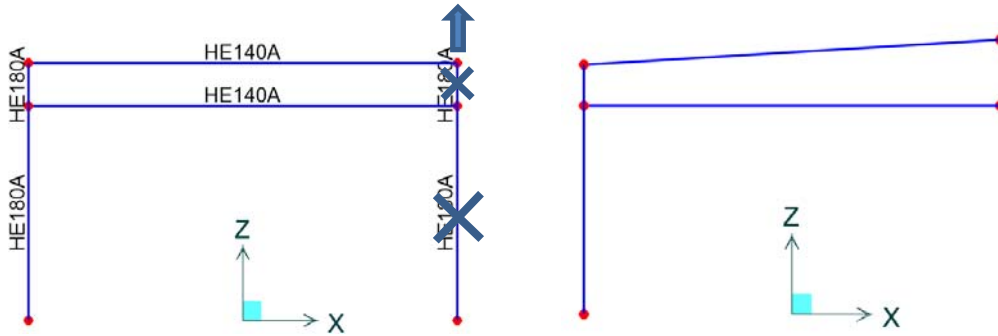
Paso 1: Para generar la estructura, en *Edit* → *Add to Model from Template* (Ctrl.-T), elegimos el modelo **2D Frames**.

Creamos ½ celosía (izquierda o barlovento) y el soporte. Con una simetría generaremos más adelante el resto, cuando estén definidas las propiedades de las barras y cargas.

	Grid ID	Ordinate	Line Type	Visibility	Bubble Loc.
1	Z1	0.	Primary	Show	End
2	Z2	5.	Primary	Show	End
3	Z3	6.	Primary	Show	End

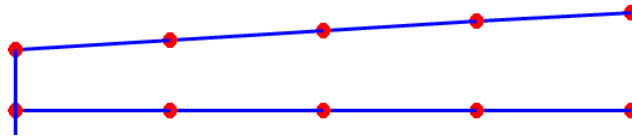
- Construimos dos rectángulos (*Stories* (alturas) = 2, *Bays* (vanos) = 1)
- Altura de cada rectángulo: *Story Height* = 5. Es la altura hasta el cordón inferior. Al 2º rectángulo el programa asigna igual altura, lo que se corregirá a continuación
- Anchura de ambos rectángulos: *Bay Width* = 10 (es media luz de la celosía)
- En *Sections Properties*, *Columns*, se localiza el perfil del pilar H 180A
- Se desactiva *Restrains* (se definirá más adelante)
- Se activa *Use Custom Grid Spacing and Locate Origin* y aparece una ventana:
 - Se corrige en *Z Grid Data*, la *Ordinate* Z3, que pone 10 (doble de 5) por **6**, que es la altura total del pilar.
 - Al activar *Hide All Grid Lines*, se elimina la rejilla innecesaria que crea el programa
- Se confirman (Ok) todas las ventana
- Se borra los dos tramos del soporte derecho, pues no existen
- Se mueve el nudo superior derecho, que tiene una altura de 6 m, hasta su posición definitiva, que es 6.6 m. *Desplazamos la esquina superior derecha* 0.6 m (pendiente del 6%). hacia arriba.

Se selecciona **sólo** el nudo y mediante la orden *Edit* → *Move* → *Delta Z* "0.6", la cumbrera se desplaza hasta su posición.




El recuadro de la media celosía quedará centrado en los ejes globales.

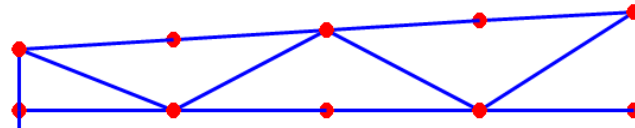
Paso 2: Se dividen los cordones en barras para construir la triangulación. Partimos *ambos cordones en 4 barras*: *Edit* → *Edit Lines* → *Divide Frames* → *Divide into Specified Number of Frames*, se anota **4** en el recuadro *Number of Frames*



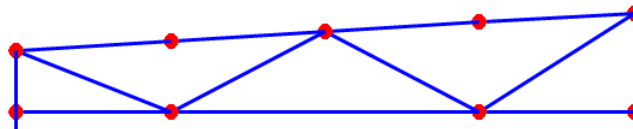
Paso 3: Vamos a construir la triangulación mediante la siguiente secuencia. Para generar las barras, se va a utilizar *la tecla Draw Frame/Cable Element*  que se encuentra en la botonera vertical a la izquierda de la pantalla (4º tecla).

El cursor se cambia a una flecha vertical. Se crean las barras pinchando el nudo origen, a continuación el nudo final. Para terminar, se desactiva con el botón derecho del ratón. Pulsamos la tecla *Set Select Mode* para volver al modo normal de edición () (1º tecla de la botonera vertical izquierda).

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

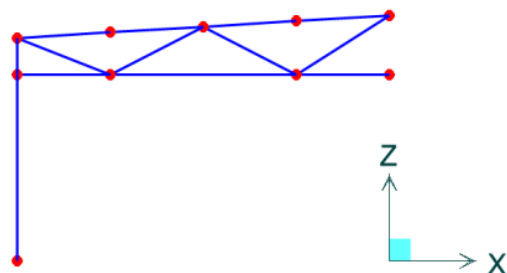


Paso 4: El cordón inferior queda partido en más barras de las necesarias. Aunque no es estrictamente necesario, seleccionamos las dos barras centrales de dicho cordón y las unimos (*Edit* → *Edit Lines* → *Join Frames*).



Paso 5: Se traslada todo el dibujo generado para que el eje de la estructura completa coincida con la ordenada $X = 0$, pues facilita la realización de la posterior simetría y la apariencia de la ventana (vista centrada). Se selecciona toda la estructura creada y se desplaza -5 m según X (el cuarto de la luz):

Edit → *Move* → *Delta X = -5*.



17.2 - Restricciones o apoyos

La base del pilar está empotrada. Se restringen todos los movimientos posibles, traslaciones y giros según los ejes globales X, Y, Z. Se selecciona la base del pilar y se abre *Assign* → *Joint* → *Restraints*, marcamos todas las casillas o seleccionamos el icono de empotramiento.

17.3 - Propiedades de las barras

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

Tipo de perfil	Tubo	Designación	t3	t2	t _f , t _w
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 : Se definen y asignan a la vez las propiedades: Se selecciona el cordón inferior y abrimos la orden *Assign* → *Frame* → *Frame Sections* → *Add New Property* → *Tube*.

Section Name: R80-120-4

Material: S275JR

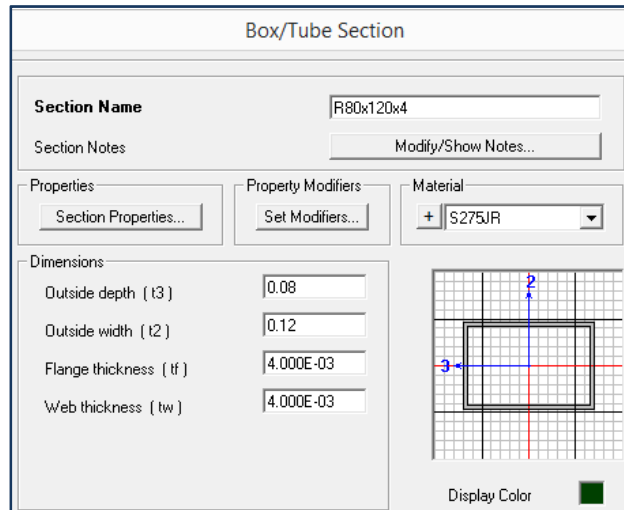
Outside Depht (canto): t₃ = 0.08

Outside Width (ancho): t₂ = 0.12

Flange thickness: t_f = 0.004

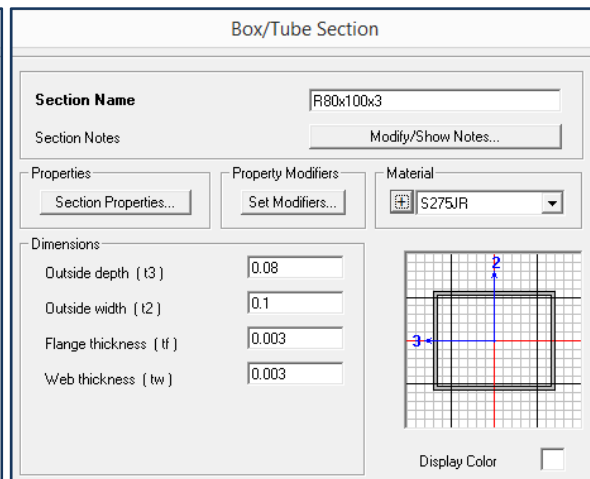
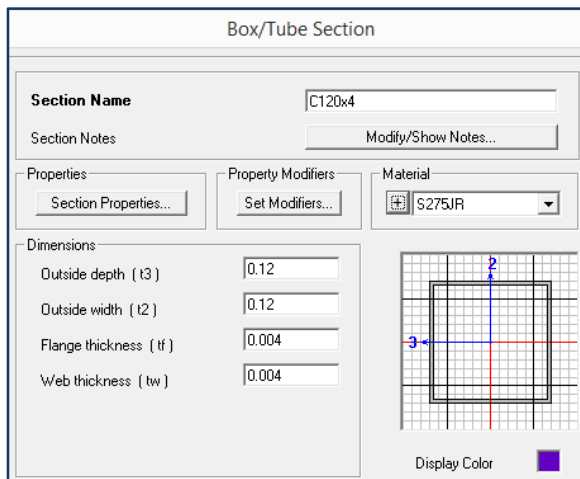
Web thickness: t_w = 0.004

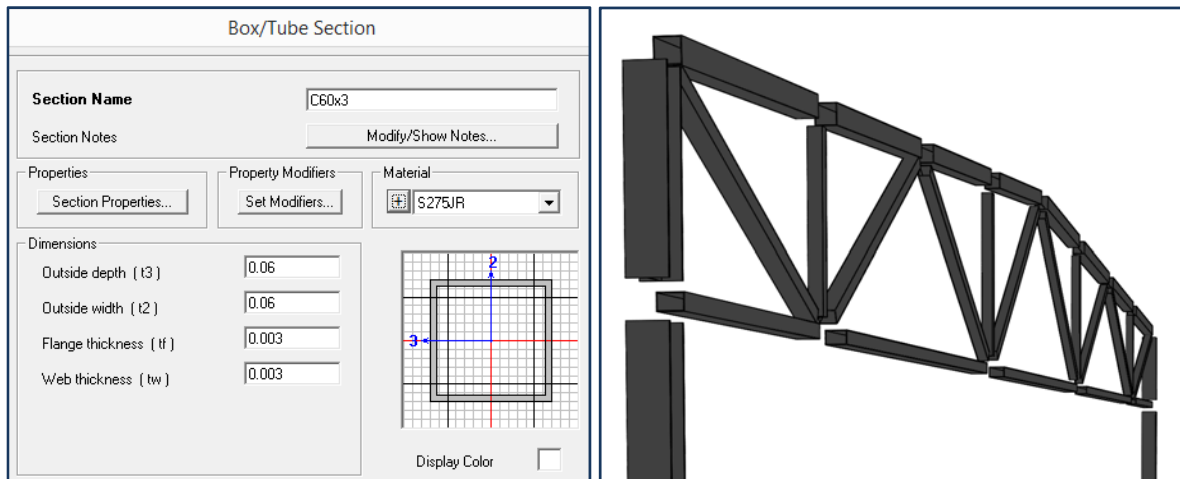
Nota: se observa que el tubo se coloca en apaisado o de plano. En una vista frontal o en alzado muestra su dimensión menor (8 cm).



Paso 3 : Se selecciona el cordón superior.

El perfil es C120x4. Con la orden *Assign* → *Frame* → *Frame Sections* → *Add Copy of Property*, se selecciona R80x120x4, se cambia el nombre (C120x4) y el canto t₃ = 0.12. Se procede de la misma forma con el resto de barras (las dos diagonales junto al pilar, R80x100x3; las dos diagonales centrales y montantes, C60x3).





17.4 - Acciones verticales

Paso 1: Acciones verticales. Definir las cargas en nudos para cada hipótesis y asignarlas.

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*)

Cada vez que abramos la orden, seleccionamos los nudos del cordón superior salvo los extremos (carga distinta pues es la mitad del resto). Finalizado el grupo de nudos interiores, se seleccionan los extremos y se abre el cuadro para introducir su carga.

Joint Forces

Load Pattern Name: + | G

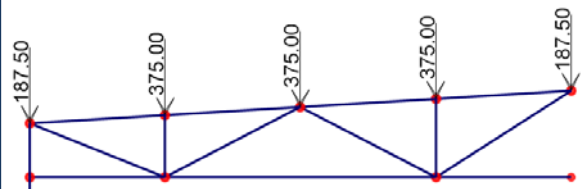
Units: Kgf, m, C

Coordinate System: GLOBAL

Options: Add to Existing Loads, Replace Existing Loads

Loads:

- Force Global X: 0.
- Force Global Y: 0.
- Force Global Z: -375
- Moment about Global X: 0.



Carga permanente

Joint Forces

Load Pattern Name: + | S

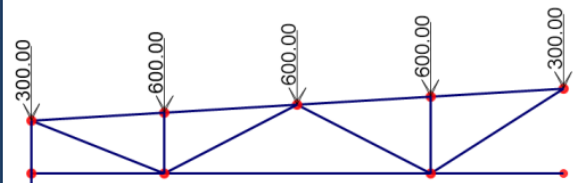
Units: Kgf, m, C

Coordinate System: GLOBAL

Options: Add to Existing Loads, Replace Existing Loads

Loads:

- Force Global X: 0.
- Force Global Y: 0.
- Force Global Z: -600
- Moment about Global X: 0.



Sobrecarga de uso

Joint Forces

Load Pattern Name: + | N

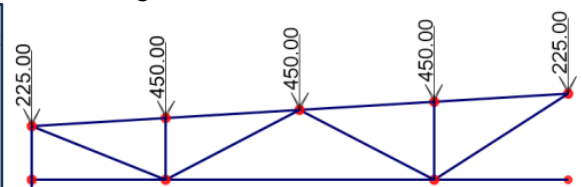
Units: Kgf, m, C

Coordinate System: GLOBAL

Options: Add to Existing Loads, Replace Existing Loads

Loads:

- Force Global X: 0.
- Force Global Y: 0.
- Force Global Z: -450
- Moment about Global X: 0.



Sobrecarga de nieve

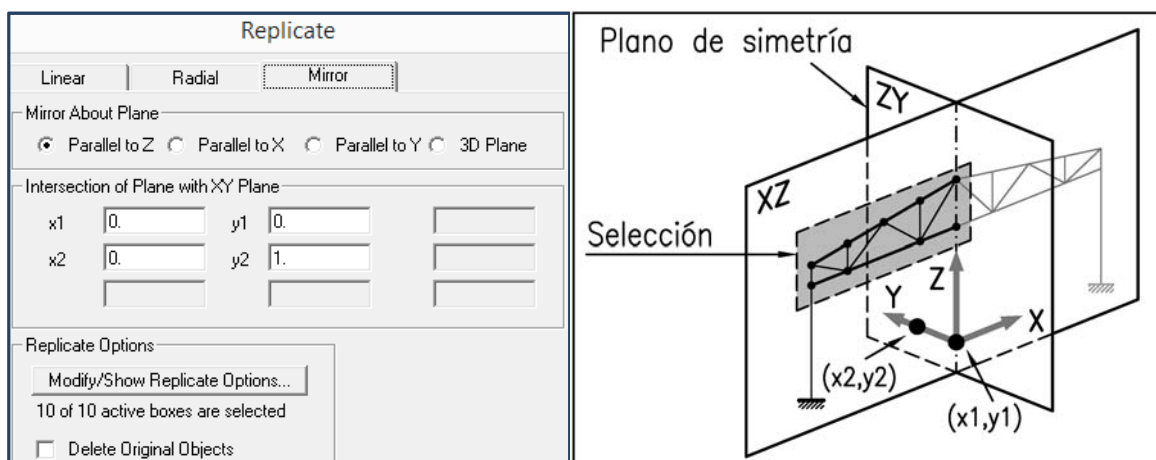
- Se introduce el *valor* de la carga (signo negativo para las gravitatorias) (*Loads*)

- **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)

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

17.5 - 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.



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

Se selecciona toda la estructura 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: $[x1, y1] = [0, 0]$; $[x2, y2] = [0, 1]$

Paso 2.- 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.

17.6 - Acción de viento en cubierta

17.6.1 - 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_1 (se aplica un coeficiente $c_p = +0.2$):

$$L_1 = d - e/2 = d - \min[b, 2h]/2 = 20 - \min[30, 13.2]/2 = 13.4 \text{ m}$$

b: longitud de la nave en la dirección normal al viento: $b = 30$ m

h: altura total de la nave: $h = 6.6$ m

d: longitud en la dirección paralela al viento: $d = 20$ m

17.6.2 - 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 $L_c/2 = 1.25$ 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 m

L_c : longitud de la barra o separación entre nudos:

$L_c = 2.5$ m

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

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

Paso 1: Se seleccionan las seis barras del cordón superior a partir del 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 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*.

Paso 2: Viento en pilares: idénticas a los pilares del pórtico. Se seleccionan cada vez **ambos tramos** del pilar a barlovento y a sotavento (*Assign* → *Frame Loads* → *Distributed*).

PILARES: BARLOVENTO (268)

SOTAVENTO (121)

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

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

Uniform Load: Load: 268

OK Cancel

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

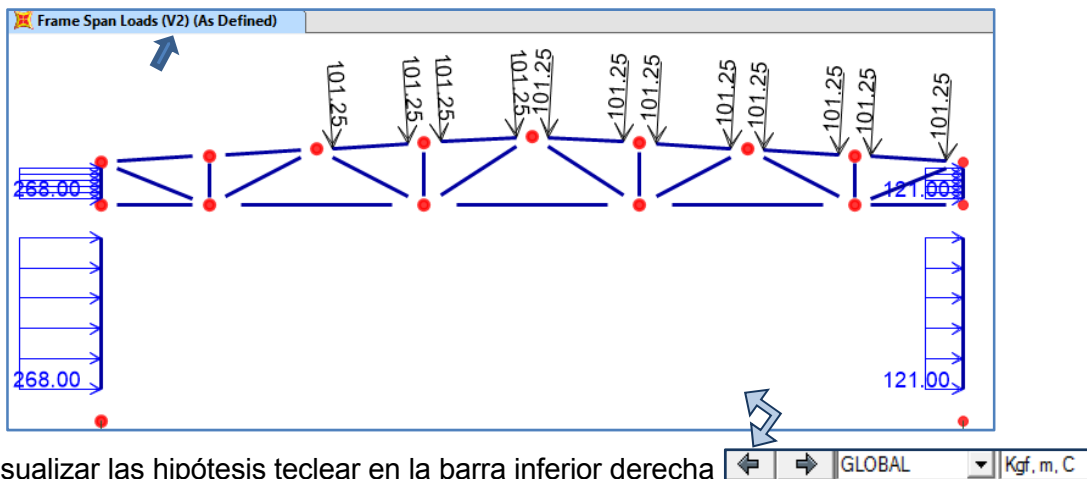
Trapezoidal Loads:

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

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

Uniform Load: Load: 121

OK Cancel



Para visualizar las hipótesis teclear en la barra inferior derecha **GLOBAL** o con la orden **Display** → **Show Load Assigns** → **Joint** (o **Frame** para V2)


17.7 - 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 suficiente con **2** secciones.

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).

17.8 - Cálculo

El cálculo tiene lugar al teclear el botón  de la botonera o barra horizontal superior o bien en el menú desplegable **Analyze** → **Run**, o bien la tecla F5. Para efectuar el cálculo debemos teclear en la parte inferior **Run now**.

17.9 - Obtención de resultados

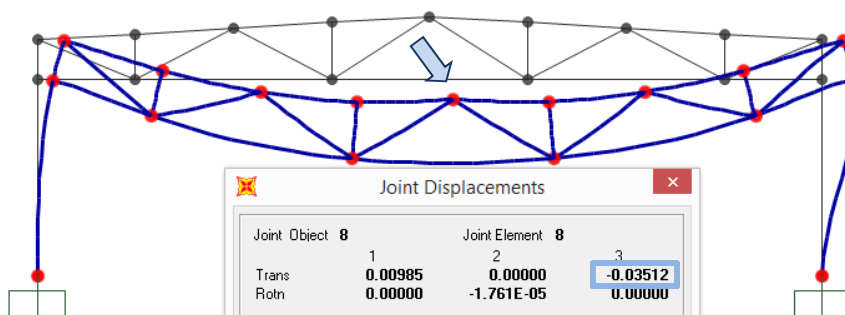
17.9.1 - INFORMACIÓN GRÁFICA

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 activar la curvatura o giros de la viga (*Cubic Curve*).

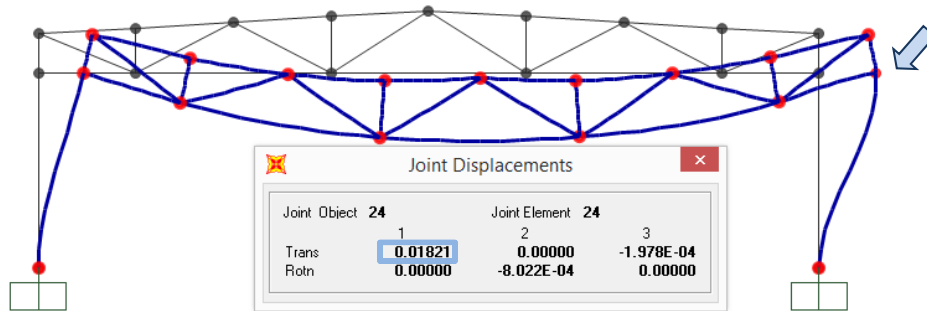
Acercándonos al nudo o pulsando con el botón derecho del ratón sobre el nudo obtenemos los movimientos del mismo. Podemos realizar la comprobación de flechas, que es sencilla.

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



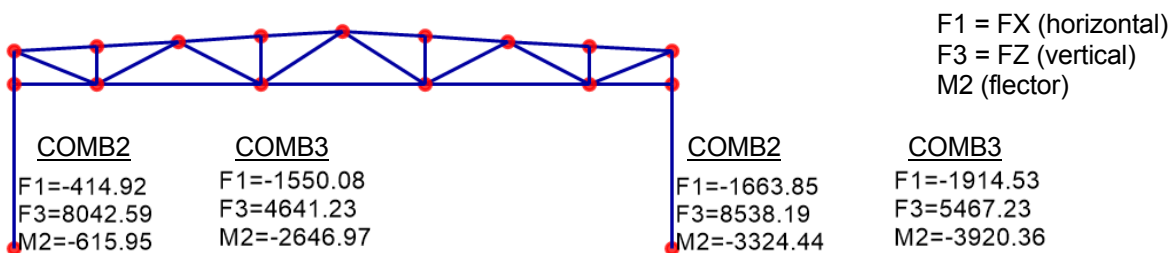
Flecha límite: $Luz/200 = 2000 \text{ cm} / 200 = 10 \text{ cm} < \text{flecha} = 3.5 \text{ cm}$. Ok.

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*)



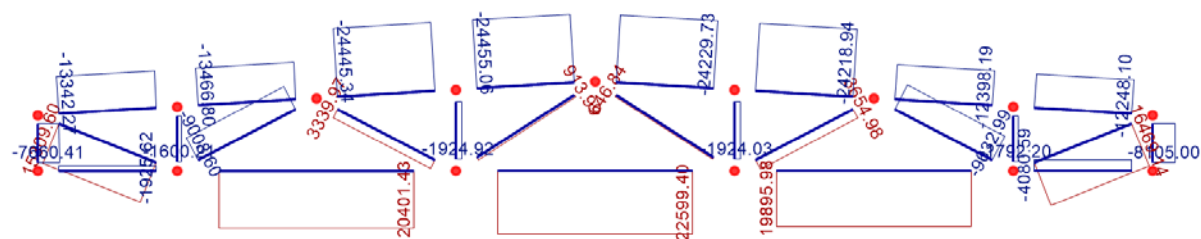
Reacciones: En el menú de *Display* → *Show Forces/Stresses* → *Joints* aparecen las reacciones. Con *Arrow*, se activa una flecha que refleja su dirección y sentido. Podemos seleccionarlas para cualquier hipótesis o combinación de carga.

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).

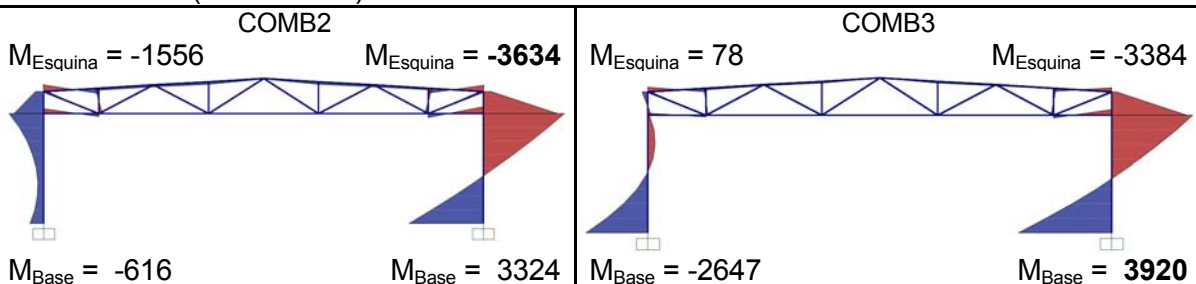
ESFUERZOS:

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.

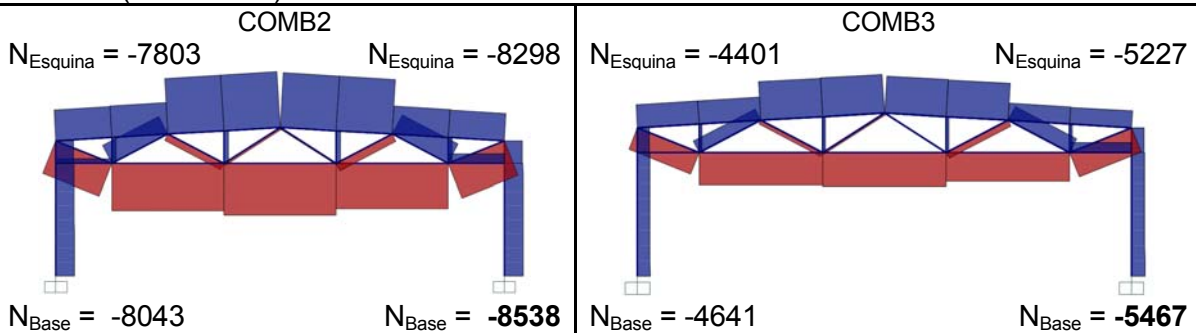
Axiles en la celosia Comb2:



FLECTORES (*Moment 3-3*)



AXILES (Axial Force)



17.9.2 - LISTADOS

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

Reacciones totales	OutputCase	GlobalFX	GlobalFZ	GlobalMY
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

Peso de la estructura	ObjectType	Material	TotalWeight	NumPieces
→ <i>Model Definition</i> → <i>Miscellaneous Data</i> → <i>Material List</i> : • Table: Material List 1 - By Object Type • Table: Material List 2 - By Section Property	Text	Text	Kgf	Unitless
	Frame	S275JR	1140.17	29
	Section	NumPieces	TotalLength	TotalWeight
	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

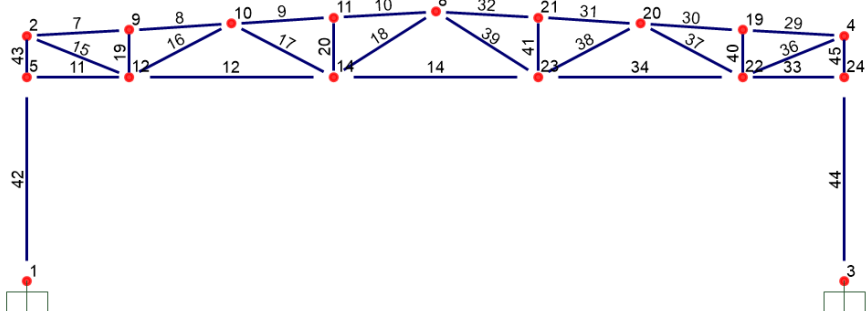
Reacciones	Joint	Output	F1	F3	M2
→ <i>Analysis Results</i> → <i>Joint Output</i> → <i>Reactions</i>	Text	Text	Kgf	Kgf	Kgf-m
	1	COMB1	747	7745	1410
		COMB2	-415	8043	-616
		COMB3	-1550	4641	-2647
	3	COMB1	-747	7745	-1410
		COMB2	-1664	8538	-3324
		COMB3	-1915	5467	-3920

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.



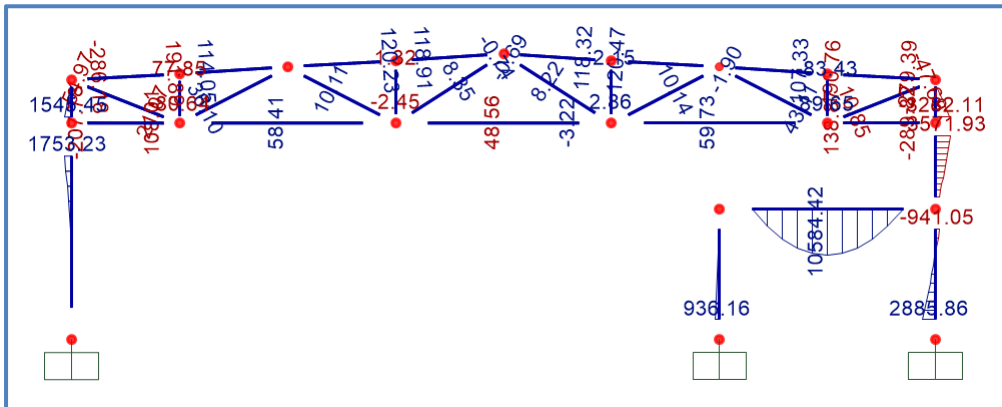
ESFUERZOS					Fram	Station	Comb	P	M3	Fram	Station	Comb	P	M3	
Fram	Station	Comb	P	M3		m		Kgf	Kgf-m		m		Kgf	Kgf-m	
CORDON SUPERIOR IZQUIERDO					CORDON SUPERIOR IZQUIERDO					DIAGONALES IZQUIERDA					
PILARES					7	0	1	-11931	-263	15	0	1	14756	-48	
42	0	1	-7745	-1410	2.505			-11928	178	2.693			14745	15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

17.9.3 - ALTILLO (*)

Repitiendo las órdenes de 16.3.3 (excepto el *paso 1*), se incorpora la estructura del altillo:

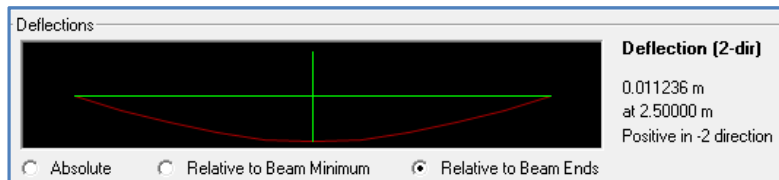
Paso 1: Se selecciona el soporte a sotavento. Se divide el pilar en dos mitades con la orden: *Edit* → *Edit Lines* → *Divide Frames, Divide into Specified Number of Frames, Number of Frames, 2* ; *Last/First Length Ratio= 2/3*

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 11.9 (0.011 m):



18.- DIMENSIONADO CON SAP2000 V15

18.1 - Introducción

El **dimensionado** de estructuras de acero consiste en los cálculos en los que, a partir de los esfuerzos y las propiedades de las secciones de las barras, mediante expresiones, se comprueba que los perfiles de las barras verifican las condiciones de resistencia y estabilidad que regulan las normativas.

18.2 - Celosía: introducción de datos

Parámetros que se introducen antes de efectuar el cálculo de la estructura (*Run Analysis*) (No influyen en los resultados del cálculo, esfuerzos, reacciones, etc., pero para modificarlos hay que deshacer o desbloquear (*Unlock Model*) el cálculo):

Paso 1: Propiedades de los materiales. Se introduce (*Define* → *Materials*, S275, Fy) la **resistencia característica** del acero f_y (275 N/mm², *Minimum Yield Stress* (16.1.2)).

Paso 2: Para un correcto dimensionado con el programa, es necesario asignar como mínimo **3 secciones** a las barras de la celosía. Se seleccionan: *Assign* → *Frame* → *Output Stations* → *Min Number Stations* (**3**). A los pilares se habían definido 9 secciones.

Paso 3: Según versión, el programa no dimensiona perfiles de espesores inferiores o iguales a 3 mm, por lo que puede ser necesario aumentar mínimamente el espesor de los tubos de 3 mm: #100x80x3 y #60x3 (por ejemplo, a 3.001 mm)

Parámetros que pueden ser introducidos antes o después de efectuar el cálculo de la estructura (*Run Analysis*) (no es necesario rehacer el cálculo estructural):

Design → *Steel Frame Design*, se activarán las siguientes opciones:

18.2.1 - CONSULTAR O REVISAR PREFERENCIAS (→ *View/Revise Preferences*):

Steel Frame Design Preferences for Eurocode 3-2005

Item	Value	Item Description
1 Design Code	Eurocode 3-2005	
2 Country	CEN Default	
3 Combinations Equation	Eq. 6.10	
4 Reliability Class	Class 2	
5 Interaction Factors Method	Method 1 (Annex A)	
6 Multi-Response Case Design	Envelopes	
7 Framing Type	DCH-MRF	
8 Behavior Factor, q	4.	
9 System Overstrength Factor, Omega	1.	
10 Consider P-Delta Done?	No	
11 GammaM0	1.05	
12 GammaM1	1.05	
13 GammaM2	1.25	
14 Ignore Seismic Code?	No	
15 Ignore Special Seismic Load?	No	
16 Is Doubler Plate Plug-Welded?	Yes	
17 Consider Deflection?	No	
18 DL Limit, L /	120.	
19 Super DL+LL Limit, L /	120.	
20 Live Load Limit, L /	360.	
21 Total Limit, L /	240.	
22 Total-Camber Limit, L /	240.	
23 Pattern Live Load Factor	0.75	
24 Demand/Capacity Ratio Limit	1.	

Explanation of Color Coding for Values
Blue: Default Value
Black: Not a Default Value
Red: Value that has changed during the current session

Set To Default Values: All Items Selected Items
 Reset To Previous Values: All Items Selected Items

Los parámetros (designados entre corchetes) a modificar en el cálculo de la nave son:

[1] *Design Code* (Normativa): **Eurocódigo 3-2005**

[5] *Interaction Factors Method*: Se refiere al Método que se utiliza para calcular los coeficientes de interacción k_{yy} , k_{yz} , k_{zy} , k_{zz} . Son el **Método 1** o el **Método 2** del Eurocódigo-3 (igual a la EAE). Se aconseja seleccionar el **Método 1**.

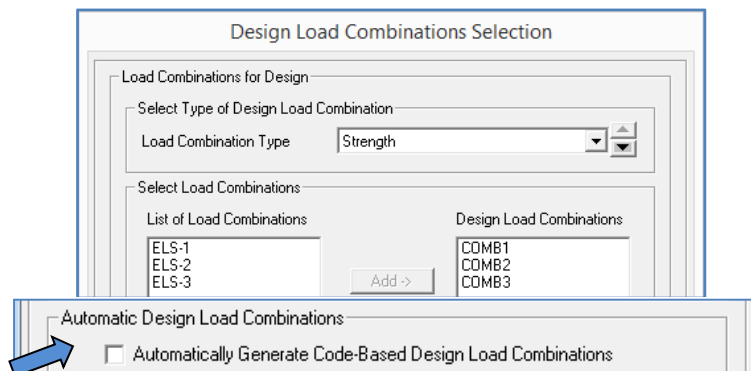
[11] *GammaM0*: Coeficiente de seguridad γ_{M0} relativo a la plastificación: **1.05**

[12] *GammaM1*: Coeficiente de seguridad γ_{M1} relativo a la inestabilidad: **1.05**

[24] *Demand/Capacity Ratio Limit*: Los índices de las comprobaciones no deben superar **1**. Sin embargo, según criterio del proyectista, puede considerarse un límite inferior a 1. El valor por defecto es 0.95. Anotamos **1**. Si en la comprobación del perfil se sobrepasa ese valor, el programa informará que la sección **no es válida** (*overstressed*). Se deberá aumentar el perfil.

18.2.2 - DEFINIR COMBINACIONES DE CARGA (→ *Select Design Combos*)

En el cuadro *Design Load Combinations Selection*, se seleccionan las combinaciones de carga que deben activarse para el dimensionado. El programa comprobará las barras en cada sección definida (*Output Stations*) y para cada combinación.



En *Select Load Combinations*, y en la Tabla a la izquierda *List of Load Combinations*, trasladamos COMB1 y COMB2, mediante el botón **Add->**, a la Tabla de la derecha *Design Load Combinations*.

Debe desactivarse siempre el botón *Automatically Generate Code-Based Design Load Combinations*. Se debe evitar que el programa genere de forma automática combinaciones de carga del EC-3, diferentes de las prescritas en el CTE SE.

Si aparecieran en el cuadro otras combinaciones en *Design Load Combinations* (el programa las denomina como DSTLn^o), es que se han generado porque no se desactivó la generación automática. Se eliminan del cuadro derecho con **< Remove**

Si por el error anterior, aparecen esas combinaciones automáticas en *Define* → *Load Combinations*, se deben eliminar previamente al cálculo (*Run Analysis*) ya que en caso contrario aparecerán en todos los listados de combinaciones de carga.

18.2.3 - CONSULTAR/REVISAR PARÁMETROS (→ *View/Revise Overwrites*)

En el cuadro que aparece, existen hasta 46 parámetros del dimensionado que pueden modificarse en las barras que previamente se hayan seleccionado (a partir de la versión 15).

Entre ellos destacan las filas entre [27] a [31], dónde se definen los 5 valores para el factor de pandeo. En estas casillas, introducir un valor nulo **0** significa que el programa determina dicha cantidad (*Program Determined*).

Steel Frame Design Overwrite for Eurocode 3-2005

Item	Value
3 Section Class	Program Determined
4 Column Buckling Curve (y-y)	c
5 Column Buckling Curve (z-z)	c
6 Buckling Curve for LTB	Program Determined
7 System Overstrength Factor, Omega	Program Determined
8 Is Rolled Section?	Yes
24 Unbraced Length Ratio (Major)	Program Determined
25 Unbraced Length Ratio (Minor)	Program Determined
26 Unbraced Length Ratio (LTB)	Program Determined
27 Effective Length Factor Braced (K1 Major)	0.9
28 Effective Length Factor Braced (K1 Minor)	0.9
29 Effective Length Factor Sway (K2 Major)	0.9
30 Effective Length Factor Sway (K2 Minor)	0.9
31 Effective Length Factor (K, LTB)	0.01

Item Description: Unbraced length factor for lateral-torsional buckling for the frame object. This item is specified as a fraction of the frame object length. Multiplying this factor times the frame object length gives the unbraced length for the object. Specifying 0 means the value is program determined.

Explanation of Color Coding for Values:
Blue: All selected items are program determined
Black: Some selected items are user defined
Red: Value that has changed during the current session

Set To Prog Determined (Default) Values: All Items Selected Items
 Reset To Previous Values: All Items Selected Items

Paso 1: Seleccionar las barras de la celosía y activar: *Design* → *Steel Frame* → *View/Revise Overwrites*:

- [4] [5] **c:** *Column Buckling Curve (y-y) (z-z)*. Curva de pandeo “c” para los tubos conformados en frío. El programa considera por defecto los tubos como laminados en caliente (*Rolled*, curva a). Se modifica la curva de pandeo (a partir versión 15)
- [27] a [30]: **0.9:** Los factores, tanto K_1 y K_2 , de las longitudes de pandeo tanto en el plano de la estructura (*Major*) como para el lateral (*Minor*), para tubos (cordones y diagonales), según EC-3, se puede aplicar 0.9 (versión 14: [22], [23])
- [31]: **0.01.** Vuelco lateral. No tiene influencia en tubos, pero se recomienda desactivar el vuelco ($\chi_{LT} = 1$). Para ello se escribe un factor de longitud muy pequeño

Paso 2: Definir el arriostramiento lateral de los pilares.

Seleccionar el tramo inferior de los pilares.

En este proyecto, sobre la altura del pilar de 6 m, se considera que las correas de fachada arriostran 2 m por ser el panel rígido. Por esta razón, la longitud no arriostrada lateral es de **4 m**.

Design → *Lateral Bracing* → *User Specified*; *Specify Point Bracing* → *Absolute Distance from End-I*; *Location = 4*; *Type = All*; *Add*.

Point Braces

Define Point Braces

Location	Type
4	All
4	All

Add Modify Delete

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

Paso 3: Se seleccionan nuevamente el tramo inferior de los pilares. Se activa: *Design* → *Steel Frame* → *View/Revise Overwrites*:

Steel Frame Design Overwrites for Eurocode 3-2005

Item	Value
23 Live Load Reduction Factor	Program Determined
24 Unbraced Length Ratio (Major)	Program Determined
25 Unbraced Length Ratio (Minor)	Program Determined
26 Unbraced Length Ratio (LTB)	Program Determined
27 Effective Length Factor Braced (K1 Major)	1.5
28 Effective Length Factor Braced (K1 Minor)	1.
29 Effective Length Factor Sway (K2 Major)	1.5
30 Effective Length Factor Sway (K2 Minor)	1.
31 Effective Length Factor (K, LTB)	0.01

Item Description: Allowable bending moment capacity in major axis bending. Specifying 0 means the value is program determined.
 For symmetrical sections major bending is bending about the local 3-axis. For unsymmetrical sections (e.g., angles) major bending is the bending about the section principal axis with the larger moment of inertia.


[27] [29] **1.5**: Coeficiente beta de pandeo para el pilar (versión 14: [22])

[28] [30] **1**: Coeficiente beta de pandeo lateral para el pilar considerando que la fachada lateral se encuentra arriostrada (versión 14: [23])

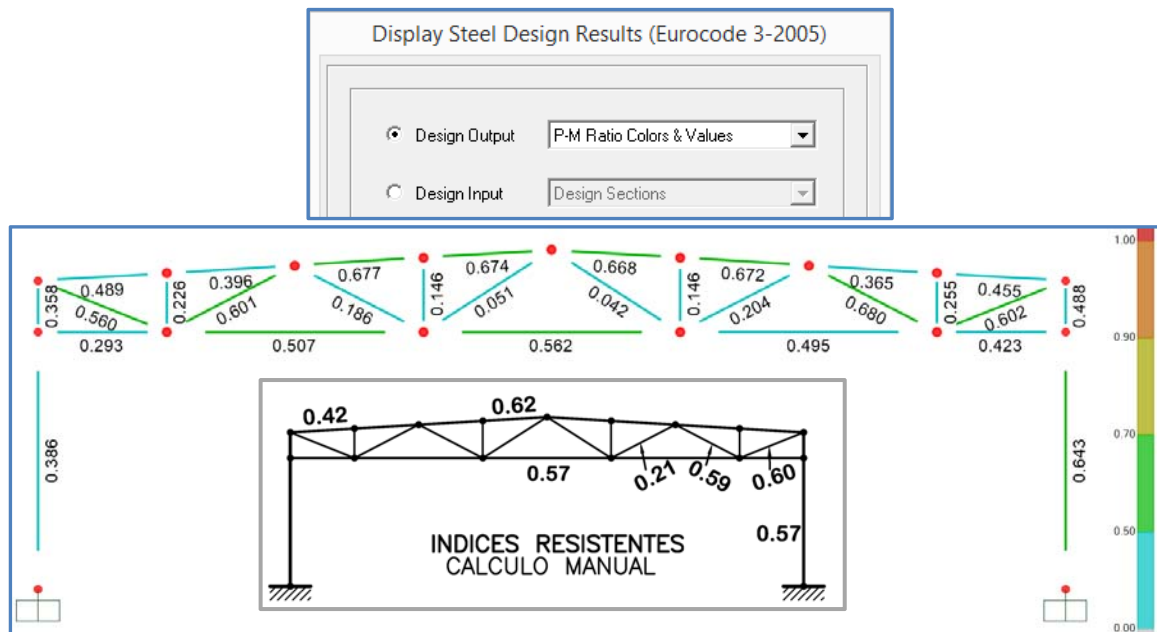
[31] **0.01**: si se desea que el vuelco lateral sea despreciable en el dimensionado

⇒ No es necesario modificar el tramo superior corto de los pilares

18.2.4 - DIMENSIONADO

Antes de dimensionar, la estructura debe haber sido calculada previamente (*Run Analysis* ó *F5*). Ejecutamos el dimensionado mediante la orden *Design* → *Steel Frame Design* → *Start Design/Check of Structure* o el botón: 

Con la opción *Design* → *Steel Frame Design* → *P-M Ratio Colors & Values* obtenemos los índices resistentes:



Comentarios:

- Como los **índices son inferiores al límite máximo** impuesto por el proyectista ($i_R \leq 1$), el dimensionado es **correcto** bajo las hipótesis impuestas. Estos resultados pueden añadirse al Anejo de Cálculo del Proyecto

Si el **índice es superior a 1**, la pieza queda grafiada en rojo, y se deberá **corregir** (aumentar o cambiar de perfil, mejorar el arriostramiento, etc.). El programa lo advierte en los listados mediante un mensaje: **Error: Section overstressed**.

- En las barras de la celosía los índices son algo superiores a los obtenidos en el cálculo manual. Se debe a que el programa **considera axil y flector**, y en el cálculo manual hemos despreciado los flectores, lo que permite la EAE, bajo ciertas condiciones (5.1.1). Se puede eliminar el índice del flector haciendo [33], [35], $k_{yy} = k_{zy} = 0$
- Para este tipo estructural con mayor número de barras, el dimensionado con programa presenta grandes ventajas: es rápido de realizar, se definen pocos parámetros y se cubren todas las combinaciones y comprobaciones posibles.
- Si se selecciona el Método 2, el programa comprueba la barra como pieza susceptible a deformaciones a torsión.
- El programa comprueba incorrectamente las piezas de canto variable (acartelamientos)