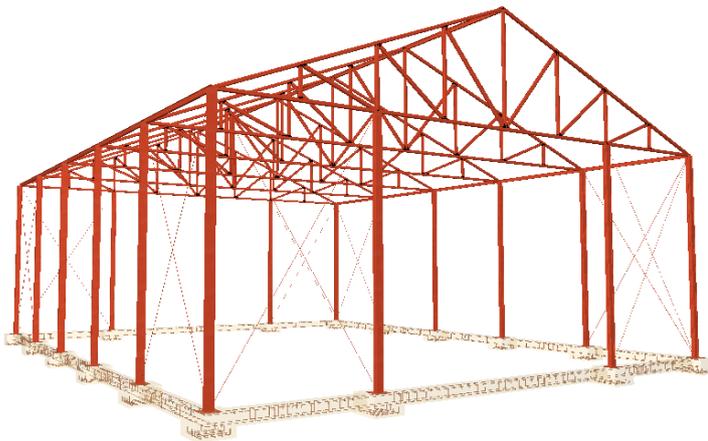


# PÓRTICO DE UNA NAVE DE MERCADONA CON METALPLA

Mecánica de Estructuras - 1º Curso - 2016/2017



Rubén Magro Checa  
Máster Universitario en Ingeniería Industrial

## ÍNDICE

ÍNDICE	En el curso 17/18 se emplea por defecto el material S275 Cualquier otro tipo acero deberá ser justificado	1
1	MEMORIA DESCRIPTIVA	3
1.1	Situación y emplazamiento	3
1.2	Descripción de la nave	3
1.3	Descripción de los perfiles empleados en correas y pórticos	5
1.3.1	Descripción de las correas	5
1.3.2	Descripción del pórtico	7
1.4	Descripción de las uniones empleadas	8
2	MEMORIA JUSTIFICATIVA	9
2.1	Comparativa entre soluciones para la optimización de la estructura	9
2.1.1	Primera hipótesis	9
2.1.2	Segunda hipótesis	13
2.1.3	Tercera hipótesis	16
2.1.4	Cuarta hipótesis	19
2.2	Resultados con METALPLA	23
3	CONCLUSIONES	27
4	BIBLIOGRAFÍA	29
5	ANEXO A. PRONTUARIO VIGAS IPE Y HEB	30



# 1 MEMORIA DESCRIPTIVA

## 1.1 Situación y emplazamiento

La nave de la empresa **Mercadona, S.A.** para la que se va a realizar el cálculo de un pórtico transversal se sitúa en el término municipal de Alcalá de Henares, concretamente entre la calle Juan Ramón Jiménez y la carretera M-121 dirección a Meco.

Está en una situación privilegiada en lo que respecta a accesos debido a que a escasos metros se encuentra la autovía del Nordeste N-II (Madrid-Barcelona).



Figura 1. Emplazamiento nave de Mercadona.

## 1.2 Descripción de la nave

Dicha nave, para uso de supermercado, cuenta con una estructura muy simple, ya que los pórticos para los que se va a realizar el cálculo son a dos aguas sin pilares intermedios.

Dimensionalmente, tiene unas longitudes aproximadas de 80 metros de largo, 35 metros de ancho y 6 metros de altura.



Figura 2. Dimensiones nave de Mercadona.

El resto de dimensiones y características para la descripción de la nave, se detallan a continuación a partir de un esquema perteneciente al programa de cálculo METALPLA, donde incluyendo una serie de valores (inclinación de la cubierta, altitud de Alcalá de Henares, situación de la nave geográficamente, factores en sus alrededores, etc) existe la posibilidad de realizar una primera aproximación del pórtico.

En la siguiente figura, se observan los valores a introducir solicitados por el programa; y a continuación de la misma se detallará el significado de cada uno de ellos:

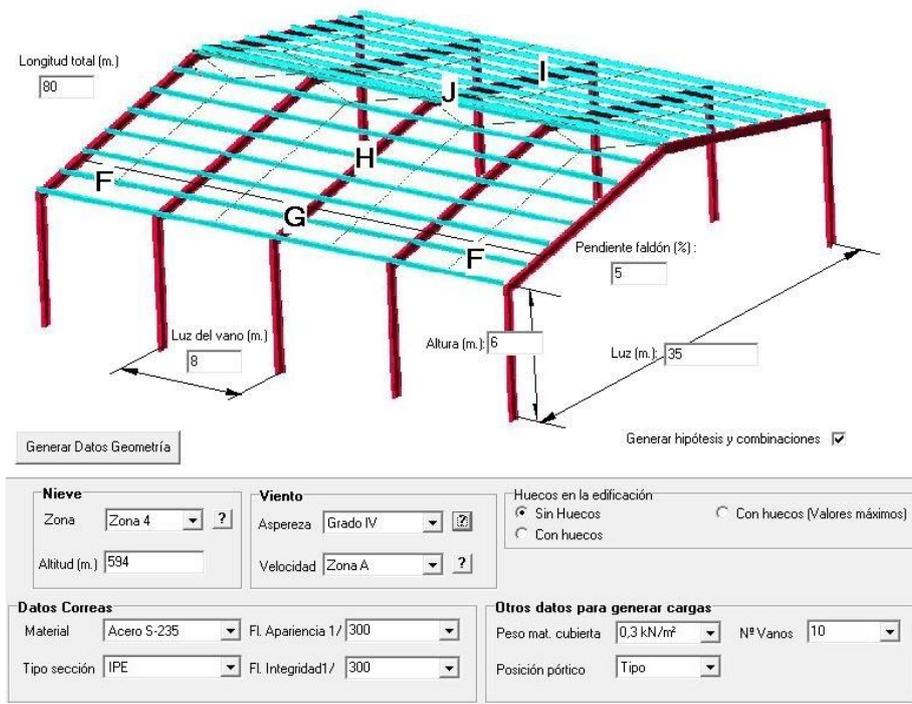


Figura 3. Dimensiones nave de Mercadona en METALPLA.

### Características físicas del pórtico:

- Longitud total (m.): 80
- Luz de vano (m.): 8
- Altura (m.): 6
- Pendiente faldón (%): 5
- Luz (m.): 35

### Nieve:

- Zona 4. Depende de la zona del mapa a desplegar pulsando el botón "?", Alcalá de Henares de sitúa dicha zona.
- Altitud (m.): 594 metros de altitud de Alcalá de Henares.

### Viento:

- Aspereza: Grado IV. Depende de los grados de aspereza que aparecen al pulsar el botón "?". Grado IV: Zona urbana en general, industrial o forestal.
- Velocidad: Zona A. Depende de la zona del mapa a desplegar pulsando el botón "?", Alcalá de Henares de sitúa dicha zona.
- Huecos en la edificación: Sin huecos por defecto.

Datos de correas:

- Material: Acero-S235. Con límite elástico  $\sigma_y = 235$  MPa.
- Tipo de sección: IPE.
- Fl. Apariencia 1/300 (valor 300 por defecto).
- Fl. Integridad 1/300 (valor 300 por defecto).

Probar con diferentes perfiles de correa. Añadir otras opciones para encontrar la mejor estructura

Otros datos para generar cargas:

- Peso material cubierta: 0,3 kN/m<sup>2</sup>.
- Posición pórtico: Tipo. Se selecciona "Tipo" porque no se va a calcular el pórtico de la posición inicial/final, si no de la posición intermedia.
- Nº de vanos: 10.

Justificar el peso de la cubierta con el material empleado

Para terminar la descripción de la nave, se generan las cargas y se visualiza el pórtico del cual se van a realizar los cálculos quedando de la siguiente manera:

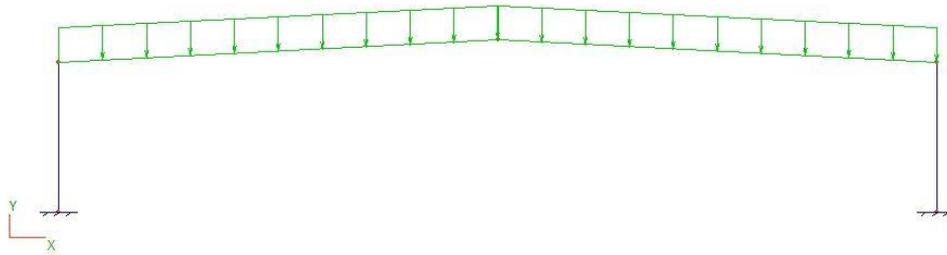


Figura 4. Pórtico de la nave.

## 1.3 Descripción de los perfiles empleados en correas y pórticos

### 1.3.1 Descripción de las correas

Una vez obtenidos los resultados justificativos de las vigas y pilares, dentro del programa METALPLA, en la pestaña "Cargas Barras" se  pulsa el icono y en la ventana "datos de la nave" se realiza el cálculo de correas, las cuales van a recibir la cubierta, transmitiendo la carga aplicada a las vigas del pórtico calculado.

Las características de las correas calculadas son las siguientes:

- Material de la correa: Acero S-235
- Tabla correa ó b x h (mm.): 12-IPE
- Separación entre correas (cm.): 100 cm
- Posición (Vertical/Normal): Normal
- Número de Tirantillas / Puntales: Sujeta
- Tamaño: 160
- I. Resistencia: 0,42
- I. Fl. Apariencia: 0,50 (13 mm)
- I. Fl. Integridad: 0,64 (17 mm)

Datos de la Nave



Cargas		Datos de Construcción		Resultado	
Peso Material (kN/m <sup>2</sup> /Cub)	0,300	Material Correa	Acero S-235	Tamaño	160
(* ) Peso Mantenimiento	0,4	Tabla correa ó b x h (mm)	12 - IPE	I. Resistencia	0,42
(* ) Peso Nieve (kN/m <sup>2</sup> /ph)	0,494	Separación correas (cm.)	100	I. Fl. Apariencia	0,50 (13 mm)
Viento.Mayor Presión (kN/m <sup>2</sup> /Cub)	0,129	Posición (Vertical/Normal)	Normal	I. Fl. Integridad	0,64 (17 mm)
Viento.Mayor succión (kN/m <sup>2</sup> /Cub)	-0,460	Número de Tirantillas / Puntales	Sujeta		
Carga puntual mantenimiento (kN)	1,000				

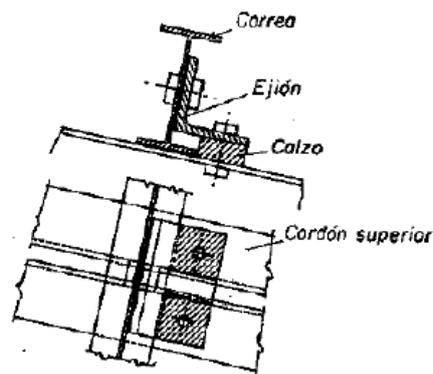
\*: Estos valores nominales se modifican internamente en función de la pendiente del faldón

**Figura 5. Características de las correas.**

**NOTA:** Destacar que el valor del tamaño de la correa de 160 es un valor óptimo que se ha autodimensionado por el propio programa de cálculo en función de los valores introducidos, con la posibilidad de modificarlo a mano.

Respecto a la colocación de las correas, los apoyos los van a tener directamente en los pórticos transversales, donde la carga vertical aplicada (peso propio) se debe descomponer en los ejes de la correa (viga IPE 160), tanto el eje vertical como el horizontal, el cual representa la pendiente de la estructura.

Debido a que el perfil de las correas corresponde con un perfil laminado, dichos apoyos se van a realizar de la siguiente manera:



**Figura 6. Apoyo de la correa en la viga.**

### 1.3.2. Descripción del pórtico

La estructura del pórtico calculado y optimizado con el programa METALPLA quedaría como se observa en la figura:

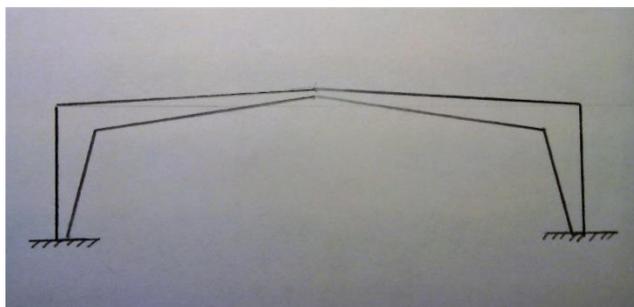


Figura 7. Estructura del pórtico transversal.

Las características de los pilares y vigas utilizados para el cálculo se visualizan en la siguiente tabla:

	Tipo	Tamaño	Sección	Hmáx	Hmin	Material	Aprovechamiento
<b>Pilar 1</b>	I HEB	1000	Variable	1636	363	Acero S-235	87%
<b>Pilar 2</b>	I HEB	1000	Variable	1636	363	Acero S-235	87%
<b>Viga 3</b>	IPE	600	Variable	1062	137	Acero S-275	89%
<b>Viga 4</b>	IPE	600	Variable	1062	137	Acero S-275	89%

Tabla 1. Características de las barras utilizadas.

Siendo necesarias unas barras de dimensiones: **10m de perfil I HEB** y **35,05m de perfil IPE**, con un peso total de las mismas de **7431,5 kg**.

A continuación, se visualiza una tabla con las características de los aceros utilizados, siendo para los pilares Acero S-235 JR y para las vigas Acero S-275 JR. Se ha seleccionado el tipo JR, ya que es el más usado dentro de los perfiles laminados en caliente y el perteneciente a construcciones ordinarias:

Tabla 4.1 Características mecánicas mínimas de los aceros UNE EN 10025

DESIGNACIÓN	Espesor nominal t (mm)				Temperatura del ensayo Charpy °C
	Tensión de límite elástico $f_y$ (N/mm <sup>2</sup> )		Tensión de rotura $f_u$ (N/mm <sup>2</sup> )		
	t ≤ 16	16 < t ≤ 40	40 < t ≤ 63	3 ≤ t ≤ 100	
S235JR					20
S235J0	235	225	215	360	0
S235J2					-20
S275JR					20
S275J0	275	265	255	410	0
S275J2					-20
S355JR					20
S355J0	355	345	335	470	0
S355J2					-20
S355K2					-20 <sup>(1)</sup>
S460J0	450	430	410	550	0

<sup>(1)</sup> Se le exige una energía mínima de 40J.

Las siguientes son características comunes a todos los aceros:

- módulo de Elasticidad	E	210.000 N/mm <sup>2</sup>
- módulo de Rigidez	G	81.000 N/mm <sup>2</sup>
- coeficiente de Poisson	$\nu$	0,3
- coeficiente de dilatación térmica	$\alpha$	$1,2 \cdot 10^{-5} (°C)^{-1}$
- densidad	$\rho$	7.850 kg/m <sup>3</sup>

Figura 8. Características de los aceros utilizados.

## 1.4 Descripción de las uniones empleadas

Dentro de las uniones que se van a emplear en el cálculo del pórtico a dos aguas, se ha tenido en cuenta la zona geográfica en la que se encuentra ubicada la nave de Mercadona, tanto el terreno (no contemplado en este trabajo el cálculo de zapatas ni la cimentación; pero por tener una idea del terreno compuesto aproximadamente por: 40-60 cm de tierra vegetal, 20 cm de tierra no compactada y zahorras) como el grado de sismicidad, el cual es inapreciable. Por ello, las uniones entre pilar-viga y viga-viga van a realizarse a través de **cordones de soldadura** como se observa en la siguiente figura y un angular soldado para reforzar la unión pilar-viga:

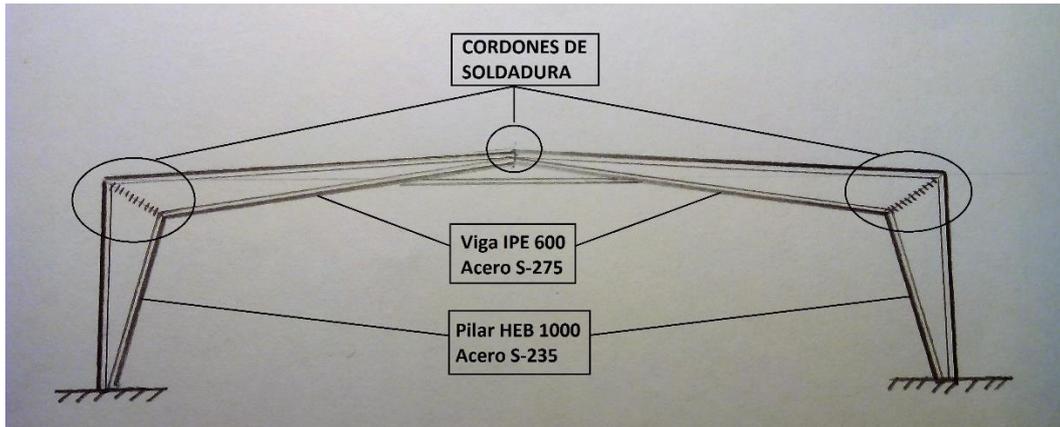


Figura 9. Uniones Pilar-Viga y Viga-Viga mediante cordones de soldadura.

NOTA: Destacar que, si el terreno fuese arcilloso y no tan firme, y la estructura estuviese expuesta en otra zona con grado sísmico apreciable o en otras condiciones, las uniones tendrán que ser atornilladas.

Además de esto, para reforzar la unión entre vigas y que la estructura no se abra, se va a introducir una viga del mismo perfil que el dintel, cortada con la inclinación pertinente como se observa en la siguiente figura:

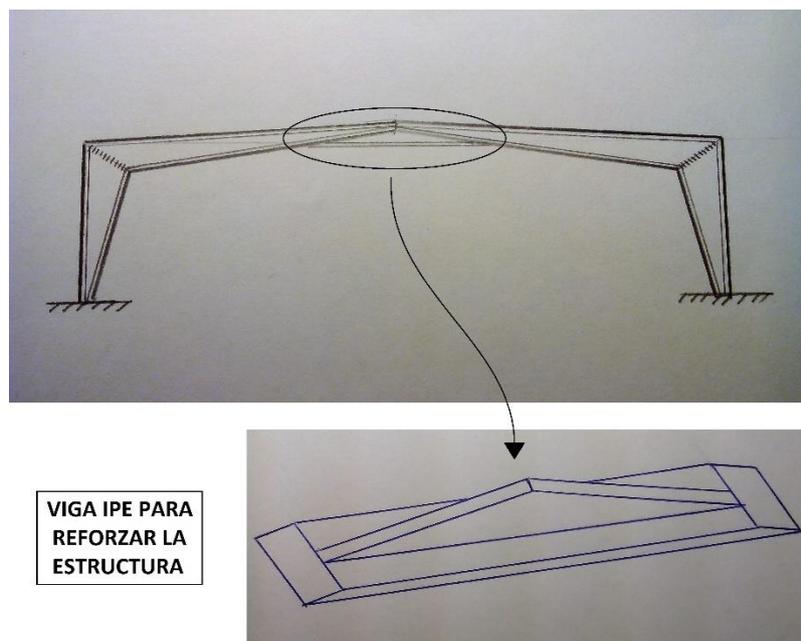


Figura 10. Uniones Viga-Viga mediante un perfil IPE cortado.

## 2 MEMORIA JUSTIFICATIVA

### 2.1 Comparativa entre soluciones para la optimización de la estructura

Esta primera hipótesis se puede suprimir porque no es válida

#### 2.1.1 Primera hipótesis

- Planteamiento:

Inicialmente, se realizó la primera hipótesis para el cálculo del pórtico con perfiles de Acero S-235, en una estructura plana, cálculo de primer orden, incluyendo el propio peso de la estructura y teniendo en cuenta que todas las barras son sección constante.



Figura 11. Inicio del cálculo. Hipótesis inicial.

Con el generador de estructuras de tipologías, se introducen los datos de luz, altura paredes, pendiente de la cubierta y el tipo de perfil para los pilares y las vigas del pórtico a dos aguas. Además de esto se introducen los datos de la nave de Mercadona como se ha explicado en el apartado 1.2. Con todo ello, se generan las cargas, quedando el pórtico de la siguiente manera:

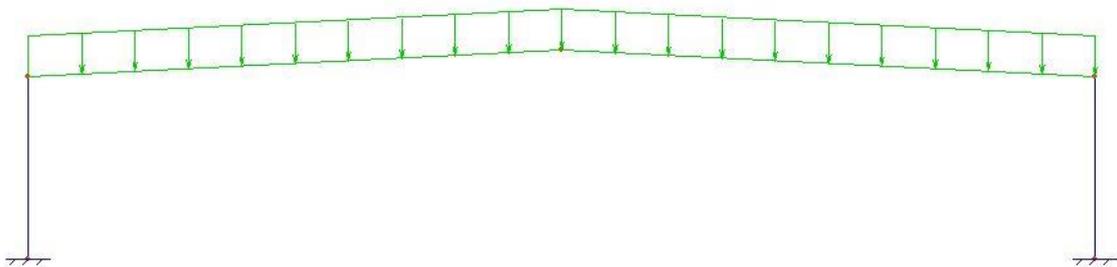


Figura 12. Visualización del pórtico. Hipótesis inicial.

Dentro de las pestañas del programa, en la pestaña “General”, se selecciona Traslacional, ya que —como se comenta en el vídeo recomendado *Pórtico de acero a dos aguas*— la estructura del pórtico a realizar no está lo suficientemente arriostrada y a efectos de

pandeo puede desplazarse libremente. Para el resto de hipótesis que se verán a continuación se mantendrá igualmente Traslacional.

La siguiente pestaña a tener en cuenta “Barras”, es donde se selecciona el tipo de perfil para los pilares y las vigas. Para la primera hipótesis, se van a seleccionar los perfiles de Acero S-235 para los pilares HEB (9) de tamaño 550; y para los dinteles —vigas— IPE (12) de tamaño 600, como se observa en la siguiente figura:

Barra	Descri	Anula	Enlace extremos	Clase	Autodim...	Tipo Sección	Tamaño	Grupo	$\beta_z$ (Coef.)	$\beta_y$ (Coef.)	Flecha -	Flecha -	Flecha	Contraflech	Material	Beta (Rot.)	Long. Ef.	Coef. C1
1		<input type="checkbox"/>	Sin enlaces	Pilar	<input checked="" type="checkbox"/>	9 - I HEB	550	1	?	1	0	0	0	0	Acero S-235	0	0	1
2		<input type="checkbox"/>	Sin enlaces	Pilar	<input checked="" type="checkbox"/>	9 - I HEB	550	1	?	1	0	0	0	0	Acero S-235	0	0	
3		<input type="checkbox"/>	Sin enlaces	Viga	<input checked="" type="checkbox"/>	12 - IPE	600	2	0	0	0	0	250	0	Acero S-235	0	0	
4		<input type="checkbox"/>	Sin enlaces	Viga	<input checked="" type="checkbox"/>	12 - IPE	600	2	0	0	0	0	250	0	Acero S-235	0	0	

Figura 13. Características de las barras seleccionadas. Hipótesis inicial.

A continuación, en la pestaña “Combinaciones / Pandeo / Dinámico”, aparecen las diferentes combinaciones en función de las hipótesis de carga definidas en el programa por defecto —permanente, mantenimiento, nieve y viento—. Para la combinación 1, en la que únicamente se tendrá en cuenta la carga permanente, se calcula el valor de “Pandeo” y “Dinámico”, por tener una idea aproximada.

Combinación	Permanente	Mantenimien	Nieve	Viento	Viento	Viento	Pandeo	Dinámico
1	1,35	0	0	0	0	0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2	1,35	1,5	0	0	0	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	1,35	0	1,5	0	0	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	1,35	0	0	1,5	0	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	1,35	0	0	0	1,5	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6	1,35	0	1,5	0,9	0	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7	1,35	0	1,5	0	0,9	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8	1,35	0	1,5	0	0	0,9	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9	1,35	0	0,75	1,5	0	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10	1,35	0	0,75	0	1,5	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11	1,35	0	0,75	0	0	1,5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12	0,8	0	0	1,5	0	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13	0,8	0	0	0	1,5	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
14	0,8	0	0	0	0	1,5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Figura 14. Combinaciones de hipótesis de carga. Hipótesis inicial.

• **Resultados:**

Proyecto : PORTICO MERCADONA  
 Estructura : Mercadona Hipótesis Inicial  
 BARRAS.

Barra	Tabla	Tamaño	Material
1	I HEB	550	Acero S-235
2	I HEB	550	Acero S-235
3	IPE	600	Acero S-235
4	IPE	600	Acero S-235

Figura 15. Barras utilizadas. Hipótesis inicial.

Barra : 1

I HEB 550  
 Material : Acero S-235  $f_y = 235 \text{ N/mm}^2$   
 Agotamiento por plastificación **Ec. 6.11 DB-SE-A**  
 $i(3) = 211,361 \times 1e3 / (254 \times 23500 / 1,05) + 1065,259 / 1253,333 = 0,89$   
 Sección : 20 / 20 Clasificación : Z=1 Y=1  
 Comprobación Pandeo eje z-z  $\lambda_{adm,z(3)} = 0,85$ ;  $\lambda_z(3) = 80$ ;  $\beta_z(3) = 3,09$ ;  $\alpha_{crit(3)} = 36,15$  **Ec. 6.51 DB-SE-A**  
 $i(3) = 227,996 / (0,765 \times 5684,762) + 1,034 \times 0,9 \times 1065,259 / 1253,333 = 0,77$   
 Sección : 20 / 20 Clasificación : Z=1 Y=1  
 Comprobación Pandeo eje y-y  $\lambda_{adm,y(3)} = 0,89$ ;  $\lambda_y(3) = 84$ ;  $\beta_y(3) = 1,00$  **Ec. 6.52/6.53 DB-SE-A**  
 $i(3) = 227,996 / (0,667 \times 5684,762) + 0,6 \times 1,034 \times 0,9 \times 1065,259 / 1253,333 = 0,49$   
 Sección : 20 / 20 Clasificación : Z=1 Y=1  
 Comprobación cortante para el eje principal 'y-y' de la barra  
 Esfuerzo cortante máximo :306,632 kN Tensión cortante máxima :31 N/mm<sup>2</sup>  
 $i(3) = 30,66 / 129,22 = 0,24$   
 Sección : 0 / 20  
 Aprovechamiento correspondiente al mayor índice de la barra : 89 %

Barra : 2

I HEB 550  
 Material : Acero S-235  $f_y = 235 \text{ N/mm}^2$   
 Agotamiento por plastificación **Ec. 6.11 DB-SE-A**  
 $i(3) = 211,361 \times 1e3 / (254 \times 23500 / 1,05) + 1065,259 / 1253,333 = 0,89$   
 Sección : 20 / 20 Clasificación : Z=1 Y=1  
 Comprobación Pandeo eje z-z  $\lambda_{adm,z(3)} = 0,85$ ;  $\lambda_z(3) = 80$ ;  $\beta_z(3) = 3,09$ ;  $\alpha_{crit(3)} = 36,15$  **Ec. 6.51 DB-SE-A**  
 $i(3) = 227,996 / (0,765 \times 5684,762) + 1,034 \times 0,9 \times 1065,259 / 1253,333 = 0,77$   
 Sección : 20 / 20 Clasificación : Z=1 Y=1  
 Comprobación Pandeo eje y-y  $\lambda_{adm,y(3)} = 0,89$ ;  $\lambda_y(3) = 84$ ;  $\beta_y(3) = 1,00$  **Ec. 6.52/6.53 DB-SE-A**  
 $i(3) = 227,996 / (0,667 \times 5684,762) + 0,6 \times 1,034 \times 0,9 \times 1065,259 / 1253,333 = 0,49$   
 Sección : 20 / 20 Clasificación : Z=1 Y=1  
 Comprobación cortante para el eje principal 'y-y' de la barra  
 Esfuerzo cortante máximo :306,632 kN Tensión cortante máxima :31 N/mm<sup>2</sup>  
 $i(3) = 30,66 / 129,22 = 0,24$   
 Sección : 0 / 20  
 Aprovechamiento correspondiente al mayor índice de la barra : 89 %

Barra : 3

IPE 600  
 Material : Acero S-235  $f_y = 235 \text{ N/mm}^2$   
 Agotamiento por plastificación **Ec. 6.11 DB-SE-A**  
 $i(3) = 316,804 \times 1e3 / (156 \times 23500 / 1,05) + 1065,259 / 787,81 = 1,44$   
 Sección : 0 / 20 Clasificación : Z=1 Y=1  
 Comprobación cortante para el eje principal 'y-y' de la barra  
 Esfuerzo cortante máximo :195,785 kN Tensión cortante máxima :23 N/mm<sup>2</sup>  
 $i(3) = 23,36 / 129,22 = 0,18$   
 Sección : 0 / 20

Flecha vano

Flecha vano asociada a la apariencia en combinación casi permanente (1): 11,2 mm adm.=l/250 = 70 mm.  
 Aprovechamiento correspondiente al mayor índice de la barra : 145 %  
 Aprovechamiento por flecha de la barra : 16 %  
**##### ATENCION: Barra 3 fuera de norma por : Índice Tensión 145% (3)**

Barra : 4

IPE 600  
 Material : Acero S-235  $f_y = 235 \text{ N/mm}^2$   
 Agotamiento por plastificación **Ec. 6.11 DB-SE-A**  
 $i(3) = 316,804 \times 1e3 / (156 \times 23500 / 1,05) + 1065,259 / 787,81 = 1,44$   
 Sección : 20 / 20 Clasificación : Z=1 Y=1  
 Comprobación cortante para el eje principal 'y-y' de la barra  
 Esfuerzo cortante máximo :199,496 kN Tensión cortante máxima :24 N/mm<sup>2</sup>  
 $i(6) = 23,81 / 129,22 = 0,18$   
 Sección : 20 / 20  
 Flecha vano  
 Flecha vano asociada a la apariencia en combinación casi permanente (1): 11,2 mm adm.=l/250 = 70 mm.  
 Aprovechamiento correspondiente al mayor índice de la barra : 145 %  
 Aprovechamiento por flecha de la barra : 16 %  
**##### ATENCION: Barra 4 fuera de norma por : Índice Tensión 145% (3)**

Figura 16. Comprobación de barras. Hipótesis inicial.

Proyecto : PORTICO MERCADONA  
 Estructura : Mercadona Hipótesis Inicial  
 MEDICIONES.

BARRAS

TIPO	DIMENSION	LONG. (m)	Peso (kg.)
I HEB	550	12	2392,7
IPE	600	35,05	4291,5
Subtotal .....			6684,2

Figura 17. Medición peso estructura. Hipótesis inicial.

Proyecto : PORTICO MERCADONA  
 Estructura : Mercadona Hipótesis Inicial  
 PANDEO. LONGITUDES EFICACES Y ESBELTECES. Plano paralelo al XY

COMBINACION : 1		Coeficiente crítico, $\alpha_{cr}$ : 80,24		
Plano Z: 0,00	Nudo	Desp. X	Desp. Y	Giro
	1	0,0000	0,0000	0,0000
	2	0,0000	0,0000	0,0000
	3	1,0000	-0,0006	-0,3018
	4	0,9998	0,0000	0,4885
	5	1,0000	0,0006	-0,3018

Proyecto : PORTICO MERCADONA  
 Estructura : Mercadona Hipótesis Inicial  
 PANDEO. LONGITUDES EFICACES Y ESBELTECES. Plano paralelo al XY

Combinación 1		Plano Z: 0,00		
Barra	$I_x$ (m)	$\beta$	$\lambda$	$\lambda_{Adimensional, z}$
1	17,86	2,98	76,99	0,82
2	17,86	2,98	76,99	0,82

Figura 18. Pandeo estructura. Hipótesis inicial.

Proyecto : PORTICO MERCADONA  
 Estructura : Mercadona Hipótesis Inicial  
 MODOS DE VIBRACION.

Combinación 1

MODO : 1 Frecuencia natural : 9,75780 Periodo : 0,64391 seg. Equivalente a : 1,55300 ciclos/seg.

Nudo	Desp. X	Desp. Y	Desp. Z	Giro X	Giro Y	Giro Z
1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
3	0,0446	0,0005	0,0000	0,0000	0,0000	0,0070
4	0,0002	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
5	-0,0442	0,0005	0,0000	0,0000	0,0000	-0,0071

Figura 19. Modos de vibración. Hipótesis inicial.

### 2.1.2 Segunda hipótesis

- Planteamiento:

Para el pórtico del curso 17/18 esta opción es buena (vigas de sección variable) porque es la empleada en la realidad

Una vez vista la primera hipótesis, donde se utiliza sección constante y, acartelando o no las vigas, se observa como la estructura rompe, se decide que de aquí en adelante para las siguientes hipótesis no todas las vigas serán de sección constante —existiendo una gran mejora al utilizar sección variable—.



Figura 20. Inicio del cálculo. Segunda hipótesis.

En la siguiente figura, se visualiza el resultado del pórtico con los pilares de sección constante y las vigas de sección variable.

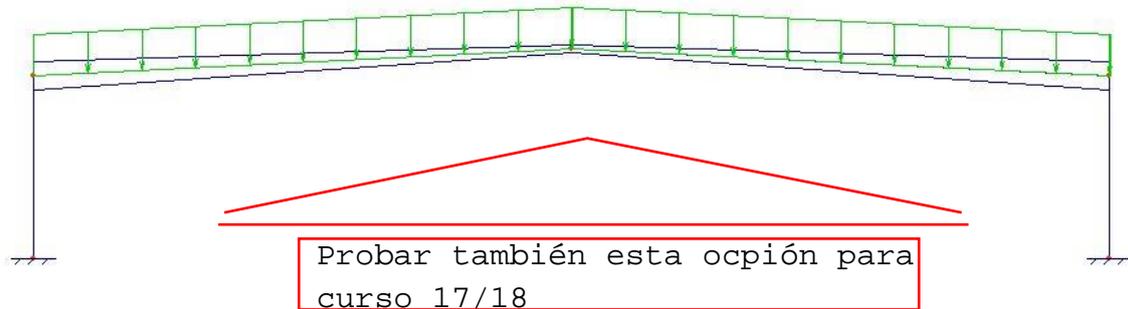


Figura 21. Visualización del pórtico. Segunda hipótesis.

Para la segunda hipótesis, se van a seleccionar los perfiles de Acero S-235 para los pilares HEB (9) de tamaño 600 de sección constante; y para los dinteles —vigas— IPE (12) de tamaño 600 de sección variable (relación  $H_{\max}/H_{\min} = 3,5$ ), como se observa en la siguiente figura:

Barra	Clase	Autodim...	Tipo Sección	Tamaño	Modelo	Grupo	Bz (Coef.)	B <sub>y</sub> (Coef.)	Flecha -	Flecha -	Flecha	Contraflech	S,Perf	Ref.Menor	Ref.Mayor	B.Sec.Varia	Presillas	Material	Beta (Rot.)	L <sub>d</sub>
1	Pilar	<input checked="" type="checkbox"/>	9 - I HEB	600	Sección	1	?	1	0	0	0	0	0	0x0x0	0x0x0	1	0x0x0-0	Acero S-235	0	0
2	Pilar	<input checked="" type="checkbox"/>	9 - I HEB	600	Sección	1	?	1	0	0	0	0	0	0x0x0	0x0x0	1	0x0x0-0	Acero S-235	0	0
3	Viga	<input checked="" type="checkbox"/>	12 - IPE	600	Sec. Var.	2	0	0	0	0	250	0	0	0x0x0	0x0x0	3,5	0x0x0-0	Acero S-235	0	0
4	Viga	<input checked="" type="checkbox"/>	12 - IPE	600	Sec. Var.	2	0	0	0	0	250	0	0	0x0x0	0x0x0	3,5	0x0x0-0	Acero S-235	0	0

Figura 22. Características de las barras seleccionadas. Segunda hipótesis.

Como en la hipótesis anterior, en la pestaña “Combinaciones / Pandeo / Dinámico”, aparecen las diferentes combinaciones en función de las hipótesis de carga definidas en el programa por defecto —permanente, mantenimiento, nieve y viento—. Para la combinación 1, en la que únicamente se tendrá en cuenta la carga permanente, se calcula el valor de “Pandeo” y “Dinámico”.

	Combinación	Permanente	Mantenimien	Nieve	Viento	Viento	Viento	Pandeo	Dinámico
▶	1	1,35	0	0	0	0	0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	2	1,35	1,5	0	0	0	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	3	1,35	0	1,5	0	0	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	4	1,35	0	0	1,5	0	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	5	1,35	0	0	0	1,5	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	6	1,35	0	1,5	0,9	0	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	7	1,35	0	1,5	0	0,9	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	8	1,35	0	1,5	0	0	0,9	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	9	1,35	0	0,75	1,5	0	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	10	1,35	0	0,75	0	1,5	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	11	1,35	0	0,75	0	0	1,5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	12	0,8	0	0	1,5	0	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	13	0,8	0	0	0	1,5	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	14	0,8	0	0	0	0	1,5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Figura 23. Combinaciones de hipótesis de carga. Segunda hipótesis.

● Resultados:

Proyecto : PORTICO MERCADONA  
 Estructura : Mercadona Hipótesis 1  
 BARRAS.

Barra	Tabla	Tamaño	Material
1	I HEB	600	Acero S-235
2	I HEB	600	Acero S-235
3	IPE	600	Acero S-235
4	IPE	600	Acero S-235

Figura 24. Barras utilizadas. Segunda hipótesis.

Barra : 1

I HEB 600

Material : Acero S-235  $f_v = 235 \text{ N/mm}^2$

Agotamiento por plastificación [Ec. 6.11 DB-SE-A](#)

$$i(3) = 211,361 \times 1e3 / ( 270 \times 23500 / 1,05) + 1307,248 / 1436,857 = 0,94$$

Sección : 20 / 20 Clasificación : Z=1 Y=1

Comprobación Pandeo eje z-z  $\lambda_{adm,z(3)}=1,31$ ;  $\lambda_z(3)=123$ ;  $\beta_z(3)=5,16$ ;  $\alpha_{CII(3)}=16,1$  [Ec. 6.51 DB-SE-A](#)

$$i(3) = 229,044 / (0,464 \times 6042,857) + 1,065 \times 0,9 \times 1307,248 / 1436,857 = 0,87$$

Sección : 20 / 20 Clasificación : Z=1 Y=1

Comprobación Pandeo eje y-y  $\lambda_{adm,y(3)}=0,90$ ;  $\lambda_y(3)=85$ ;  $\beta_y(3)=1,00$  [Ec. 6.52/6.53 DB-SE-A](#)

$$i(3) = 229,044 / (0,66 \times 6042,857) + 0,6 \times 1,065 \times 0,9 \times 1307,248 / 1436,857 = 0,53$$

Sección : 20 / 20 Clasificación : Z=1 Y=1

Comprobación cortante para el eje principal 'y-y' de la barra

Esfuerzo cortante máximo :372,603 kN Tensión cortante máxima :34 N/mm<sup>2</sup>

$$i(3) = 33,61 / 129,22 = 0,26$$

Sección : 0 / 20

Aprovechamiento correspondiente al mayor índice de la barra : 95 %

Barra : 2

I HEB 600

Material : Acero S-235  $f_v = 235 \text{ N/mm}^2$

Agotamiento por plastificación [Ec. 6.11 DB-SE-A](#)

$$i(3) = 211,361 \times 1e3 / ( 270 \times 23500 / 1,05) + 1307,248 / 1436,857 = 0,94$$

Sección : 20 / 20 Clasificación : Z=1 Y=1

Comprobación Pandeo eje z-z  $\lambda_{adm,z(3)}=1,31$ ;  $\lambda_z(3)=123$ ;  $\beta_z(3)=5,16$ ;  $\alpha_{CII(3)}=16,1$  [Ec. 6.51 DB-SE-A](#)

$$i(3) = 229,044 / (0,464 \times 6042,857) + 1,065 \times 0,9 \times 1307,248 / 1436,857 = 0,87$$

Sección : 20 / 20 Clasificación : Z=1 Y=1

Comprobación Pandeo eje y-y  $\lambda_{adm,y(3)}=0,90$ ;  $\lambda_y(3)=85$ ;  $\beta_y(3)=1,00$  [Ec. 6.52/6.53 DB-SE-A](#)

$$i(3) = 229,044 / (0,66 \times 6042,857) + 0,6 \times 1,065 \times 0,9 \times 1307,248 / 1436,857 = 0,53$$

Sección : 20 / 20 Clasificación : Z=1 Y=1

Comprobación cortante para el eje principal 'y-y' de la barra

Esfuerzo cortante máximo :372,603 kN Tensión cortante máxima :34 N/mm<sup>2</sup>

$$i(3) = 33,61 / 129,22 = 0,26$$

Sección : 0 / 20

Aprovechamiento correspondiente al mayor índice de la barra : 95 %

Barra : 3

Sección variable a partir de: IPE 600 de: 933 mm. a 266 mm.

Material : Acero S-235  $f_v = 235 \text{ N/mm}^2$

Agotamiento por plastificación [Ec. 6.11 DB-SE-A](#)

$$i(3) = 382,693 \times 1e3 / ( 196 \times 23500 / 1,05) + 1307,248 / 1442,559 = 0,99$$

Sección : 0 / 20 Clasificación : Z=2 Y=1

Comprobación cortante para el eje principal 'y-y' de la barra

Esfuerzo cortante máximo :192,49 kN Tensión cortante máxima :23 N/mm<sup>2</sup>

$$i(3) = 22,97 / 129,22 = 0,18$$

Sección : 0 / 20

Flecha vano  
 Flecha vano asociada a la apariencia en combinación casi permanente (1): 7,8 mm adm.=l/250 = 70 mm.  
 Aprovechamiento correspondiente al mayor índice de la barra : 100 %  
 Aprovechamiento por flecha de la barra : 11 %

Barra : 4

Sección variable a partir de: IPE 600 de: 266 mm. a 933 mm.  
 Material : Acero S-235  $f_v = 235 \text{ N/mm}^2$   
 Agotamiento por plastificación Ec. 6.11 DB-SE-A  
 $i(3) = 382,693 \times 1e3 / (196 \times 23500 / 1,05) + 1307,248 / 1442,559 = 0,99$   
 Sección : 20 / 20 Clasificación : Z=2 Y=1  
 Comprobación cortante para el eje principal 'y-y' de la barra  
 Esfuerzo cortante máximo :197,591 kN Tensión cortante máxima :24 N/mm<sup>2</sup>  
 $i(6) = 23,58 / 129,22 = 0,18$   
 Sección : 20 / 20  
 Flecha vano  
 Flecha vano asociada a la apariencia en combinación casi permanente (1): 7,2 mm adm.=l/250 = 70 mm.  
 Aprovechamiento correspondiente al mayor índice de la barra : 100 %  
 Aprovechamiento por flecha de la barra : 10 %

Figura 25. Comprobación de barras. Segunda hipótesis.

Proyecto : PORTICO MERCADONA  
 Estructura : Mercadona Hipótesis 1

MEDICIONES.

BARRAS

TIPO	DIMENSION	LONG. (m)	Peso (kg.)
I HEB	600	12	2543,4
IPE	600	35,05	4291,5
Subtotal .....			6834,9

Figura 26. Medición peso estructura. Segunda hipótesis.

Proyecto : PORTICO MERCADONA  
 Estructura : Mercadona Hipótesis 1

PANDEO. LONGITUDES EFICACES Y ESBELTECES. Plano paralelo al XY

COMBINACION : 1	Coeficiente crítico, $\alpha_{cr} : 36,11$			
Plano Z: 0,00	Nudo	Desp. X	Desp. Y	Giro
	1	0,0000	0,0000	0,0000
	2	0,0000	0,0000	0,0000
	3	0,6638	-0,0007	-0,2138
	4	0,6636	0,0000	1,0000
	5	0,6639	0,0007	-0,2138

Proyecto : PORTICO MERCADONA  
 Estructura : Mercadona Hipótesis 1

PANDEO. LONGITUDES EFICACES Y ESBELTECES. Plano paralelo al XY

Combinación 1	Plano Z: 0,00			
Barra	$l_k$ (m)	$\beta$	$\lambda$	$\lambda_{Adimensional, z}$
1	29,64	4,94	117,78	1,25
2	29,64	4,94	117,78	1,25

Figura 27. Pandeo estructura. Segunda hipótesis.

Proyecto : PORTICO MERCADONA  
 Estructura : Mercadona Hipótesis 1

MODOS DE VIBRACION.

Combinación 1

MODO : 1 Frecuencia natural : 9,33383 Periodo : 0,67316 seg. Equivalente a : 1,48553 ciclos/seg.

Nudo	Desp. X	Desp. Y	Desp. Z	Giro X	Giro Y	Giro Z
1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
3	0,0432	0,0004	0,0000	0,0000	0,0000	0,0069
4	0,0002	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
5	-0,0428	0,0004	0,0000	0,0000	0,0000	-0,0070

Figura 28. Modos de vibración. Segunda hipótesis.

### 2.1.3 Tercera hipótesis

- Planteamiento:

Observando que la primera hipótesis —pilares y vigas con sección constante y que con cartelas no se aprecia cambio— y la segunda hipótesis —pilares de sección constante y vigas con sección variable— rompen las barras, se realiza una tercera hipótesis:



Figura 29. Inicio del cálculo. Tercera hipótesis.

En la siguiente figura, se visualiza cómo queda el pórtico con sección variable tanto los pilares como las vigas.

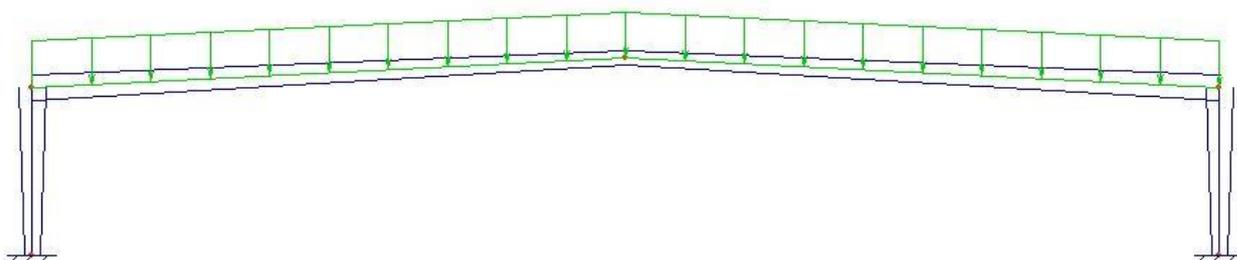


Figura 30. Visualización del pórtico. Tercera hipótesis.

Para esta hipótesis, se van a seleccionar los perfiles de Acero S-235 para los pilares HEB (9) de tamaño 550 de sección variable (relación  $H_{\max}/H_{\min} = 1,75$ ) y para los dinteles —vigas— HEB (9) de tamaño 550 de sección variable (relación  $H_{\max}/H_{\min} = 1,75$ ), como se observa en la siguiente figura:

Barra	Clase	Autodim...	Tipo Sección	Tamaño	Modelo	Grupo	Bz (Coef.)	B <sub>y</sub> (Coef.)	Flecha -	Flecha -	Flecha	Contraflech	S.Perf	Ref.Menor	Ref.Mayor	B.Sec.Varia	Presillas	Material	Beta (Rot.)	L
1	Pilar	<input checked="" type="checkbox"/>	9 - I HEB	550	Sec. Var.	1	?	1	0	0	0	0	0	0x0x0	0x0x0	1,75	0x0x0-0	Acero S-235	0	0
2	Pilar	<input checked="" type="checkbox"/>	9 - I HEB	550	Sec. Var.	1	?	1	0	0	0	0	0	0x0x0	0x0x0	1,75	0x0x0-0	Acero S-235	0	0
3	Viga	<input checked="" type="checkbox"/>	9 - I HEB	550	Sec. Var.	2	0	0	0	0	250	0	0	0x0x0	0x0x0	1,75	0x0x0-0	Acero S-235	0	0
4	Viga	<input checked="" type="checkbox"/>	9 - I HEB	550	Sec. Var.	2	0	0	0	0	250	0	0	0x0x0	0x0x0	1,75	0x0x0-0	Acero S-235	0	0

Figura 31. Características de las barras seleccionadas. Tercera hipótesis.

Como en las hipótesis anteriores, en la pestaña “Combinaciones / Pandeo / Dinámico”, aparecen las diferentes combinaciones en función de las hipótesis de carga definidas en el programa por defecto —permanente, mantenimiento, nieve y viento—. Para la combinación 1, en la que únicamente se tendrá en cuenta la carga permanente, se calcula el valor de “Pandeo” y “Dinámico”.

Combinación	Permanente	Mantenimien	Nieve	Viento	Viento	Viento	Pandeo	Dinámico
1	1,35	0	0	0	0	0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2	1,35	1,5	0	0	0	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	1,35	0	1,5	0	0	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	1,35	0	0	1,5	0	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	1,35	0	0	0	1,5	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6	1,35	0	1,5	0,9	0	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7	1,35	0	1,5	0	0,9	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8	1,35	0	1,5	0	0	0,9	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9	1,35	0	0,75	1,5	0	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10	1,35	0	0,75	0	1,5	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11	1,35	0	0,75	0	0	1,5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12	0,8	0	0	1,5	0	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13	0,8	0	0	0	1,5	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
14	0,8	0	0	0	0	1,5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Figura 32. Combinaciones de hipótesis de carga. Tercera hipótesis.

• Resultados:

Proyecto : PORTICO MERCADONA  
Estructura : Mercadona Hipótesis 2

BARRAS.

Barra	Tabla	Tamaño	Material
1	I HEB	550	Acero S-235
2	I HEB	550	Acero S-235
3	I HEB	550	Acero S-235
4	I HEB	550	Acero S-235

Figura 33. Barras utilizadas. Tercera hipótesis.

Barra : 1

Sección variable a partir de: I HEB 550 de: 400 mm. a 700 mm.

Material : Acero S-235  $f_y = 235 \text{ N/mm}^2$

Agotamiento por plastificación [Ec. 6.11 DB-SE-A](#)

$$i(3) = 259,658 \times 1e3 / (231,6 \times 23500 / 1,05) + 707,231 / 843,661 = 0,89$$

Sección : 0 / 20 Clasificación : Z=1 Y=1

Comprobación Pandeo eje z-z  $\lambda_{adm,z(3)} = 0,87$ ;  $\lambda_z(3) = 82$ ;  $\beta_z(3) = 3,81$ ;  $\alpha_{crit}(3) = 30,03$  [Ec. 6.51 DB-SE-A](#)

$$i(3) = 259,658 / (0,75 \times 5182,484) + 1,045 \times 0,9 \times 707,231 / 843,661 = 0,78$$

Sección : 0 / 20 Clasificación : Z=1 Y=1

Comprobación Pandeo eje y-y  $\lambda_{adm,y(3)} = 0,74$ ;  $\lambda_y(3) = 70$ ;  $\beta_y(3) = 1,00$  [Ec. 6.52/6.53 DB-SE-A](#)

$$i(3) = 259,658 / (0,76 \times 5182,484) + 0,6 \times 1,045 \times 0,9 \times 707,231 / 843,661 = 0,49$$

Sección : 0 / 20 Clasificación : Z=1 Y=1

Comprobación cortante para el eje principal 'y-y' de la barra

Esfuerzo cortante máximo :414,928 kN Tensión cortante máxima :41 N/mm<sup>2</sup>

$$i(3) = 41,49 / 129,22 = 0,32$$

Sección : 0 / 20

Aprovechamiento correspondiente al mayor índice de la barra : 89 %

Barra : 2

Sección variable a partir de: I HEB 550 de: 400 mm. a 700 mm.

Material : Acero S-235  $f_y = 235 \text{ N/mm}^2$

Agotamiento por plastificación [Ec. 6.11 DB-SE-A](#)

$$i(3) = 259,658 \times 1e3 / (231,6 \times 23500 / 1,05) + 707,231 / 843,661 = 0,89$$

Sección : 0 / 20 Clasificación : Z=1 Y=1

Comprobación Pandeo eje z-z  $\lambda_{adm,z(3)} = 0,87$ ;  $\lambda_z(3) = 82$ ;  $\beta_z(3) = 3,81$ ;  $\alpha_{crit}(3) = 30,03$  [Ec. 6.51 DB-SE-A](#)

$$i(3) = 259,658 / (0,75 \times 5182,484) + 1,045 \times 0,9 \times 707,231 / 843,661 = 0,78$$

Sección : 0 / 20 Clasificación : Z=1 Y=1

Comprobación Pandeo eje y-y  $\lambda_{adm,y(3)} = 0,74$ ;  $\lambda_y(3) = 70$ ;  $\beta_y(3) = 1,00$  [Ec. 6.52/6.53 DB-SE-A](#)

$$i(3) = 259,658 / (0,76 \times 5182,484) + 0,6 \times 1,045 \times 0,9 \times 707,231 / 843,661 = 0,49$$

Sección : 0 / 20 Clasificación : Z=1 Y=1

Comprobación cortante para el eje principal 'y-y' de la barra

Esfuerzo cortante máximo :414,928 kN Tensión cortante máxima :41 N/mm<sup>2</sup>

$$i(3) = 41,49 / 129,22 = 0,32$$

Sección : 0 / 20

Aprovechamiento correspondiente al mayor índice de la barra : 89 %

**Barra : 3**  
 Sección variable a partir de: I HEB 550 de: 700 mm. a 400 mm.  
 Material : Acero S-235  $f_y = 235 \text{ N/mm}^2$   
 Agotamiento por plastificación **Ec. 6.11 DB-SE-A**  
 $i(3) = 426,685 \times 1e3 / (276,6 \times 23500 / 1,05) + 1367,411 / 1696,57 = 0,87$   
 Sección : 0 / 20 Clasificación : Z=1 Y=1  
 Comprobación cortante para el eje principal 'y-y' de la barra  
 Esfuerzo cortante máximo :224,768 kN Tensión cortante máxima :22 N/mm<sup>2</sup>  
 $i(3) = 22,47 / 129,22 = 0,17$   
 Sección : 0 / 20  
 Flecha vano  
 Flecha vano asociada a la apariencia en combinación casi permanente (1): 6,5 mm adm.=l/250 = 70 mm.  
 Aprovechamiento correspondiente al mayor índice de la barra : 88 %  
 Aprovechamiento por flecha de la barra : 9 %

**Barra : 4**  
 Sección variable a partir de: I HEB 550 de: 400 mm. a 700 mm.  
 Material : Acero S-235  $f_y = 235 \text{ N/mm}^2$   
 Agotamiento por plastificación **Ec. 6.11 DB-SE-A**  
 $i(3) = 426,685 \times 1e3 / (276,6 \times 23500 / 1,05) + 1367,411 / 1696,57 = 0,87$   
 Sección : 20 / 20 Clasificación : Z=1 Y=1  
 Comprobación cortante para el eje principal 'y-y' de la barra  
 Esfuerzo cortante máximo :228,267 kN Tensión cortante máxima :23 N/mm<sup>2</sup>  
 $i(6) = 22,82 / 129,22 = 0,18$   
 Sección : 20 / 20  
 Flecha vano  
 Flecha vano asociada a la apariencia en combinación casi permanente (1): 6,3 mm adm.=l/250 = 70 mm.  
 Aprovechamiento correspondiente al mayor índice de la barra : 88 %  
 Aprovechamiento por flecha de la barra : 9 %

**Figura 34. Comprobación de barras. Tercera hipótesis.**

Proyecto : PORTICO MERCADONA  
 Estructura : Mercadona Hipótesis 2  
**MEDICIONES.**

**BARRAS**

TIPO	DIMENSION	LONG. (m)	Peso (kg.)
I HEB	550	45,05	8981,3
<b>Subtotal .....</b>			<b>8981,3</b>

**Figura 35. Medición peso estructura. Tercera hipótesis.**

Proyecto : PORTICO MERCADONA  
 Estructura : Mercadona Hipótesis 2  
**PANDEO. LONGITUDES EFICACES Y ESBELTECES. Plano paralelo al XY**

COMBINACION : 1 Coeficiente crítico,  $\alpha_{cr}$  : 65,13

Plano Z: 0,00

Nudo	Desp. X	Desp. Y	Giro
1	0,0000	0,0000	0,0000
2	0,0000	0,0000	0,0000
3	1,0000	-0,0006	-0,3170
4	0,9999	-0,0001	0,7055
5	1,0000	0,0006	-0,3170

Proyecto : PORTICO MERCADONA  
 Estructura : Mercadona Hipótesis 2

**PANDEO. LONGITUDES EFICACES Y ESBELTECES. Plano paralelo al XY**

Combinación 1 Plano Z: 0,00

Barra	$l_k$ (m)	$\beta$	$\lambda$	$\lambda_{Adimensional, z}$
1	18,53	3,71	79,89	0,85
2	18,53	3,71	79,89	0,85

**Figura 36. Pandeo estructura. Tercera hipótesis.**

Proyecto : PORTICO MERCADONA  
 Estructura : Mercadona Hipótesis 2  
**MODOS DE VIBRACION.**

**Combinación 1**

MODO : 1 Frecuencia natural : 10,72199 Periodo : 0,58601 seg. Equivalente a : 1,70646 ciclos/seg.

Nudo	Desp. X	Desp. Y	Desp. Z	Giro X	Giro Y	Giro Z
1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
3	0,0441	0,0006	0,0000	0,0000	0,0000	0,0080
4	0,0001	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
5	-0,0439	0,0006	0,0000	0,0000	0,0000	-0,0081

**Figura 37. Modos de vibración. Tercera hipótesis.**

### 2.1.4 Cuarta hipótesis

Se realiza una cuarta y última hipótesis, debido a que, según las condiciones impuestas en el enunciado, los pilares deben ser HEB y las vigas IPE, por lo que la tercera hipótesis no las cumple, a pesar de tener un buen porcentaje de aprovechamiento.



Figura 38. Inicio del cálculo. Cuarta hipótesis.

En la siguiente figura, se visualiza cómo queda el pórtico con sección variable tanto los pilares como las vigas.

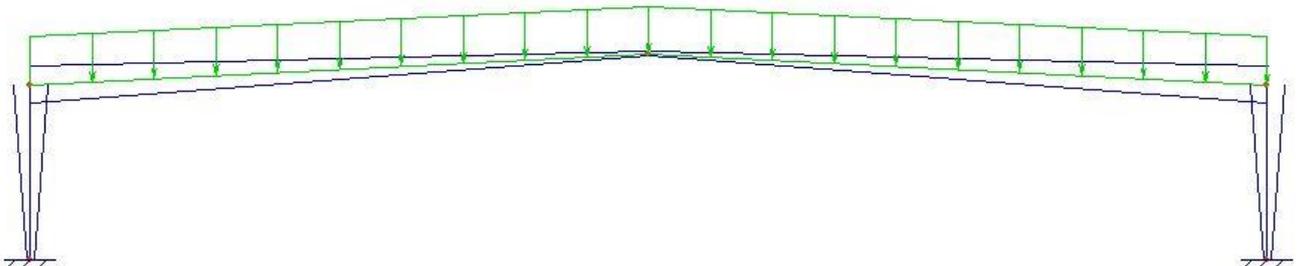


Figura 39. Visualización del pórtico. Cuarta hipótesis.

Para esta hipótesis, se van a seleccionar los perfiles de Acero S-235 para los pilares HEB (9) de tamaño 1000 de sección variable (relación  $H_{\max}/H_{\min} = 4,5$ ); y de **Acero S-275** para los dinteles —vigas— IPE (9) de tamaño 600 de sección variable (relación  $H_{\max}/H_{\min} = 7,7$ ), como se observa en la siguiente figura:

Barra	Clase	Autodim...	Tipo Sección	Tamaño	Modelo:	Grupo	Bz (Coef.)	B <sub>y</sub> (Coef.)	Flecha -	Flecha -	Flecha	Contraflech	S.Perf	Ref.Menor	Ref.Mayor	B.Sec.Varia	Presillas	Material	Beta (Rot.)	L <sub>e</sub>
1	Pilar	✓	9 - I HEB	1000	Sec. Var.	1	?	1	0	0	0	0	0	0x0x0 ...	0x0x0 ...	4,5	0x0x0-0 ...	Acero S-235	0	0
2	Pilar	✓	9 - I HEB	1000	Sec. Var.	1	?	1	0	0	0	0	0	0x0x0 ...	0x0x0 ...	4,5	0x0x0-0 ...	Acero S-235	0	0
3	Viga	✓	12 - IPE	600	Sec. Var.	2	0	0	0	0	200	0	0	0x0x0 ...	0x0x0 ...	7,7	0x0x0-0 ...	Acero S-275	0	0
4	Viga	✓	12 - IPE	600	Sec. Var.	2	0	0	0	0	200	0	0	0x0x0 ...	0x0x0 ...	7,7	0x0x0-0 ...	Acero S-275	0	0

Figura 40. Características de las barras seleccionadas. Cuarta hipótesis.

**NOTA:** **Acero S-275** no cumpliría con las condiciones impuestas en el enunciado de utilizar Acero S-235, pero es el mejor resultado encontrado para cumplir con el uso de pilares HEB y vigas IPE con un factor de aprovechamiento optimizado.

Por otro lado, intentando optimizar aún más lo propuesto, se realiza una prueba utilizando material Acero S-275 también en pilares, obteniendo un tamaño más reducido de pilar (HEB de 700) y uno de viga IPE de 600 (igual). En la visualización de los resultados, se

observa que el aprovechamiento empeora aumentando al 95%, por lo que la solución final es la hipótesis 4.

Como en las hipótesis anteriores, en la pestaña “Combinaciones / Pandeo / Dinámico”, aparecen las diferentes combinaciones en función de las hipótesis de carga definidas en el programa por defecto —permanente, mantenimiento, nieve y viento—. Para la combinación 1, en la que únicamente se tendrá en cuenta la carga permanente, se calcula el valor de “Pandeo” y “Dinámico”.

Combinación	Permanente	Mantenimien	Nieve	Viento	Viento	Viento	Pandeo	Dinámico
1	1,35	0	0	0	0	0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2	1,35	1,5	0	0	0	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	1,35	0	1,5	0	0	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	1,35	0	0	1,5	0	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	1,35	0	0	0	1,5	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6	1,35	0	1,5	0,9	0	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7	1,35	0	1,5	0	0,9	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8	1,35	0	1,5	0	0	0,9	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9	1,35	0	0,75	1,5	0	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10	1,35	0	0,75	0	1,5	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11	1,35	0	0,75	0	0	1,5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12	0,8	0	0	1,5	0	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13	0,8	0	0	0	1,5	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
14	0,8	0	0	0	0	1,5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Figura 41. Combinaciones de hipótesis de carga. Cuarta hipótesis.

- Resultados:

Proyecto : PORTICO MERCADONA  
 Estructura : Mercadona Hipótesis 3  
 BARRAS.

Barra	Tabla	Tamaño	Material
1	I HEB	1000	Acero S-235
2	I HEB	1000	Acero S-235
3	IPE	600	Acero S-275
4	IPE	600	Acero S-275

Figura 42. Barras utilizadas. Cuarta hipótesis.

**Barra : 1**

Sección variable a partir de: I HEB 1000 de: 363 mm. a 1636 mm.  
 Material : Acero S-235  $f_y = 235 \text{ N/mm}^2$   
 Agotamiento por plastificación **Ec. 6.11 DB-SE-A**  
 $i(6) = 182,909 \times 1e3 / ( 279,1 \times 23500 / 1,05) + 718,744 / 906,417 = 0,82$   
 Sección : 0 / 20 Clasificación : Z=1 Y=1  
 Comprobación Pandeo eje z-z  $\lambda_{adm,z(3)} = 2,02$ ;  $\lambda_z(3) = 189$ ;  $\beta_z(3) = 15,21$ ;  $\alpha_{crit(3)} = 9,9$  **Ec. 6.51 DB-SE-A**  
 $i(3) = 233,192 / (0,219 \times 6247,343) + 1,136 \times 0,9 \times 697,178 / 906,417 = 0,87$   
 Sección : 0 / 20 Clasificación : Z=1 Y=1  
 Comprobación Pandeo eje y-y  $\lambda_{adm,y(3)} = 0,83$ ;  $\lambda_y(3) = 78$ ;  $\beta_y(3) = 1,00$  **Ec. 6.52/6.53 DB-SE-A**  
 $i(3) = 233,192 / (0,703 \times 6247,343) + 0,6 \times 1,136 \times 0,9 \times 697,178 / 906,417 = 0,48$   
 Sección : 0 / 20 Clasificación : Z=1 Y=1  
 Comprobación cortante para el eje principal 'y-y' de la barra  
 Esfuerzo cortante máximo :416,484 kN Tensión cortante máxima :20 N/mm<sup>2</sup>  
 $i(3) = 19,60 / 129,22 = 0,15$   
 Sección : 0 / 20  
 Aprovechamiento correspondiente al mayor índice de la barra : 87 %

**Barra : 2**

Sección variable a partir de: I HEB 1000 de: 363 mm. a 1636 mm.  
 Material : Acero S-235  $f_y = 235 \text{ N/mm}^2$   
 Agotamiento por plastificación **Ec. 6.11 DB-SE-A**  
 $i(3) = 233,192 \times 1e3 / ( 279,1 \times 23500 / 1,05) + 697,178 / 906,417 = 0,81$   
 Sección : 0 / 20 Clasificación : Z=1 Y=1  
 Comprobación Pandeo eje z-z  $\lambda_{adm,z(3)} = 2,02$ ;  $\lambda_z(3) = 189$ ;  $\beta_z(3) = 15,21$ ;  $\alpha_{crit(3)} = 9,9$  **Ec. 6.51 DB-SE-A**  
 $i(3) = 233,192 / (0,219 \times 6247,343) + 1,136 \times 0,9 \times 697,178 / 906,417 = 0,87$   
 Sección : 0 / 20 Clasificación : Z=1 Y=1  
 Comprobación Pandeo eje y-y  $\lambda_{adm,y(3)} = 0,83$ ;  $\lambda_y(3) = 78$ ;  $\beta_y(3) = 1,00$  **Ec. 6.52/6.53 DB-SE-A**  
 $i(3) = 233,192 / (0,703 \times 6247,343) + 0,6 \times 1,136 \times 0,9 \times 697,178 / 906,417 = 0,48$   
 Sección : 0 / 20 Clasificación : Z=1 Y=1  
 Comprobación cortante para el eje principal 'y-y' de la barra  
 Esfuerzo cortante máximo :416,484 kN Tensión cortante máxima :20 N/mm<sup>2</sup>  
 $i(3) = 19,60 / 129,22 = 0,15$   
 Sección : 0 / 20  
 Aprovechamiento correspondiente al mayor índice de la barra : 87 %

**Barra : 3**

Sección variable a partir de: IPE 600 de: 1062 mm. a 137 mm.  
 Material : Acero S-275  $f_y = 275 \text{ N/mm}^2$   
 Agotamiento por plastificación **Ec. 6.11 DB-SE-A**  
 $i(3) = 426,519 \times 1e3 / ( 211,4 \times 27500 / 1,05) + 1385,242 / 1713,746 = 0,89$   
 Sección : 0 / 20 Clasificación : Z=3 Y=1  
 Comprobación cortante para el eje principal 'y-y' de la barra  
 Esfuerzo cortante máximo :190,299 kN Tensión cortante máxima :23 N/mm<sup>2</sup>  
 $i(3) = 22,71 / 151,21 = 0,15$   
 Sección : 0 / 20

**Flecha vano**

Flecha vano asociada a la apariencia en combinación casi permanente (1): 11,2 mm adm.=l/200 = 87,6 mm.  
 Aprovechamiento correspondiente al mayor índice de la barra : 89 %  
 Aprovechamiento por flecha de la barra : 12 %

**Barra : 4**

Sección variable a partir de: IPE 600 de: 137 mm. a 1062 mm.  
 Material : Acero S-275  $f_y = 275 \text{ N/mm}^2$   
 Agotamiento por plastificación **Ec. 6.11 DB-SE-A**  
 $i(3) = 426,519 \times 1e3 / ( 211,4 \times 27500 / 1,05) + 1385,242 / 1713,746 = 0,89$   
 Sección : 20 / 20 Clasificación : Z=3 Y=1  
 Comprobación cortante para el eje principal 'y-y' de la barra  
 Esfuerzo cortante máximo :197,619 kN Tensión cortante máxima :24 N/mm<sup>2</sup>  
 $i(6) = 23,58 / 151,21 = 0,16$   
 Sección : 20 / 20  
**Flecha vano**  
 Flecha vano asociada a la apariencia en combinación casi permanente (1): 10,1 mm adm.=l/200 = 87,6 mm.  
 Aprovechamiento correspondiente al mayor índice de la barra : 89 %  
 Aprovechamiento por flecha de la barra : 11 %

**Figura 43. Comprobación de barras. Cuarta hipótesis.**

Proyecto : PORTICO MERCADONA  
 Estructura : Mercadona Hipótesis 3  
 MEDICIONES.

BARRAS

TIPO	DIMENSION	LONG. (m)	Peso (kg.)
I HEB	1000	10	3140,0
IPE	600	35,05	4291,5
Subtotal .....			7431,5

Figura 44. Medición peso estructura. Cuarta hipótesis.

Proyecto : PORTICO MERCADONA  
 Estructura : Mercadona Hipótesis 3

PANDEO. LONGITUDES EFICACES Y ESBELTECES. Plano paralelo al XY

COMBINACION : 1		Coeficiente crítico, $\alpha_{crit} : 22,25$		
Plano Z: 0,00	Nudo	Desp. X	Desp. Y	Giro
	1	0,0000	0,0000	0,0000
	2	0,0000	0,0000	0,0000
	3	0,3104	-0,0005	-0,0861
	4	0,3102	0,0000	1,0000
	5	0,3104	0,0005	-0,0861

Proyecto : PORTICO MERCADONA  
 Estructura : Mercadona Hipótesis 3

PANDEO. LONGITUDES EFICACES Y ESBELTECES. Plano paralelo al XY

Combinación 1		Plano Z: 0,00		
Barra	$l_k$ (m)	$\beta$	$\lambda$	$\lambda_{Adimensional, z}$
1	71,99	14,40	179,33	1,91
2	71,99	14,40	179,33	1,91

Figura 45. Pandeo estructura. Cuarta hipótesis.

Proyecto : PORTICO MERCADONA  
 Estructura : Mercadona Hipótesis 3

MODOS DE VIBRACION.

Combinación 1

MODO : 1 Frecuencia natural : 9,92276 Periodo : 0,63321 seg. Equivalente a : 1,57926 ciclos/seg.

Nudo	Desp. X	Desp. Y	Desp. Z	Giro X	Giro Y	Giro Z
1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
3	0,0403	0,0003	0,0000	0,0000	0,0000	-0,0069
4	0,0000	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
5	-0,0402	0,0003	0,0000	0,0000	0,0000	0,0069

Figura 46. Modos de vibración. Cuarta hipótesis.

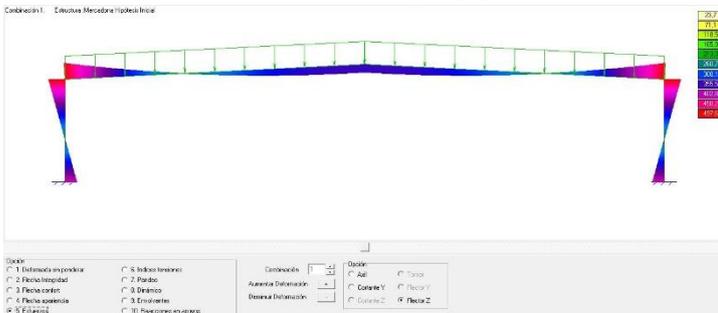
## 2.2 Resultados con METALPLA

En esta parte incluir solamente el índice de tensiones para ver qué parte es la más crítica

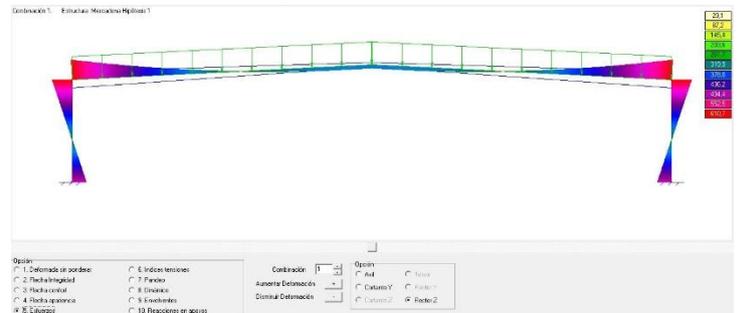
### ➤ Visualización de Deformadas, Esfuerzos, Tensiones, Reacciones, Pandeo y Dinámico.

#### • Diagramas de Esfuerzos

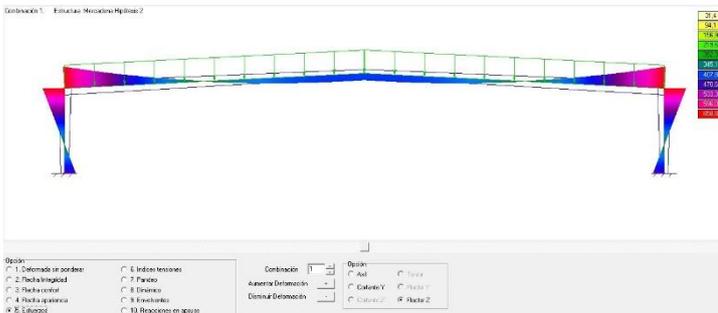
##### PRIMERA HIPOTESIS



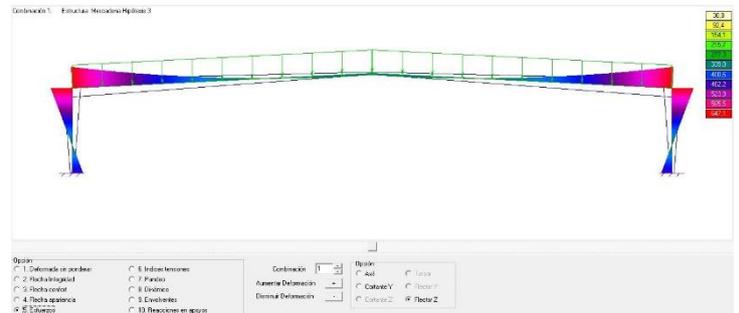
##### SEGUNDA HIPOTESIS



##### TERCERA HIPOTESIS

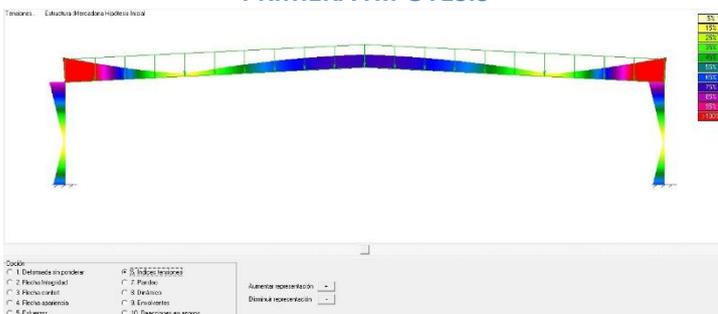


##### CUARTA HIPOTESIS

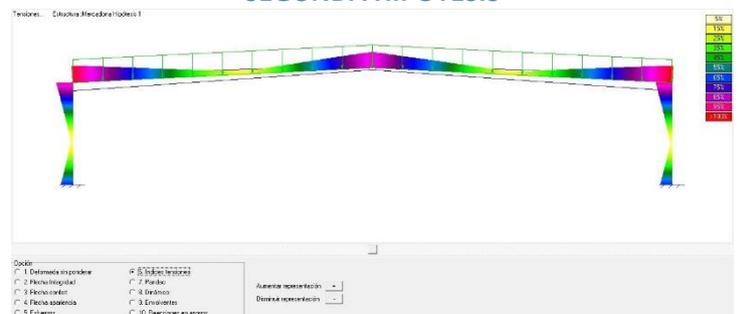


#### • Diagramas de Índices Tensiones

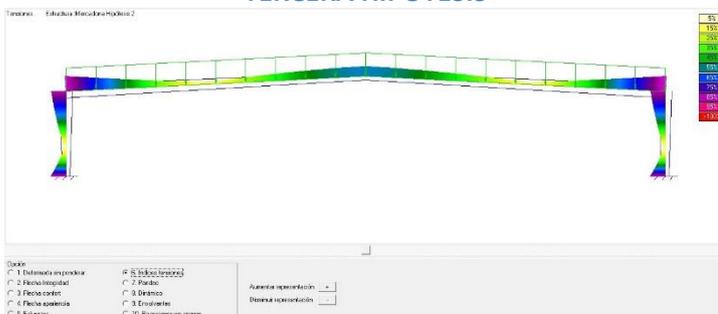
##### PRIMERA HIPOTESIS



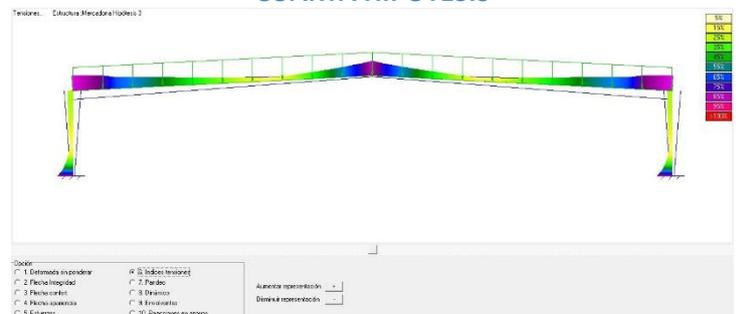
##### SEGUNDA HIPOTESIS



##### TERCERA HIPOTESIS

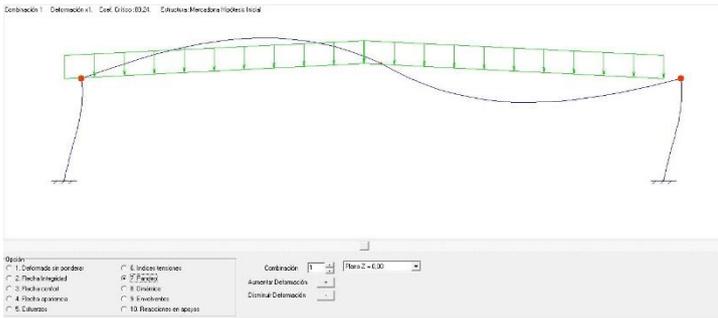


##### CUARTA HIPOTESIS

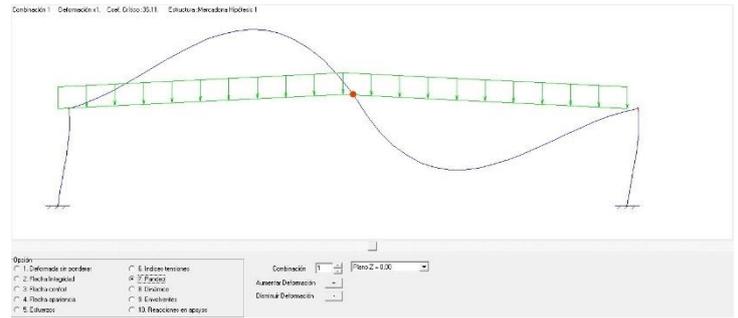


• **Diagramas de Pandeo**

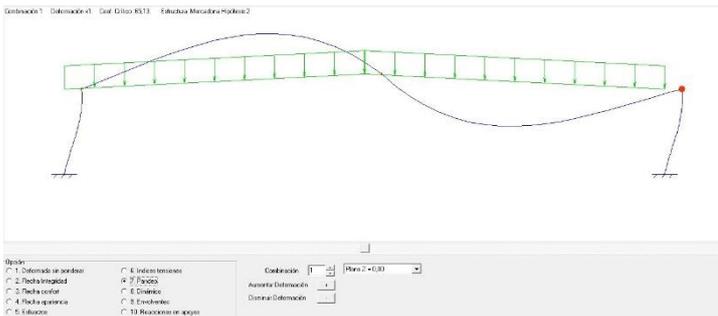
**PRIMERA HIPOTESIS**



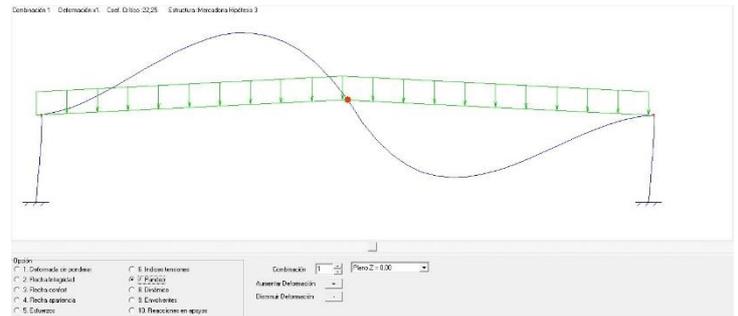
**SEGUNDA HIPOTESIS**



**TERCERA HIPOTESIS**

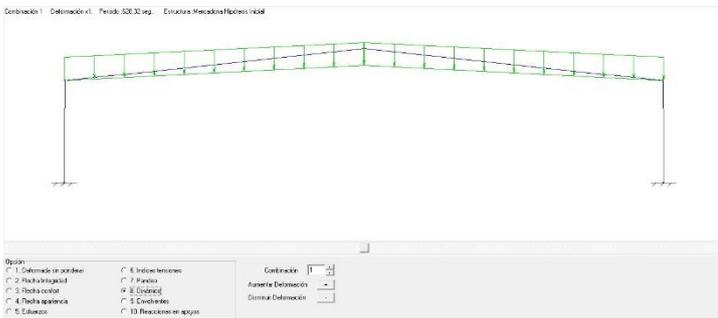


**CUARTA HIPOTESIS**

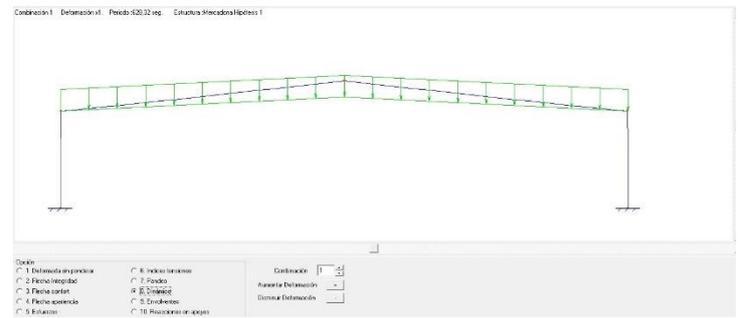


• **Diagramas de Dinámico**

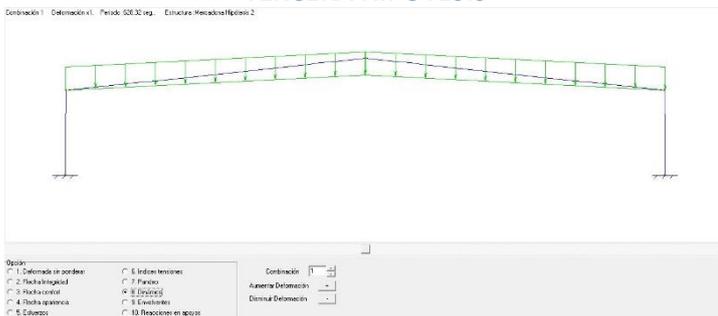
**PRIMERA HIPOTESIS**



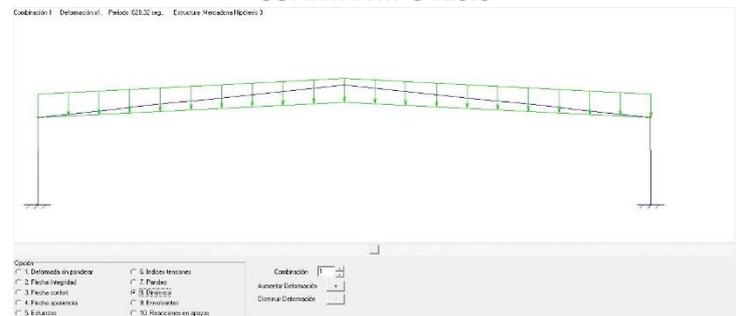
**SEGUNDA HIPOTESIS**



**TERCERA HIPOTESIS**

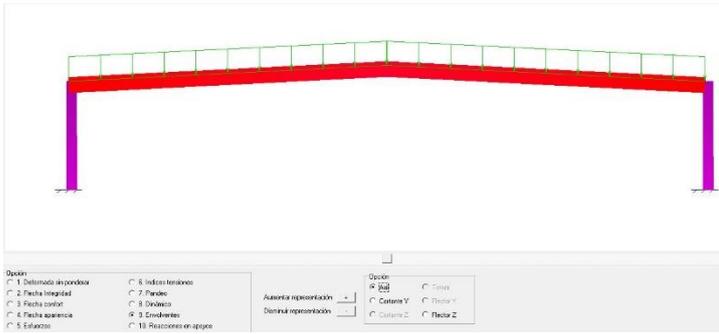


**CUARTA HIPOTESIS**

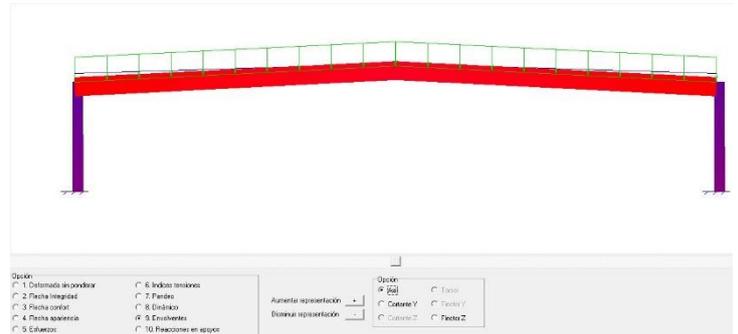


• **Diagramas de Axiles**

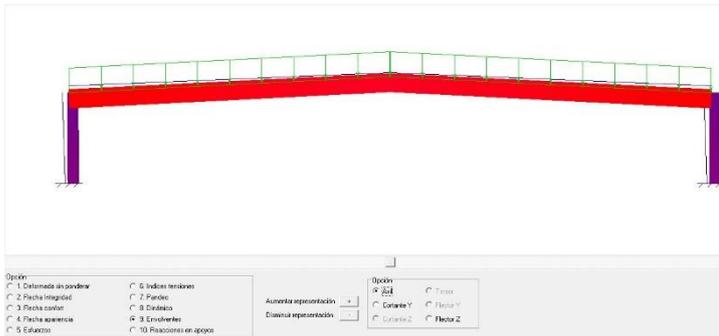
**PRIMERA HIPOTESIS**



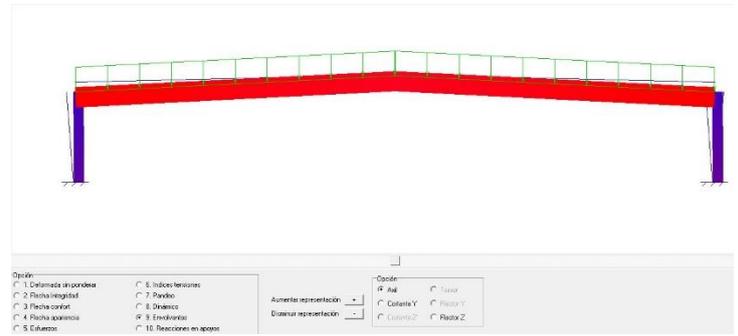
**SEGUNDA HIPOTESIS**



**TERCERA HIPOTESIS**

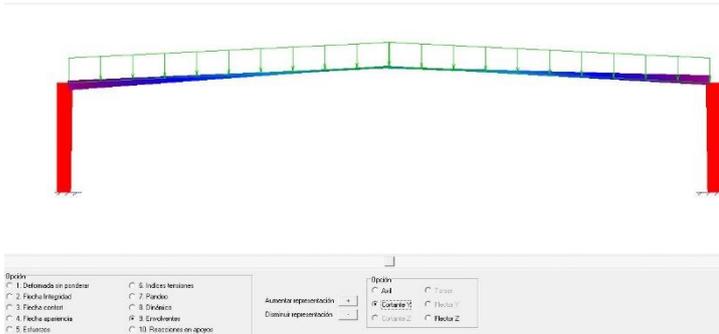


**CUARTA HIPOTESIS**



• **Diagramas de Cortantes en el eje Y**

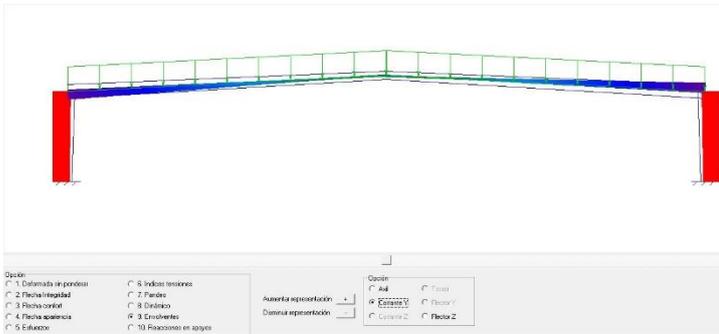
**PRIMERA HIPOTESIS**



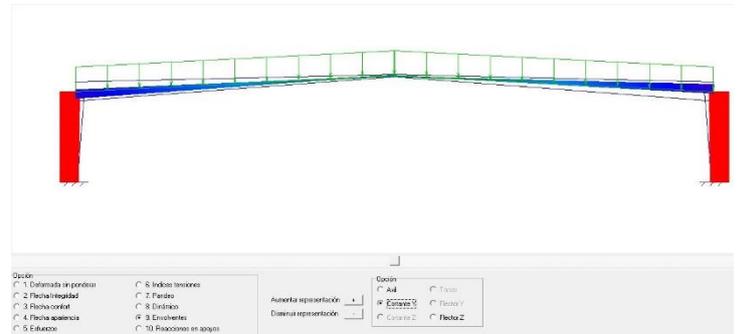
**SEGUNDA HIPOTESIS**



**TERCERA HIPOTESIS**

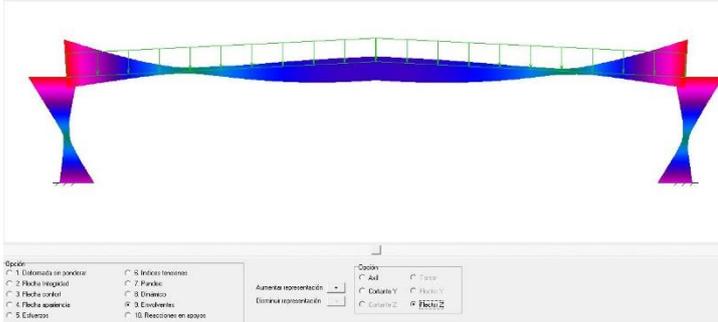


**CUARTA HIPOTESIS**

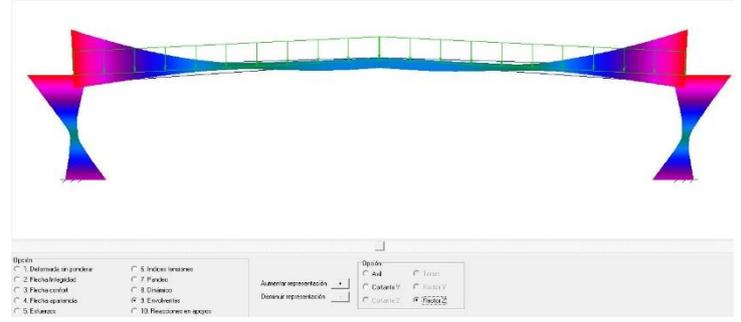


• **Diagramas de momento Flector Z**

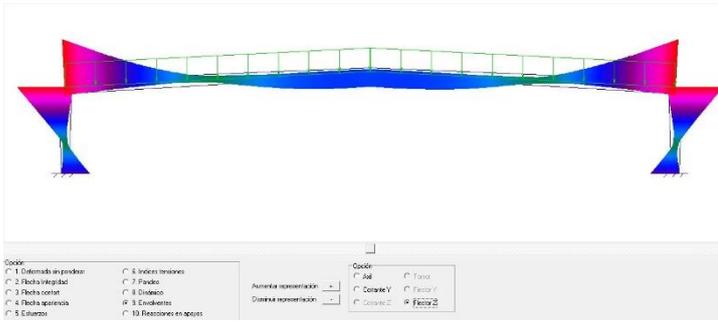
**PRIMERA HIPOTESIS**



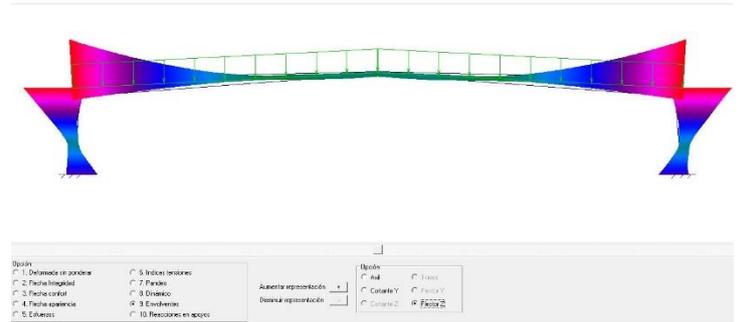
**SEGUNDA HIPOTESIS**



**TERCERA HIPOTESIS**



**CUARTA HIPOTESIS**



### 3 CONCLUSIONES

Las dos primeras no se deben incluir en la versión del curso 17/18. Poner como máximo un 95% de aprovechamiento.

El pórtico resultante es un **pórtico triarticulado** —tanto pilares como vigas son de sección variable— por lo que se debe tener en cuenta como inconveniente que presenta desplazamientos y momentos mayores que otro tipo de pórticos —el momento flector máximo lo tendrá en la unión pilar-viga donde se sitúa el cordón de soldadura, expresado en el apartado de descripción de las uniones— pero como ventaja resisten mejor las tensiones debidas a variaciones de temperatura y a asentamientos diferenciales en los apoyos.

No. No es triarticulado

En la siguiente tabla se van a visualizar los resultados de las 4 hipótesis propuestas para tener una idea resumida de los mismos:

Hipótesis	Barra	Tipo	Tamaño	Sección	Hmáx	Hmin	Material	Aprovechamiento	Peso
<del>1</del>	<del>Pilar 1</del>	<del>I HEB</del>	<del>550</del>	<del>Constante</del>	<del>-</del>	<del>-</del>	<del>Acero S-235</del>	<del>89%</del>	<del>6684,2kg.</del>
	<del>Pilar 2</del>	<del>I HEB</del>	<del>550</del>	<del>Constante</del>	<del>-</del>	<del>-</del>	<del>Acero S-235</del>	<del>89%</del>	
	<del>Viga 3</del>	<del>IPE</del>	<del>600</del>	<del>Constante</del>	<del>-</del>	<del>-</del>	<del>Acero S-235</del>	<del>145%</del>	
	<del>Viga 4</del>	<del>IPE</del>	<del>600</del>	<del>Constante</del>	<del>-</del>	<del>-</del>	<del>Acero S-235</del>	<del>145%</del>	
<del>2</del>	<del>Pilar 1</del>	<del>I HEB</del>	<del>600</del>	<del>Constante</del>	<del>-</del>	<del>-</del>	<del>Acero S-235</del>	<del>95%</del>	<del>6834,9kg.</del>
	<del>Pilar 2</del>	<del>I HEB</del>	<del>600</del>	<del>Constante</del>	<del>-</del>	<del>-</del>	<del>Acero S-235</del>	<del>95%</del>	
	<del>Viga 3</del>	<del>IPE</del>	<del>600</del>	<del>Variable</del>	<del>933</del>	<del>266</del>	<del>Acero S-235</del>	<del>100%</del>	
	<del>Viga 4</del>	<del>IPE</del>	<del>600</del>	<del>Variable</del>	<del>933</del>	<del>266</del>	<del>Acero S-235</del>	<del>100%</del>	
3	Pilar 1	I HEB	550	Variable	700	400	Acero S-235	89%	8981,3kg.
	Pilar 2	I HEB	550	Variable	700	400	Acero S-235	89%	
	Viga 3	I HEB	550	Variable	700	400	Acero S-235	88%	
	Viga 4	I HEB	550	Variable	700	400	Acero S-235	88%	
4	Pilar 1	I HEB	1000	Variable	1636	363	Acero S-235	87%	7431,5kg.
	Pilar 2	I HEB	1000	Variable	1636	363	Acero S-235	87%	
	Viga 3	IPE	600	Variable	1062	137	Acero S-275	89%	
	Viga 4	IPE	600	Variable	1062	137	Acero S-275	89%	

Tabla 2. Hipótesis realizadas. Hipótesis 4 en verde por ser la seleccionada.

La primera conclusión que se puede obtener del análisis del pórtico, es que, al realizar la primera hipótesis, utilizando vigas de perfil IPE (12) —número (12) correspondiente a perfil IPE simple— la estructura rompe de cualquier manera. Se optó por reforzarla con cartelas, pero el resultado fue el mismo, sin sufrir ninguna variación el factor de aprovechamiento. Sin embargo, al utilizar perfil IPE (7) —número correspondiente a perfil IPE doble— la estructura no rompe. Esto se debe a que al sumar las dos vigas IPE es como si tuviese el doble de sección. El módulo resistente de un perfil IPE es mayor en el eje “x” que en el eje “y”, al ser mayor el momento de inercia, por ello tiene menos resistencia al colocar el perfil IPE simple en vertical (alma vertical en el eje “y”). En el caso de un IPE doble, dichos módulos resistentes se suman por lo que son capaces de soportar la carga aplicada. Pero como el IPE doble tiene más material y por tanto más precio, se pasa a la siguiente hipótesis.

Por otro lado, también se puede sacar como conclusión que al utilizar perfil HEB tanto en pilares como en vigas la estructura soporta la carga. Esto es porque un perfil HEB tiene una esbeltez menor porque su radio de giro es mayor. Por este motivo, es más recomendable utilizarlo para pilares.

Por último, destacar que la cuarta hipótesis es correcta en lo que respecta a factor de aprovechamiento ( rondando 87%-89%) comparándola con el resto de hipótesis estudiadas, diseñándola con sección variable y un peso menor (7431,5 kg); con la salvedad que las vigas son de material Acero S-275 distinto al propuesto en el enunciado Acero S-235. Por este motivo, soporta bien la carga disminuyendo el factor de aprovechamiento.

## 4 BIBLIOGRAFÍA

### Referencias bibliográficas

- [1] Argüelles Álvarez, R., *La estructura metálica hoy*, Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes, Sección de publicaciones, 2ª edición, 1978.
- [2] Norma Básica de la Edificación NBE EA-95: estructuras de acero en edificación / Dirección General de la Vivienda, la Arquitectura y el Urbanismo. -Madrid: Ministerio de Fomento. Centro de Publicaciones, 2000.
- [3] Larburu Arrizabalaga, N., *Acero Laminado -Prontuario-, Construcciones Metálicas*. Editorial Paraninfo, 1992.

### Material docente

- [4] Tema 6 – Parte 2. Introducción al CTE. Estructuras metálicas en naves industriales. (Apuntes de la asignatura).
- [5] Tutorial para manejar METALPLA 2011 2D.
- [6] Manual de uso METALPLA AVANZADO\_XE\_2D.

### Videotutoriales

- [7] <https://www.youtube.com/watch?v=zf6SfkbzFpE> *Pórtico de acero a dos aguas*. [Fecha consulta: 10/12/2016]

### Páginas web consultadas

- [8] <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn100.html> [Fecha consulta: 06/12/2016]
- [9] <http://ingemecanica.com/tutoriales/prontuariodeperfiles.html> [Fecha consulta: 06/12/2016]
- [10] [http://www.cinsasl.net/productos.php?sec\\_id=31](http://www.cinsasl.net/productos.php?sec_id=31) [Fecha consulta: 06/12/2016]
- [11] <http://www.dovalbuilding.com/sistemas/estructura-metalica/pasv> [Fecha consulta: 06/12/2016]
- [12] <http://www.ingenierocivilinfo.com/2013/08/pilares-y-vigas-edificios-modulares.html> [Fecha consulta: 10/12/2016]
- [13] <http://construcciones2sm.blogspot.com.es/> [Fecha consulta: 17/12/2016]

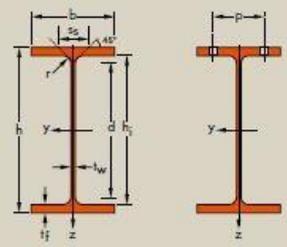
## 5 ANEXO A. PRONTUARIO VIGAS IPE Y HEB

### VIGAS IPE

**Perfiles I de alas paralelas (continúa)**  
 Dimensiones: IPE 80 - 600 conforme a la norma anterior EU 19-57  
 IPE AA 80 - 550, IPE A 80 - 600, IPE O 180 - 600, IPE 750 conforme a la norma AM  
 Tolerancias: EN 10034: 1993  
 Estado de la superficie: conforme a EN 10163-3: 2004, clase C, subclase 1

**European I beams (continued)**  
 Dimensions: IPE 80 - 600 in accordance with former standard EU 19-57  
 IPE AA 80 - 550, IPE A 80 - 600, IPE O 180 - 600, IPE 750 in accordance with AM standard  
 Tolerances: EN 10034: 1993  
 Surface condition: according to EN 10163-3: 2004, class C, subclass 1

**Profili I ad ali paralele (continua)**  
 Dimensione: IPE 80 - 600 secondo il vecchio standard EU 19-57  
 IPE AA 80 - 550, IPE A 80 - 600, IPE O 180 - 600, IPE 750 secondo la standard AM  
 Tolleranze: EN 10034: 1993  
 Condizioni di superficie: secondo EN 10163-3: 2004, classe C, sottoclasse 1



Denominación Designation Designazione	Dimensiones Dimensions Dimensioni						Dimensiones de construcción Dimensions for detailing Dimensioni di dettaglio						Superficie Surface Superficie	
	G kg/m	h mm	b mm	l <sub>w</sub> mm	t <sub>f</sub> mm	r mm	A mm <sup>2</sup> x10 <sup>2</sup>	h mm	d mm	Ø mm	p <sub>max</sub> mm	p <sub>min</sub> mm	A <sub>1</sub> m <sup>2</sup> /m	A <sub>2</sub> m <sup>2</sup> /t
IPEA 550-	92,1	547	210	9,0	15,7	24,0	117	515,6	467,6	M 24	106	122	1,875	20,36
IPE 550	106	550	210	11,1	17,2	24,0	134	515,6	467,6	M 24	110	122	1,877	17,78
IPE O 550+	123	556	212	12,7	20,2	24,0	156	515,6	467,6	M 24	110	122	1,893	15,45
IPEA 600-	108	597	220	9,8	17,5	24,0	137	562,0	514,0	M 27	114	118	2,013	18,72
IPE 600	122	600	220	12,0	19,0	24,0	156	562,0	514,0	M 27	116	118	2,015	16,45
IPE O 600+	154	610	224	15,0	24,0	24,0	197	562,0	514,0	M 27	118	122	2,045	13,24
IPE 750x 137*	137	753	263	11,5	17,0	17,0	175	719,0	685,0	M 27	102	162	2,506	18,28
IPE 750x 147	147	753	265	13,2	17,0	17,0	188	719,0	685,0	M 27	104	164	2,510	17,06
IPE 750x 173+	173	762	267	14,4	21,6	17,0	221	718,8	684,8	M 27	104	166	2,534	14,58
IPE 750x 196+	196	770	268	15,6	25,4	17,0	251	719,2	685,2	M 27	106	166	2,552	12,96



Páginas de notaciones 205-209 / Notations pages 205-209 / Pagine di annotazioni 205-209

Denominación Designation Designazione	Propiedades del perfil / Section properties / Proprietà geometriche del profilo													Classification EN 1993-1-1: 2005					EN 10025-2: 2004	EN 10025-4: 2004	EN 10225:2001	
	eje fuerte y-y strong axis y-y asse forte y-y						eje débil z-z weak axis z-z asse debole z-z							Pure bending y-y		Pure compression						
	G kg/m	I <sub>y</sub> mm <sup>4</sup> x10 <sup>8</sup>	W <sub>pl,y</sub> mm <sup>3</sup> x10 <sup>3</sup>	W <sub>pl,y</sub> <sup>*</sup> mm <sup>3</sup> x10 <sup>3</sup>	I <sub>y</sub> mm <sup>4</sup> x10	A <sub>v</sub> mm <sup>2</sup> x10 <sup>2</sup>	I <sub>z</sub> mm <sup>4</sup> x10 <sup>8</sup>	W <sub>pl,z</sub> mm <sup>3</sup> x10 <sup>3</sup>	W <sub>pl,z</sub> <sup>*</sup> mm <sup>3</sup> x10 <sup>3</sup>	I <sub>z</sub> mm <sup>4</sup> x10	S <sub>x</sub> mm	I <sub>z</sub> mm <sup>4</sup> x10 <sup>8</sup>	I <sub>z</sub> mm <sup>4</sup> x10 <sup>8</sup>	S <sub>235</sub>	S <sub>355</sub>	S <sub>460</sub>	S <sub>235</sub>	S <sub>355</sub>				S <sub>460</sub>
IPEA 550	92,1	59980	2193	2475	22,6	60,3	2432	232	362	4,55	68,5	86,5	1710	1	1	2	4	4	4	✓	✓	✓
IPE 550	106	67120	2440	2787	22,4	72,3	2668	254	401	4,45	73,6	123	1884	1	1	1	4	4	4	✓	HI	HI
IPE O 550	123	79160	2847	3263	22,5	82,7	3224	304	481	4,55	81,2	188	2302	1	1	1	2	4	4	✓	HI	HI
IPEA 600	108	82920	2778	3141	24,6	70,1	3116	283	442	4,77	72,9	119	2607	1	1	2	4	4	4	✓	✓	✓
IPE 600	122	92080	3070	3512	24,3	83,8	3387	308	486	4,66	78,1	103	2846	1	1	1	4	4	4	✓	HI	HI
IPE O 600	154	118300	3879	4471	24,5	104	4521	404	640	4,79	91,1	318	3860	1	1	1	2	4	4	✓	HI	HI
IPE 750x 137	137	159900	4246	4865	30,3	92,9	5166	393	614	5,44	65,4	137	6980	1	2	-	4	4	-	✓	✓	✓
IPE 750x 147	147	166100	4411	5110	29,8	105	5289	399	631	5,31	67,1	162	7141	1	1	2	4	4	4	✓	✓	✓
IPE 750x 173	173	205800	5402	6218	30,5	116	6873	515	810	5,57	77,5	274	9391	1	1	1	4	4	4	✓	HI	HI
IPE 750x 196	196	240300	6241	7174	31,0	127	8175	610	959	5,71	86,3	409	11290	1	1	1	4	4	4	✓	HI	HI

HI - HÍSTAR®

**VIGAS HEB**

**Perfiles H de alas anchas (continúa)**  
 Dim.: HE A, HE B y HE M 100 - 1000 conforme a la norma anterior EU 53-62; HE 1000 con  $G_{he} > G_{est}$  conforme a ASTM A 6/A 6M - 07  
 HE C conforme a PN-H-93452: 2005; HE AA 100-1000 conforme a la norma AM  
 Tollerancias: EN 10034: 1993 HE 100 - 900; HE 1000 AA-M  
 ASTM A 6/A 6M - 07 HE 1000 with  $G_{he} > G_{est}$   
 Estado de la superficie: conforme a norma EN 10163-3: 2004, clase C, subclase 1

**European wide flange beams (continued)**  
 Dim.: HE A, HE B and HE M 100 - 1000 in accordance with former standard EU 53-62; HE 1000 with  $G_{he} > G_{est}$  in accordance with ASTM A 6/A 6M - 07  
 HE C in accordance with PN-H-93452: 2005; HE AA 100-1000 in accordance with AM standard  
 Tollerancias: EN 10034: 1993 HE 100 - 900; HE 1000 AA-M  
 ASTM A 6/A 6M - 07 HE 1000 with  $G_{he} > G_{est}$   
 Surface condition: according to EN 10163-3: 2004, class C, subclass 1

**Profili H ad ali larghe (continua)**  
 Dim.: HE A, HE B and HE M 100 - 1000 secondo il vecchio standard EU 53-62; HE 1000 con  $G_{he} > G_{est}$  secondo ASTM A 6/A 6M - 07  
 HE C secondo PN-H-93452: 2005; HE AA 100-1000 secondo lo standard AM  
 Tolleranze: EN 10034: 1993 HE 100 - 900; HE 1000 AA-M  
 ASTM A 6/A 6M - 07 HE 1000 con  $G_{he} > G_{est}$   
 Condizioni di superficie: secondo EN 10163-3: 2004, classe C, sottoclasse 1

Denominación Designation Designazione	Dimensiones Dimensions Dimensioni						A mm <sup>2</sup> x10 <sup>2</sup>	Dimensiones de construcción Dimensions for detailing Dimensioni di dettaglio					Superficie Surface Superficie	
	G kg/m	h mm	b mm	t <sub>w</sub> mm	t <sub>f</sub> mm	r mm		h <sub>1</sub> mm	d mm	∅ mm	p <sub>min</sub> mm	p <sub>max</sub> mm	A <sub>c</sub> m <sup>2</sup> /m	A <sub>c</sub> m <sup>2</sup> /t
HE 900 AA*	198	870	300	15	20	30	252,2	830	770	M 27	130	198	2,858	14,44
HE 900 A	252	890	300	16	30	30	320,5	830	770	M 27	132	198	2,896	11,51
HE 900 B	291	900	300	18,5	35	30	371,3	830	770	M 27	134	198	2,911	9,99
HE 900 M	333	910	302	21	40	30	423,6	830	770	M 27	138	198	2,934	8,824
HE 900 x 391*	391	922	307	25	46	30	497,7	830	770	M 27	144	200	2,970	7,604
HE 900 x 466*	466	938	312	30	54	30	593,7	830	770	M 27	148	204	3,012	6,464
HE 1000 AA*	222	970	300	16	21	30	282,2	928	868	M 27	132	198	3,056	13,80
HE 1000 x 249*	249	980	300	16,5	26	30	316,8	928	868	M 27	134	194	3,080	12,37
HE 1000 A	272	990	300	16,5	31	30	346,8	928	868	M 27	132	198	3,095	11,37
HE 1000 B	314	1000	300	19	36	30	400,0	928	868	M 27	134	198	3,110	9,905
HE 1000 M	349	1008	302	21	40	30	444,2	928	868	M 27	138	198	3,130	8,978
HE 1000 x 293*	393	1016	303	24,4	43,9	30	500,2	928	868	M 27	142	198	3,140	8,010
HE 1000 x 415*	415	1020	304	26	46	30	528,7	928	868	M 27	144	198	3,150	7,600
HE 1000 x 438*	438	1026	305	26,9	49	30	556,0	928	868	M 27	146	198	3,170	7,250
HE 1000 x 494*	494	1036	309	31	54	30	629,1	928	868	M 27	148	204	3,190	6,470
HE 1000 x 584*	584	1056	314	36	64	30	743,7	928	868	M 27	154	208	3,240	5,560

HE

Páginas de notaciones 205-209 / Notations pages 205-209 / Pagine di annotazioni 205-209

Denominación Designation Designazione	Propiedades del perfil / Section properties / Proprietà geometriche del profilo													Classification EN 1993-1-1: 2005						EN 10025-2: 2004	EN 10025-4: 2004	EN 10225:2001
	eje fuerte y-y strong axis y-y asse forte y-y						eje débil z-z weak axis z-z asse debole z-z							Pure bending y-y			Pure compression					
	G kg/m	I <sub>y</sub> mm <sup>4</sup> x10 <sup>6</sup>	W <sub>ely</sub> mm <sup>3</sup> x10 <sup>3</sup>	W <sub>ply</sub> ♣ mm <sup>3</sup> x10 <sup>3</sup>	i <sub>y</sub> mm x10	A <sub>e2</sub> mm <sup>2</sup> x10 <sup>2</sup>	I <sub>z</sub> mm <sup>4</sup> x10 <sup>6</sup>	W <sub>elz</sub> mm <sup>3</sup> x10 <sup>3</sup>	W <sub>plz</sub> ♣ mm <sup>3</sup> x10 <sup>3</sup>	i <sub>z</sub> mm x10	S <sub>x</sub> mm	I <sub>t</sub> mm <sup>4</sup> x10 <sup>6</sup>	I <sub>w</sub> mm <sup>6</sup> x10 <sup>9</sup>	S235	S355	S460	S235	S355	S460			
HE 900AA	198	301100	6923	7999	34,55	147,2	9041	602,8	957,7	5,99	90,15	334,9	16260	1	1	1	4	4	4	✓	✓	✓
HE 900A	252	422100	9485	10810	36,29	163,3	13550	903,2	1414	6,50	111,1	736,8	24960	1	1	1	4	4	4	✓	HI	HI
HE 900B	291	494100	10980	12580	36,48	188,8	15820	1050	1658	6,53	123,6	1137	29460	1	1	1	3	4	4	✓	HI	HI
HE 900M	333	570400	12540	14440	36,70	214,4	18450	1220	1929	6,60	136,1	1671	34750	1	1	1	2	4	4	✓	HI	HI
HE 900x 391	391	674300	14630	16990	36,81	254,3	22320	1454	2312	6,70	152,1	2597	42560	1	1	1	1	2	4	✓	HI	
HE 900x 466	466	814900	17380	20380	37,05	305,3	27560	1767	2832	6,81	173,1	4256	53400	1	1	1	1	1	2	✓	HI	
HE 1000AA	222	406500	8380	9777	37,95	172,2	9501	633,4	1016	5,80	93,15	403,4	21280	1	1	-	4	4	-	✓		
HE 1000x 249	249	481100	9818	11350	38,97	180,7	11750	784,0	1245	6,09	103,6	584,4	26620	1	1	2	4	4	4	✓	HI	HI
HE 1000A	272	553800	11190	12820	39,96	184,6	14000	933,6	1470	6,35	113,6	822,4	32070	1	1	2	4	4	4	✓	HI	HI
HE 1000B	314	644700	12890	14860	40,15	212,5	16280	1085	1716	6,38	126,1	1254	37640	1	1	1	4	4	4	✓	HI	HI
HE 1000M	349	722300	14330	16570	40,32	235,0	18460	1222	1940	6,45	136,1	1701	43020	1	1	1	3	4	4	✓	HI	HI
HE 1000x 393	393	807700	15900	18540	40,18	271,3	20500	1353	2168	6,40	147,3	2332	48080	1	1	1	2	4	4	✓	HI	
HE 1000x 415	415	853100	16728	19571	40,17	288,6	21710	1428	2298	6,41	153,1	2713	51080	1	1	1	2	3	4	✓	HI	
HE 1000x 438	438	909200	17720	20750	40,43	299,9	23360	1531	2463	6,48	160,0	3190	55290	1	1	1	1	3	4	✓	HI	
HE 1000x 494	494	1028000	19845	23413	40,42	344,5	26820	1736	2818	6,53	174,1	4433	64010	1	1	1	1	2	3	✓	HI	
HE 1000x 584	584	1246100	23600	28039	40,93	403,2	33430	2130	3475	6,70	199,1	7230	81240	1	1	1	1	1	2	✓	HI	

HI - HITAR®

♣ W<sub>pl</sub>: para el diseño plástico la sección debe pertenecer a la clase 1 o 2 según la capacidad de rotación que se precise. Véase pág. 209.  
 ♣ W<sub>pl</sub>: for plastic design, the shape must belong to class 1 or 2 according to the required rotation capacity. See page 209.  
 ♣ W<sub>pl</sub>: per il calcolo plastico, la sezione trasversale deve appartenere alla classe 1 o 2, conformemente alla capacità di rotazione richiesta. Vedere pagina 209.