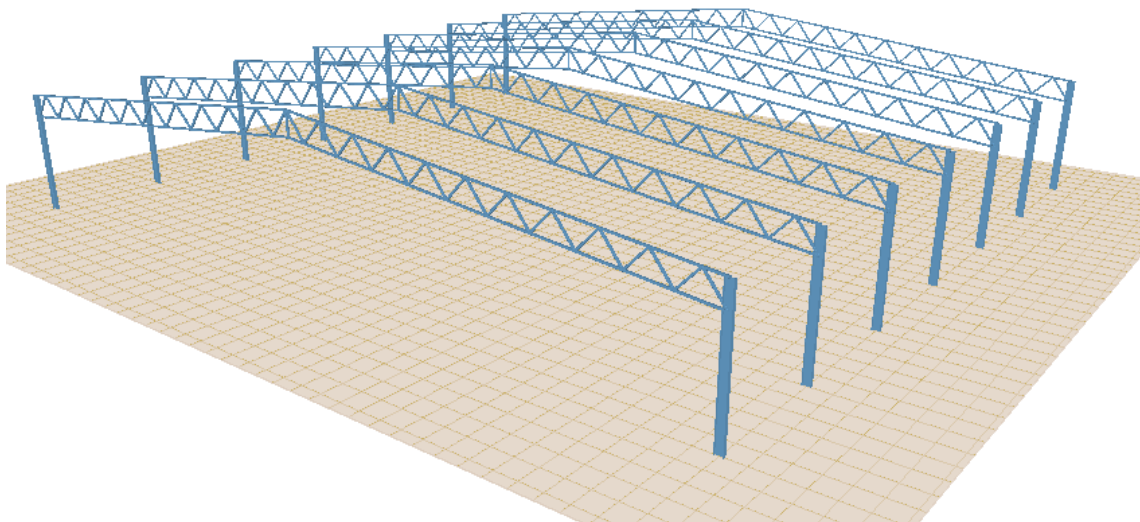




ANÁLISIS PARA OBTENCIÓN DE GUÍA DE DISEÑO EN ESTRUCTURAS METÁLICAS PARA NAVE INDUSTRIAL



AUTOR: Antonio Recio Abato

TITULACIÓN: Ingeniero Técnico Industrial Mecánico

TUTOR: Enrique José Nieto García

DEPARTAMENTO: Mecánica de los Medios Continuos

AÑO: 2011



ÍNDICE

<i>INTRODUCCIÓN.....</i>	<i>- 6 -</i>
<i>CARACTERÍSTICAS COMUNES A TODOS LOS DISEÑOS.....</i>	<i>- 8 -</i>
- En cuanto al Diseño:.....	- 9 -
- En cuanto a las Cargas:.....	- 10 -
<i>DESCRIPCIÓN DEL DISEÑO DE CADA TIPOLOGÍA A ESTUDIAR</i>	<i>- 14 -</i>
- Pórtico IPE:	- 15 -
- Pórtico viga de Celosía:	- 17 -
- Pórtico viga Void:	- 19 -
- Pórtico de Sección Variable:.....	- 20 -
<i>PÓRTICOS PARA 10 METROS DE LUZ.....</i>	<i>- 21 -</i>
PÓRTICO PERFILES IPE	- 22 -
1. Descripción general del pórtico:	- 23 -
2. Descripción de valores aportados por Cype.....	- 24 -
PÓRTICO VIGA DE CELOSÍA	- 29 -
1. Descripción general del pórtico:	- 30 -
2. Descripción de valores aportados por Cype.....	- 31 -
PÓRTICO VIGA VOID	- 39 -
1. Descripción general del pórtico:	- 40 -
2. Descripción general del pórtico:	- 41 -
PÓRTICO SECCIÓN VARIABLE	- 47 -
1. Descripción general del pórtico:	- 48 -
2. Descripción de valores aportados por Cype.....	- 49 -
RESUMEN PARA 10 METROS DE LUZ	- 55 -
<i>PÓRTICOS PARA 15 METROS DE LUZ.....</i>	<i>- 59 -</i>
PÓRTICO PERFILES IPE	- 60 -
1. Descripción general del pórtico:	- 61 -
2. Descripción de valores aportados por Cype.....	- 62 -
PÓRTICO VIGA DE CELOSÍA	- 67 -
1. Descripción general del pórtico:	- 68 -
2. Descripción de valores aportados por Cype.....	- 69 -
PÓRTICO VIGA VOID	- 77 -
1. Descripción general del pórtico:	- 78 -



2. Descripción de valores aportados por Cype.....	- 79 -
PÓRTICO SECCIÓN VARIABLE	- 84 -
1. Descripción general del pórtico:	- 85 -
2. Descripción de valores aportados por Cype.....	- 86 -
RESUMEN PARA 15 METROS DE LUZ	- 91 -
PÓRTICOS PARA 20 METROS DE LUZ.....	- 95 -
PÓRTICO PERFILES IPE	- 96 -
1. Descripción general del pórtico:	- 97 -
2. Descripción de valores aportados por Cype.....	- 98 -
PÓRTICO VIGA DE CELOSÍA	- 104 -
1. Descripción general del pórtico:	- 105 -
2. Descripción de valores aportados por Cype.....	- 106 -
PÓRTICO VIGA VOID	- 114 -
1. Descripción general del pórtico:	- 115 -
2. Descripción de valores aportados por Cype.....	- 116 -
PÓRTICO SECCIÓN VARIABLE	- 121 -
1. Descripción general del pórtico:	- 122 -
2. Descripción de valores aportados por Cype.....	- 123 -
RESUMEN PARA 20 METROS DE LUZ	- 128 -
PÓRTICOS PARA 25 METROS DE LUZ.....	- 132 -
PÓRTICO PERFILES IPE	- 133 -
1. Descripción general del pórtico:	- 134 -
2. Descripción de valores aportados por Cype.....	- 135 -
PÓRTICO VIGA DE CELOSÍA	- 140 -
1. Descripción general del pórtico:	- 141 -
2. Descripción de valores aportados por Cype.....	- 142 -
PÓRTICO VIGA VOID	- 150 -
1. Descripción general del pórtico:	- 151 -
2. Descripción de valores aportados por Cype.....	- 152 -
3. Cálculo de rigidizadores	- 157 -
PÓRTICO DE SECCIÓN VARIABLE	- 159 -
1. Descripción general del pórtico:	- 160 -
2. Descripción de valores aportados por Cype.....	- 161 -
3. Cálculo de rigidizadores	- 166 -
RESUMEN PARA 25 METROS DE LUZ	- 169 -
PÓRTICOS PARA 30 METROS DE LUZ.....	- 173 -



PÓRTICO PERFILES IPE	- 174 -
1. Descripción general del pórtico:	- 175 -
2. Descripción de valores aportados por Cype.....	- 176 -
PÓRTICO VIGA DE CELOSÍA	- 181 -
1. Descripción general del pórtico:	- 182 -
2. Descripción de valores aportados por Cype.....	- 183 -
PÓRTICO VIGA VOID	- 192 -
1. Descripción general del pórtico:	- 193 -
2. Descripción de valores aportados por Cype.....	- 194 -
3. Cálculo de rigidizadores	- 199 -
PÓRTICO DE SECCIÓN VARIABLE	- 201 -
1. Descripción general del pórtico:	- 202 -
2. Descripción de valores aportados por Cype.....	- 203 -
3. Cálculo de rigidizadores	- 208 -
RESUMEN PARA 30 METROS DE LUZ	- 212 -
PÓRTICOS PARA 35 METROS DE LUZ.....	- 216 -
PÓRTICO PERFILES IPE	- 217 -
1. Descripción general del pórtico:	- 218 -
2. Descripción de valores aportados por Cype.....	- 219 -
PÓRTICO VIGA DE CELOSÍA	- 224 -
1. Descripción general del pórtico:	- 225 -
2. Descripción de valores aportados por Cype.....	- 226 -
PÓRTICO VIGA VOID	- 235 -
1. Descripción general del pórtico:	- 236 -
2. Descripción de valores aportados por Cype.....	- 237 -
3. Cálculo de rigidizadores	- 242 -
PÓRTICO DE SECCIÓN VARIABLE	- 244 -
1. Descripción general del pórtico:	- 245 -
2. Descripción de valores aportados por Cype.....	- 246 -
3. Cálculo de rigidizadores	- 252 -
RESUMEN PARA 35 METROS DE LUZ	- 255 -
PÓRTICOS PARA 40 METROS DE LUZ.....	- 259 -
PÓRTICO PERFILES IPE	- 260 -
1. Descripción general del pórtico:	- 261 -
2. Descripción de valores aportados por Cype.....	- 262 -
PÓRTICO VIGA DE CELOSÍA	- 267 -



1. Descripción general del pórtico:	- 268 -
2. Descripción de valores aportados por Cype.....	- 269 -
PÓRTICO VIGA VOID	- 279 -
1. Descripción general del pórtico:	- 280 -
2. Descripción de valores aportados por Cype.....	- 281 -
3. Cálculo de rigidizadores	- 286 -
PÓRTICO DE SECCIÓN VARIABLE	- 288 -
1. Descripción general del pórtico:	- 289 -
2. Descripción de valores aportados por Cype.....	- 290 -
3. Cálculo de rigidizadores	- 296 -
RESUMEN PARA 40 METROS DE LUZ	- 299 -
<i>PÓRTICOS PARA 45 METROS DE LUZ.....</i>	<i>- 303 -</i>
PÓRTICO PERFILES IPE	- 304 -
1. Descripción general del pórtico:	- 305 -
2. Descripción de valores aportados por Cype.....	- 306 -
PÓRTICO VIGA DE CELOSÍA	- 311 -
1. Descripción general del pórtico:	- 312 -
2. Descripción de valores aportados por Cype.....	- 313 -
PÓRTICO VIGA VOID	- 324 -
1. Descripción general del pórtico:	- 325 -
2. Descripción de valores aportados por Cype.....	- 326 -
3. Cálculo de rigidizadores	- 331 -
PÓRTICO DE SECCIÓN VARIABLE	- 332 -
1. Descripción general del pórtico:	- 333 -
2. Descripción de valores aportados por Cype.....	- 334 -
3. Cálculo de rigidizadores	- 340 -
RESUMEN PARA 45 METROS DE LUZ	- 343 -
<i>PÓRTICOS PARA 50 METROS DE LUZ.....</i>	<i>- 347 -</i>
PÓRTICO PERFILES IPE	- 348 -
1. Descripción general del pórtico:	- 349 -
2. Descripción de valores aportados por Cype.....	- 350 -
PÓRTICO VIGA DE CELOSÍA	- 355 -
1. Descripción general del pórtico:	- 356 -
2. Descripción de valores aportados por Cype.....	- 357 -
PÓRTICO VIGA VOID	- 368 -
1. Descripción general del pórtico:	- 369 -



2. Descripción de valores aportados por Cype.....	- 370 -
3. Cálculo de rigidizadores	- 374 -
PÓRTICO DE SECCIÓN VARIABLE	- 376 -
1. Descripción general del pórtico:	- 377 -
2. Descripción de valores aportados por Cype.....	- 378 -
3. Cálculo de rigidizadores	- 384 -
RESUMEN PARA 50 METROS DE LUZ	- 387 -
PÓRTICOS PARA 55 METROS DE LUZ.....	- 391 -
PÓRTICO PERFILES IPE	- 392 -
1. Descripción general del pórtico:	- 393 -
2. Descripción de valores aportados por Cype.....	- 394 -
PÓRTICO VIGA VOID	- 399 -
1. Descripción general del pórtico:	- 400 -
2. Descripción de valores aportados por Cype.....	- 401 -
3. Cálculo de rigidizadores	- 405 -
PÓRTICO DE SECCIÓN VARIABLE	- 407 -
1. Descripción general del pórtico:	- 408 -
2. Descripción de valores aportados por Cype.....	- 409 -
3. Cálculo de rigidizadores	- 415 -
RESUMEN PARA 55 METROS DE LUZ	- 417 -
CONCLUSIONES.....	- 421 -



INTRODUCCIÓN



INTRODUCCIÓN

El trabajo que he decido realizar para la culminación de mis estudios, como su propio nombre indica es un análisis para la obtención de guía de diseño en estructuras metálicas para nave industrial.

La idea que conlleva la realización de este estudio es que cualquier persona que tenga que llevar a cabo la realización de una nave industrial tenga una orientación a la hora de tomar la decisión de elegir un determinado diseño para la estructura principal de la misma. A partir de esta guía esa elección se hará en función de la luz que tenga la nave en cuestión.

El estudio se ha realizado con ayuda de un programa informático, como es CYPE, en el cuál he ido calculando pórticos aumentando progresivamente la luz de los mismos y cambiando el diseño.

Dicho estudio se ha realizado para pórtico IPE, pórtico viga VOID, pórtico de Sección Variable y pórtico con viga de Celosía.



CARACTERÍSTICAS COMUNES A TODOS LOS DISEÑOS



CARACTERÍSTICAS COMUNES PARA TODOS LOS DISEÑOS

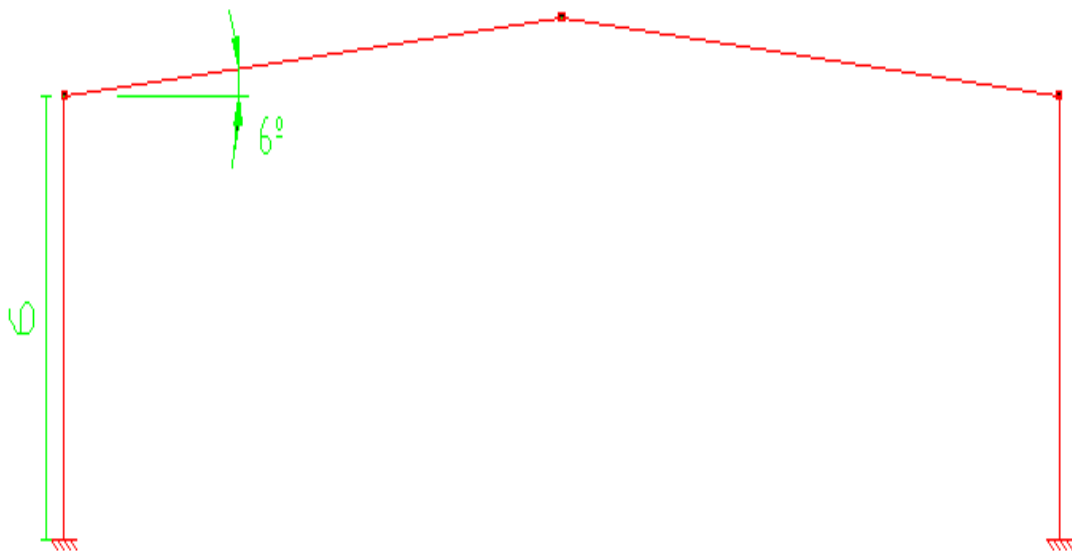
Previo a la realización del trabajo se tomaron una serie de decisiones que valdrían para todos los casos después estudiados.

Dichas decisiones tenían mucho que ver con el diseño de la estructura y las cargas que iban a soportar.

- *En cuanto al Diseño:*

-La altura del pilar del pórtico es de 6 metros.

-El ángulo entre la horizontal y la viga de dicho pórtico es de 6° .



Estas medidas se mantienen en todos los tipos de pórticos y en todas las luces.



- **En cuanto a las Cargas:**

Las cargas que nuestros pórticos van a recibir son cargas ligeras y la cubierta se ha considerado como accesible solo para mantenimiento. Las cargas que se han introducido a modo de descripción son: la cubierta ligera, las correas, tensores, etc. También tenemos que considerar el propio peso de la estructura, la sobrecarga de nieve, la de viento y la sobrecarga de uso.

Hipótesis de carga para el pórtico (suponemos 10 metros luz para hacer cálculo)

- **Cargas Permanentes:**

-Peso propio (lo genera el programa)

-Sobrecarga de uso: 20 kg/m²

$$\begin{aligned}10 \text{ m(luz)} \times 6 \text{ m(separación entre pórticos)} &= 60 \text{ m}^2 \\60 \text{ m}^2 \times 20 \text{ kg/m}^2 &= 1200 \text{ kg} \\1200 \text{ kg} / 10 \text{ m(luz)} &= 120 \text{ kg/ml} \\120 \text{ kg} &= 1200 \text{ N} = \mathbf{1,2 \text{ KN/m}}\end{aligned}$$

-Sobrecarga de cubierta, correas, tensores, etc...: 20 kg/m²

$$\begin{aligned}10 \text{ m(luz)} \times 6 \text{ m(separación entre pórticos)} &= 60 \text{ m}^2 \\60 \text{ m}^2 \times 20 \text{ kg/m}^2 &= 1200 \text{ kg} \\1200 \text{ kg} / 10 \text{ m(luz)} &= 120 \text{ kg/ml} \\120 \text{ kg} &= 1200 \text{ N} = \mathbf{1,2 \text{ KN/m}}\end{aligned}$$

-Sobrecarga de nieve: 20 kg/m²

$$\begin{aligned}10 \text{ m(luz)} \times 6 \text{ m(separación entre pórticos)} &= 60 \text{ m}^2 \\60 \text{ m}^2 \times 20 \text{ kg/m}^2 &= 1200 \text{ kg} \\1200 \text{ kg} / 10 \text{ m(luz)} &= 120 \text{ kg/ml} \\120 \text{ kg} &= 1200 \text{ N} = \mathbf{1,2 \text{ KN/m}}\end{aligned}$$

TOTAL CARGA PERMANENTE= 3,6 KN/m



- **Viento:**

El viento se ha calculado solo la presión exterior sobre el cerramiento lateral cuyos cálculos aparecen a continuación:

$$h/d = 6/42 = 0,14$$

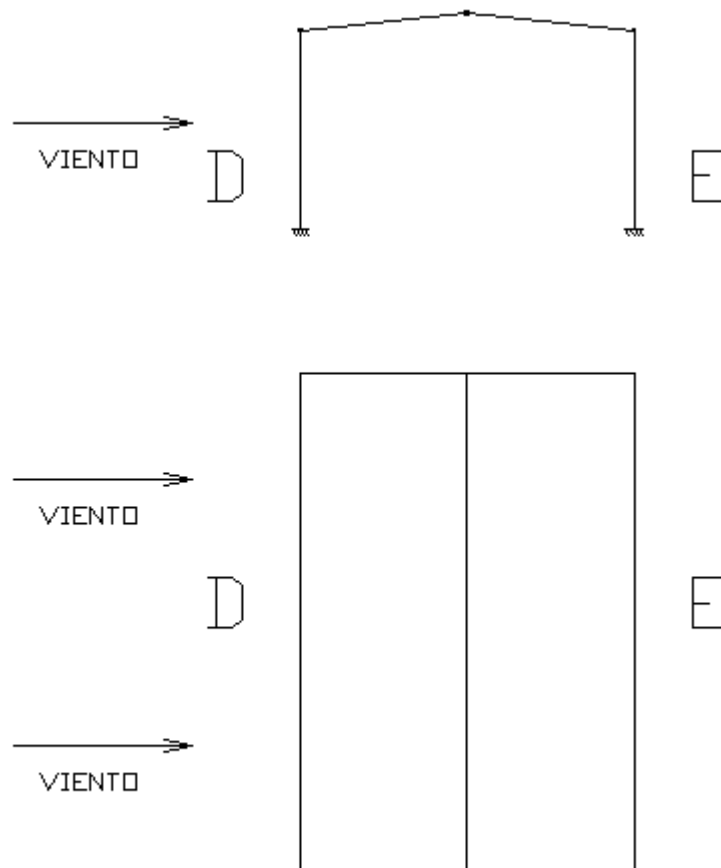
$$0,14 < 0,25$$

$$q_e = q_b \times C_e \times C_p$$

$$C_e = F (F+7K) = 0,62(0,62+7 \times 0,22) = 1,34$$

$$F = K \ln(z/L) = 0,22 \times \ln(5/0,3) = 0,62$$

Zonas de Viento:





Para zona D

$$C_p = 0,7 \quad q_e = 0,42 \times 1,34 \times 0,7 = 0,394 \text{ KN/m}^2$$

$$6 \text{ m(altura pilar)} \times 6 \text{ m(separación entre pórticos)} = 36 \text{ m}^2$$

$$36 \text{ m}^2 \times 0,39 \text{ KN/m}^2 = 14,04 \text{ KN}$$

$$14,04 \text{ KN} / 6 \text{ m(pilar)} = \mathbf{2,34 \text{ KN/m}}$$

Para zona E

$$C_p = -0,3 \quad q_e = 0,42 \times 1,34 \times (-0,3) = -0,17 \text{ KN/m}^2$$

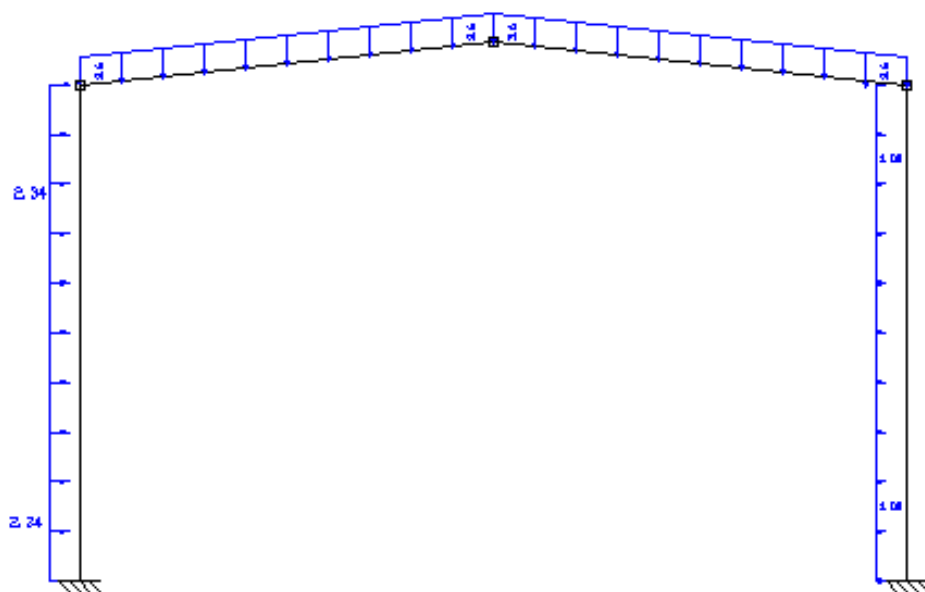
$$6 \text{ m(altura pilar)} \times 6 \text{ m(separación entre pórticos)} = 36 \text{ m}^2$$

$$36 \text{ m}^2 \times 0,17 \text{ KN/m}^2 = 6,12 \text{ KN}$$

$$6,12 \text{ KN} / 6 \text{ m(pilar)} = \mathbf{1,02 \text{ KN/m}}$$

Esta carga de viento también se ha introducido en Cype como carga permanente para que éste no calcule iteraciones que no servirían para el desarrollo de este estudio.

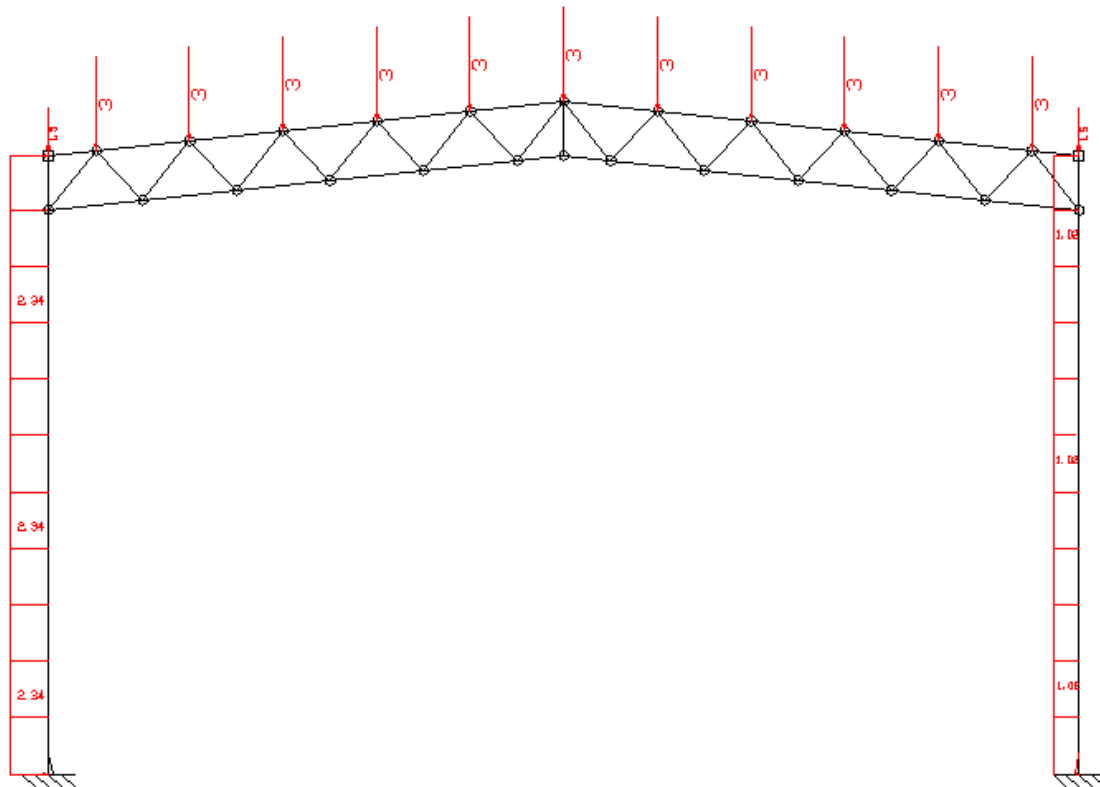
El estado de cargas calculado es válido para cualquier luz y cualquier tipo de diseño de pórtico menos la Celosía, que se explicará a continuación. De manera que las cargas quedan distribuidas de la siguiente manera:





Esquema de distribución de cargas

En los pórticos que son de Celosía la carga superior no puede ser uniforme debido a que dicha estructura no aguantan carga en un lugar que no sea un nudo, por tanto, se distribuye la carga total anteriormente calculada entre el número de nudos que tenga el montante superior de dicha celosía, quedando así la carga puntual.



Esquema de distribución de cargas en viga Celosía

Los nudos del suelo se han considerado empotrado en el suelo en todos los casos, para que sea más real y no eliminar el momento que se produce en este punto. Cuando calculamos una estructura que va a ejecutarse se considera articulado para conseguir así disminuir el tamaño de la zapata, la cual no es objeto de este estudio.



DESCRIPCIÓN DEL DISEÑO DE CADA TIPOLOGÍA A ESTUDIAR



DESCRIPCIÓN DEL DISEÑO DE CADA TIPOLOGÍA A ESTUDIAR

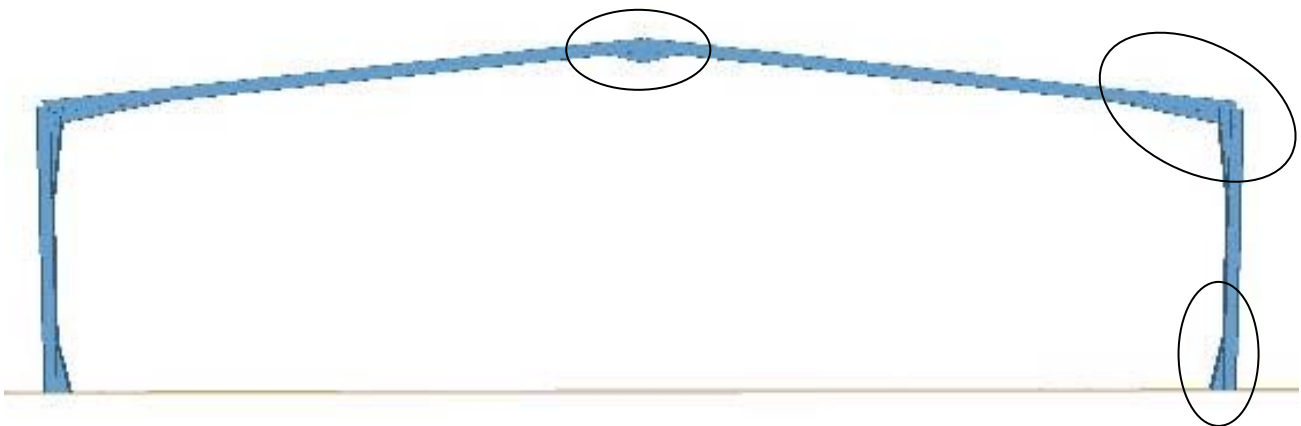
A continuación vamos a describir el diseño que se ha utilizado en cada uno de los cuatro tipos de pórticos, también hay que comentar que algunas variables han tenido que ser modificadas para adaptarse al diseño que se estudiaba en ese momento, las cuales describiremos a continuación.

- **Pórtico IPE:**

Vamos a comenzar describiendo el pórtico realizado en su totalidad con perfiles **IPE**.

El perfil IPE es un perfil laminado de sección constante el cual se utiliza muchísimo en la actualidad dejando casi en desuso el tradicional IPN, debido a que es mucho más ligero.

El diseño utilizado se puede ver a continuación en la imagen:



El pórtico consiste en dos pilares y dos vigas unidas en el centro del mismo. Todos son perfiles IPE variando la sección en función de la luz que estemos estudiando en ese momento. Este diseño se conjunta con refuerzos en todos sus nudos, que se realizan con perfiles de la misma sección que los utilizados en el pórtico. Estos refuerzos llamados también cartelas se consiguen cortando un perfil IPE a la mitad de forma diagonal y colocando la parte con mayor canto en la zona donde el perfil tiene que aguantar más tensión. Como podemos apreciar en la imagen superior de la misma forma que se refuerzan los pilares, también se refuerza las vigas.

En este pórtico la única variación de diseño que se ha producido a lo largo de todas las luces, ha sido la longitud de las cartelas utilizadas, ya que estas se han calculado dependiendo de las condiciones de cada pórtico.

En este diseño la carga se ha distribuido de manera uniforme, conforme se ha comentado en el apartado de cargas descrito anteriormente.

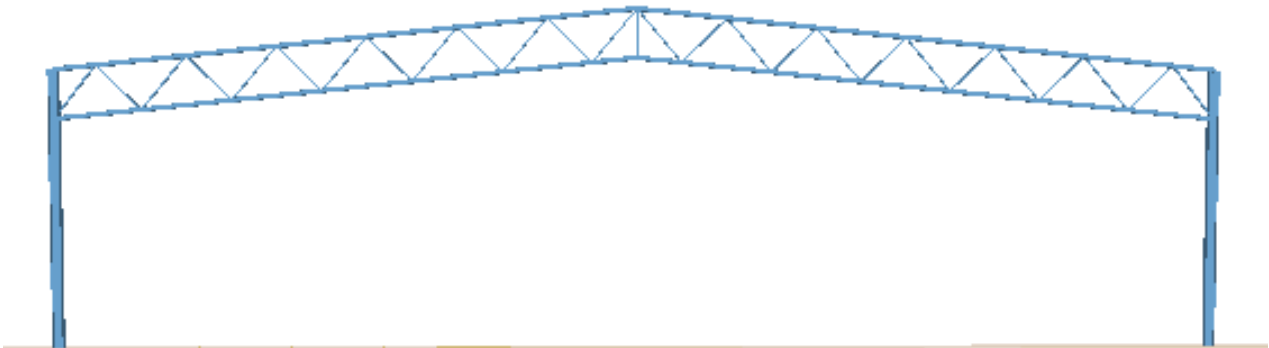




- **Pórtico viga de Celosía:**

En el diseño de la celosía intervienen dos tipos de perfiles. Los pilares son al igual que en el pórtico anterior perfiles IPE y la viga utilizada de dintel es una celosía. Esta celosía está construida con perfiles cuadrados huecos de diferentes secciones, estas secciones van a depender de la luz que se esté calculando en ese momento y del lugar donde esté colocada la barra dentro de la celosía, por el hecho de que no es lo mismo la tensión que aguanta una diagonal que un montante.

A continuación vemos el diseño de manera gráfica:



Como dijimos al comienzo del estudio, el ángulo entre la horizontal y el montante inferior o superior es de 6° , este dato se mantiene en todas las luces. La celosía estudiada es de diagonales tipo Warren de nudos articulados.

En este pórtico también se han realizado algunas variaciones de diseño para adaptarse a las condiciones del momento, una de estas modificaciones ha sido la variación en la altura de la celosía; es decir, la altura entre el montante superior y el inferior. Como “regla” general a mayor luz, mayor distancia entre montantes, aunque superados los 30 metros de luz esta distancia se mantiene constante.

El ángulo entre el montante inferior y las diagonales no es constante en todas las luces. Se ha considerado que este ángulo sea siempre ligeramente mayor de 45° , pero depende como hemos dicho anteriormente de la luz que estemos calculando.

Como podemos apreciar en la imagen anterior, en este diseño de pórtico no se han utilizado cartelas en los nudos del pilar. Esto es debido a que como el peso de la celosía es bastante ligero no es necesario colocar este tipo de refuerzos.



En este pórtico hay dos tipos de nudos. En primer lugar los pilares se han considerado empotrados en el suelo por las razones que ya hemos comentado anteriormente y todos los nudos de la celosía son articulados.

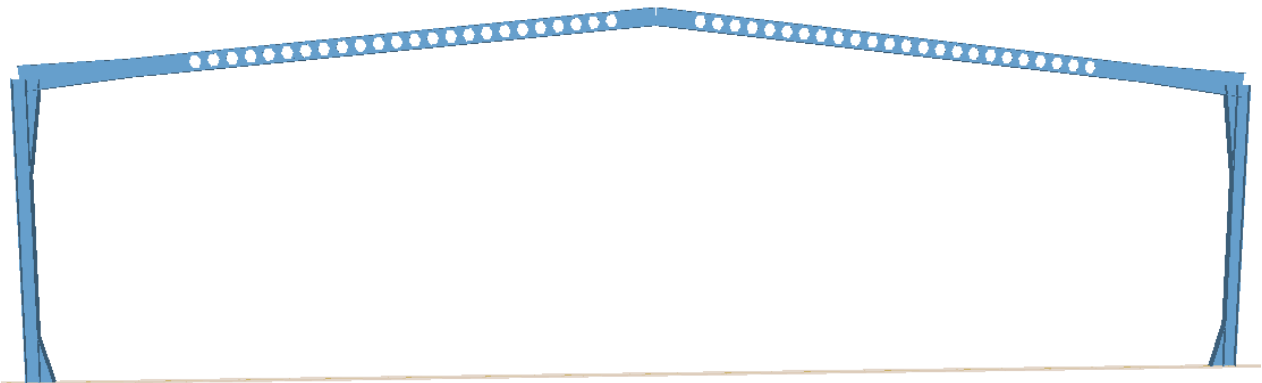
En este caso, y como caso particular, la carga permanente y uniforme que hemos calculado anteriormente se divide entre el número de nudos del montante superior de la celosía, quedando la carga de manera puntual, tal y como podemos ver en el pórtico de viga de celosía que hemos comentado en el apartado de las cargas.

Una de las razones por la que se opta a elegir este diseño es por lo ligeros que son.



- **Pórtico viga Void:**

Este diseño de pórtico está formado por pilares IPE con refuerzos en los nudos, tanto superiores como inferiores. La viga consta de dos tramos: en primer lugar el tramo que vamos a comentar es de sección variable, de manera que el canto que se encuentra junto al pilar es superior al que está junto al segundo tramo de la viga. El segundo tramo lo forma una viga Void fabricada a partir de un perfil IPE y a la cual se le han cegado algunos huecos al inicio y al final de la misma. El corte del perfil IPE para formar el tipo Void se ha realizado de manera que los huecos que quedan en el alma son hexagonales.



El hecho de colocar el primer tramo de la viga de sección variable es debido a que el IPE tipo Void utilizado como viga no es capaz de aguantar la tensión en esta zona ni aún rellenado los huecos hexagonales de dicho perfil, tendríamos que aumentar el perfil y ya no sería una solución viable bajo el punto de vista de la optimización.

En este diseño todos los nudos son rígidos y las vinculaciones exteriores son empotramientos.

Las cargas calculadas anteriormente se distribuirán en este pórtico de manera uniforme a lo largo de los perfiles al igual que en el pórtico formado íntegramente por perfiles IPE.

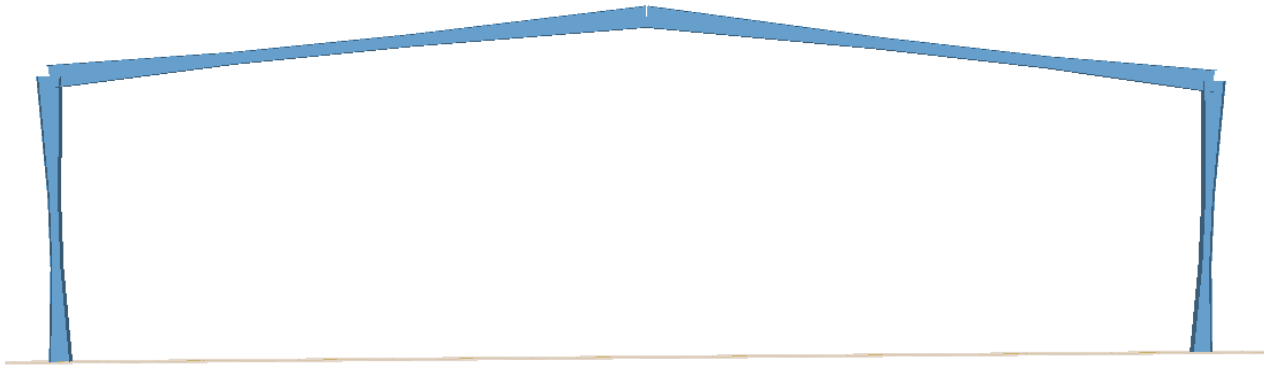
El ángulo entre la horizontal y la viga utilizada en este caso sigue siendo 6°, al igual que en las demás tipologías estudiadas.

La peculiaridad que presenta este diseño es que nos aporta la misma resistencia que el pórtico formado íntegramente por perfiles IPE y sin embargo, el peso total del mismo disminuye de manera considerable.



- **Pórtico de Sección Variable:**

Este pórtico está formado en su totalidad por perfiles de sección variable distribuidos según la imagen que vemos a continuación:



Para el cálculo de este tipo de diseño me he visto obligado a dividir tanto el pilar como la viga en diferentes tramos, habiendo tantos tramos como cambios de sección en el perfil. El número de tramos en los que se ha dividido depende solo y exclusivamente de la luz que se esté estudiando en ese momento.

En este diseño todos los nudos son rígidos y las vinculaciones exteriores son empotramientos.

Las cargas calculadas en el apartado de cargas se distribuirán en este pórtico de manera uniforme a lo largo de los perfiles, al igual que en el pórtico formado íntegramente por perfiles IPE.

El ángulo entre la horizontal y la viga utilizada en este caso sigue siendo 6° , al igual que en las demás tipologías estudiadas.

Con el uso de este diseño conseguimos una mejor optimización de los perfiles, ya que variando el alma de los mismos nos acoplamos mejor a la variación de tensiones que se produce a lo largo los perfiles. También es de comentar que debido a tal ajuste, los desplazamientos que se producen en la cumbrera del pórtico son superiores al resto de diseños estudiados como veremos más adelante.

A continuación comenzaremos a comentar el estudio realizado para cada pórtico



PÓRTICOS PARA 10 METROS DE LUZ

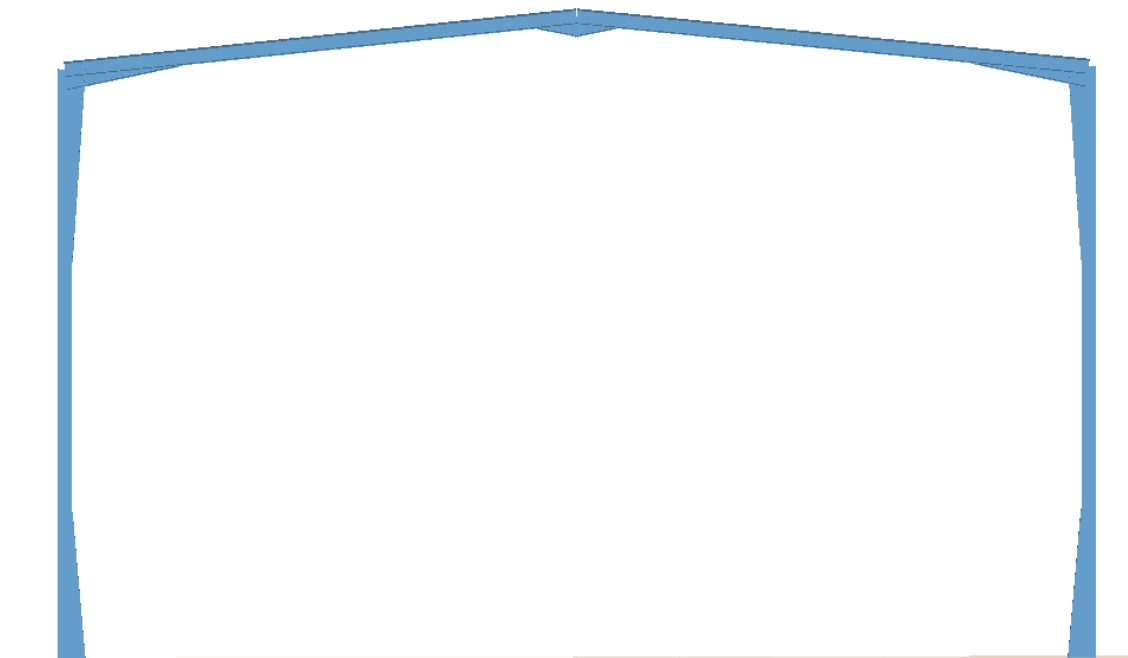


PÓRTICO PERFILES IPE



PÓRTICO IPE 10 METROS DE LUZ

1. Descripción general del pórtico:

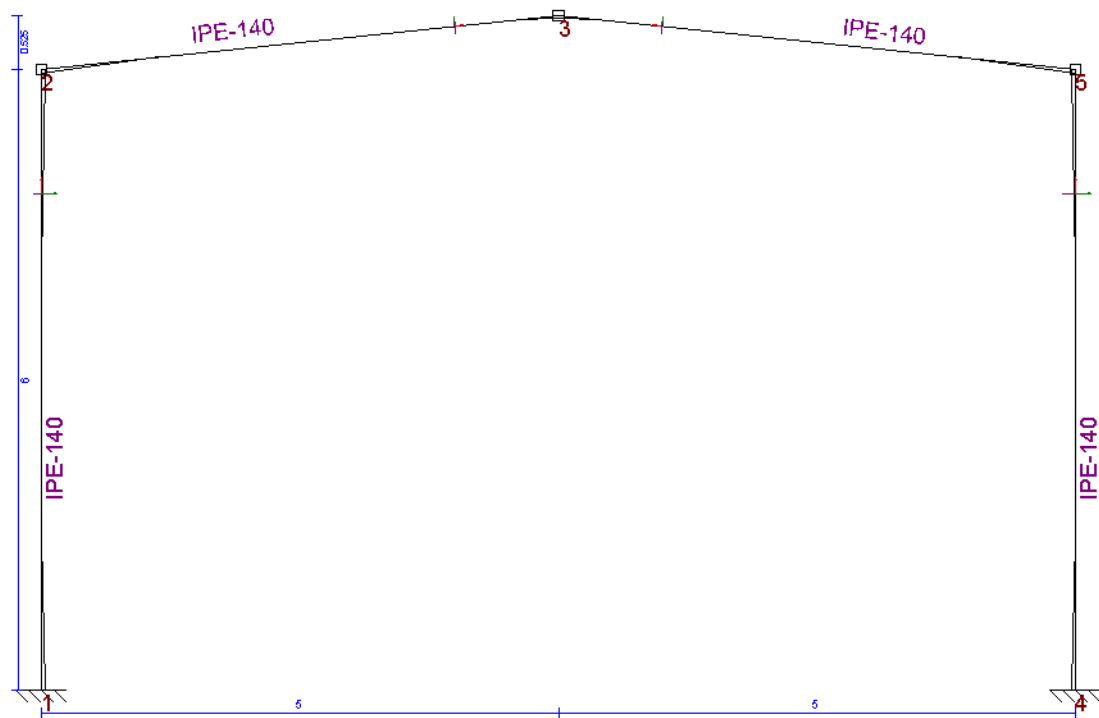


Interpretación real del pórtico

Este pórtico tiene 10 metros de luz y se ha realizado con perfil IPE de 140 milímetros de alma, para poder bajar el perfil lo máximo posible, ha sido necesaria la colocación de refuerzos “cartelas” en todos sus nudos. Estas cartelas se construyen con el mismo perfil utilizado en el pórtico pero cortado a la mitad en ángulo y colocándolas como aparecen en la imagen superior. La longitud de las cartelas superiores y inferiores son de 1,95 metros y 1,40 metros respectivamente las cuales son relativamente grandes, pero que ha sido necesario al ser el pilar de una sección tan pequeña.

Las vigas que conforman el dintel del pórtico también son IPE de 140 milímetros de alma. Estas vigas también han sido reforzadas en sus nudos con cartelas. La cartela de la cumbrera tiene una longitud de 0,40 metros y la que se encuentra junto al pilar tiene 1,15 metros. Al ser una luz tan pequeña y tener un perfil con tan poca sección el aprovechamiento del mismo es bastante irregular, el cual se describirá más adelante.

En la imagen que podemos apreciar más abajo aparece a modo de esquema los perfiles utilizados en el pórtico, las cotas y la numeración de los nudos del mismo.



Esquema de nudos, cotas y tipo de perfil.

2. Descripción de valores aportados por Cype

A continuación aparecen unos listados con todos los datos de mediciones, tensiones, peso, reacciones, etc... que nos ha aportado Cype, junto con algunas aclaraciones para su mejor comprensión.

2.1 - Nudos

Nudos	Coordenadas (m)			Vínculos
	X	Y	Z	
1	0.000	0.000	0.000	Empotrado
2	0.000	0.000	6.000	Empotrado
3	0.000	5.000	6.525	Empotrado
4	0.000	10.000	0.000	Empotrado
5	0.000	10.000	6.000	Empotrado

2.2 - Barras: Características Mecánicas

Descripción	Inerc.Tor. cm4	Inerc.y cm4	Inerc.z cm4	Sección cm2
Acero, IPE-140, Simple con cartelas (IPE)	2.630	541.000	44.900	16.400



2.3.- Barras: Materiales Utilizados

Material	Mód.elást. (GPa)	Mód.el.trans. (GPa)	Lím.elás.\Fck (MPa)	Co.dilat. (m/m°C)	Peso espec. (KN/m3)
Acero (S275)	206.01	79.23	275.00	1.2e-005	77.01

2.4.- Barras: Descripción

Barras	Material	Perfil	Peso (Kp)	Volumen (m3)	Longitud (m)
1/2	Acero (S275)	IPE-140 (IPE) + carts. sup. 1.500 m y 1.950 m	98.91	0.013	6.00
2/3	Acero (S275)	IPE-140 (IPE) + carts. inf. 1.150 m y 0.400 m	74.47	0.009	5.03
5/3	Acero (S275)	IPE-140 (IPE) + carts. inf. 1.150 m y 0.400 m	74.47	0.009	5.03
4/5	Acero (S275)	IPE-140 (IPE) + carts. inf. 1.500 m y 1.950 m	98.91	0.013	6.00

En esta tabla podemos apreciar las longitudes de las cartelas junto con la longitud de los perfiles utilizados y el peso de los mismos.

2.5.- Barras: Resumen Medición (Acero)

Descripción			Peso (Kp)			Longitud (m)		
			Perfil	Serie	Acero	Perfil	Serie	Acero
Acero (S275)	IPE	IPE-140, Simple con c...	346.76			22.06		
				346.76			22.06	
					346.76			22.06
					346.76			22.06

El peso total de la estructura como podemos apreciar en la tabla es de 346,76 kg. Este peso es el más alto de entre todos los diseños estudiados como veremos más adelante, pero es de los más utilizados en la realidad.

2.6.- Cargas (Barras)

Barras	Hipót.	Tipo	Cargas				Dirección		
			P1	P2	L1 (m)	L2 (m)	X	Y	Z
2/3	1 (PP 1)	Trapez.	0.211 KN/m	0.188 KN/m	0.000	0.575	0.000	0.000	-1.000
2/3	1 (PP 1)	Trapez.	0.188 KN/m	0.165 KN/m	0.575	1.150	0.000	0.000	-1.000
2/3	1 (PP 1)	Faja	0.126 KN/m	-	1.150	4.627	0.000	0.000	-1.000
2/3	1 (PP 1)	Trapez.	0.165 KN/m	0.188 KN/m	4.627	4.827	0.000	0.000	-1.000
2/3	1 (PP 1)	Trapez.	0.188 KN/m	0.211 KN/m	4.827	5.027	0.000	0.000	-1.000
2/3	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
5/3	1 (PP 1)	Trapez.	0.211 KN/m	0.188 KN/m	0.000	0.575	0.000	0.000	-1.000



5/3	1 (PP 1)	Trapez.	0.188 KN/m	0.165 KN/m	0.575	1.150	0.000	0.000	-1.000
5/3	1 (PP 1)	Faja	0.126 KN/m	-	1.150	4.627	0.000	0.000	-1.000
5/3	1 (PP 1)	Trapez.	0.165 KN/m	0.188 KN/m	4.627	4.827	0.000	0.000	-1.000
5/3	1 (PP 1)	Trapez.	0.188 KN/m	0.211 KN/m	4.827	5.027	0.000	0.000	-1.000
5/3	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Trapez.	0.211 KN/m	0.188 KN/m	0.000	0.750	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Trapez.	0.188 KN/m	0.165 KN/m	0.750	1.500	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Faja	0.126 KN/m	-	1.500	4.050	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Trapez.	0.165 KN/m	0.188 KN/m	4.050	5.025	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Trapez.	0.188 KN/m	0.211 KN/m	5.025	6.000	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Uniforme	2.340 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
4/5	1 (PP 1)	Trapez.	0.211 KN/m	0.188 KN/m	0.000	0.750	0.000	0.000	-1.000
4/5	1 (PP 1)	Trapez.	0.188 KN/m	0.165 KN/m	0.750	1.500	0.000	0.000	-1.000
4/5	1 (PP 1)	Faja	0.126 KN/m	-	1.500	4.050	0.000	0.000	-1.000
4/5	1 (PP 1)	Trapez.	0.165 KN/m	0.188 KN/m	4.050	5.025	0.000	0.000	-1.000
4/5	1 (PP 1)	Trapez.	0.188 KN/m	0.211 KN/m	5.025	6.000	0.000	0.000	-1.000
4/5	1 (PP 1)	Uniforme	1.020 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000

2.7.- Desplazamientos

Nudos	Descripción	DESPLAZAMIENTOS (EJES GENERALES)					
		DX (m)	DY (m)	DZ (m)	GX (rad)	GY (rad)	GZ (rad)
1	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0493	0.0004	-0.0202	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0493	0.0004	-0.0202	0.0000	0.0000
3	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0572	0.0794	0.0051	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0572	-0.0794	0.0051	0.0000	0.0000
4	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
5	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0656	-0.0001	0.0050	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0656	-0.0001	0.0050	0.0000	0.0000

El desplazamiento que se produce en la cumbrera como podemos ver en la tabla es de 7,94 cm. Este desplazamiento se debe a la flexión que se produce en las vigas.

2.8.- Reacciones

Nudos	Descripción	REACCIONES (EJES GENERALES)					
		RX (KN)	RY (KN)	RZ (KN)	MX (KN-m)	MY (KN-m)	MZ (KN-m)
1	Envolvente (Cim.equil.)	0.0000	-7.4411	18.2971	8.5510	0.0000	0.0000
		0.0000	-4.9607	27.4457	12.8265	0.0000	0.0000
1	Envolvente (Cim.tens.terr.)	0.0000	-4.9607	18.2971	8.5510	0.0000	0.0000
		0.0000	-4.9607	18.2971	8.5510	0.0000	0.0000
4	Envolvente (Cim.equil.)	0.0000	-22.7989	21.3025	36.9022	0.0000	0.0000
		0.0000	-15.1993	31.9537	55.3532	0.0000	0.0000



4	Envolvente (Cim.tens.terr.)	0.0000	-15.1993	21.3025	36.9022	0.0000	0.0000
		0.0000	-15.1993	21.3025	36.9022	0.0000	0.0000

2.9.- Tensiones

Barras	TENSION MÁXIMA								
	TENS. ()	APROV. (%)	Pos. (m)	N (KN)	Vy (KN)	Vz (KN)	Mt (KN·m)	My (KN·m)	Mz (KN·m)
2/3	0.9046	90.46	4.280	-12.3745	0.0000	-0.4766	0.0000	19.9927	0.0000
5/3	0.9792	97.92	1.150	-15.2460	0.0000	-19.5693	0.0000	-21.6403	0.0000
1/2	0.4994	49.94	6.000	-23.6983	0.0000	-11.6519	0.0000	26.6457	0.0000
4/5	0.9722	97.22	4.050	-27.9430	0.0000	14.9422	0.0000	-21.4854	0.0000

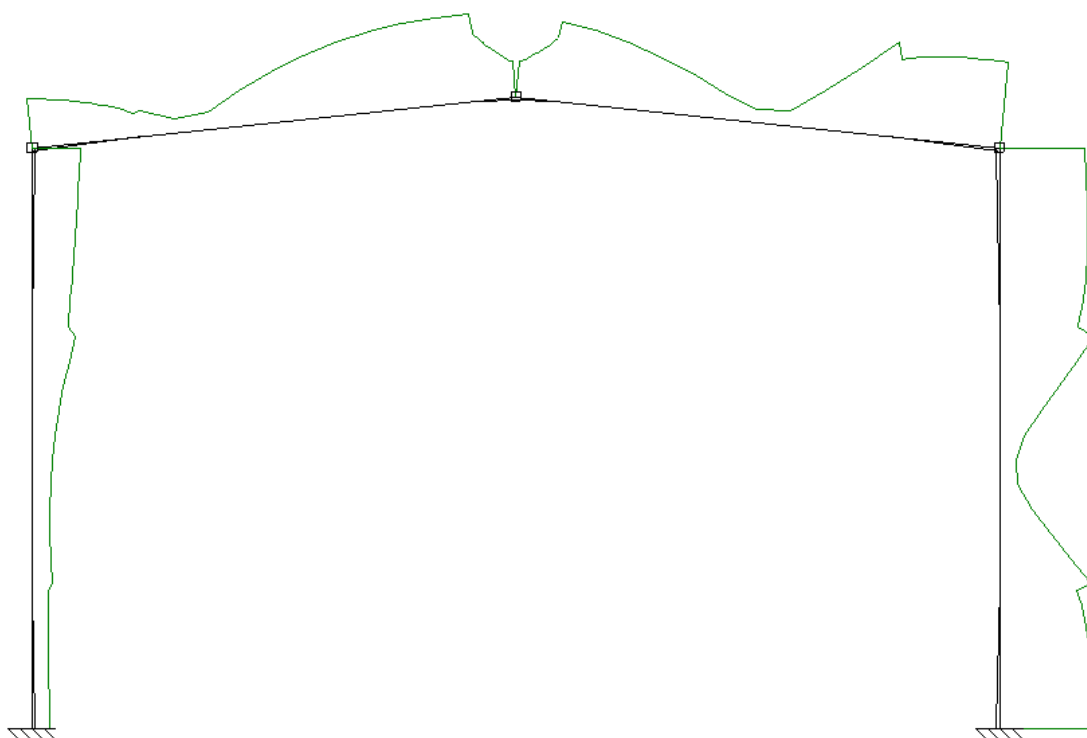


Diagrama de tensiones del pórtico.

El pórtico que nos ocupa consta de cuatro barras, pero realmente a efectos de estudio solo vamos a describir la viga de la derecha y el pilar derecho ya que, según hemos aplicado la hipótesis de carga, son los que están soportando más tensión.

Como podemos apreciar en la tabla el grado de aprovechamiento del pilar y viga derecha es bastante alto 97,22% y 97,92% respectivamente, lo cual nos indica que el diseño utilizado es bastante bueno.

Si nos fijamos ahora en el diagrama de tensiones vemos como este alto aprovechamiento de los perfiles se produce en las cercanías de los nudos,



habiendo una zona tanto en el pilar como en la viga en la que este aprovechamiento disminuye considerablemente, pero al ser un perfil constante esta zona no se puede aprovechar más. Utilizando otros diseños como sección variable veremos que esta diferencia que se produce en el mismo perfil es menos acentuada.

A continuación vamos a describir lo que le ocurre al pilar y viga derecho en cuanto aprovechamiento del perfil:

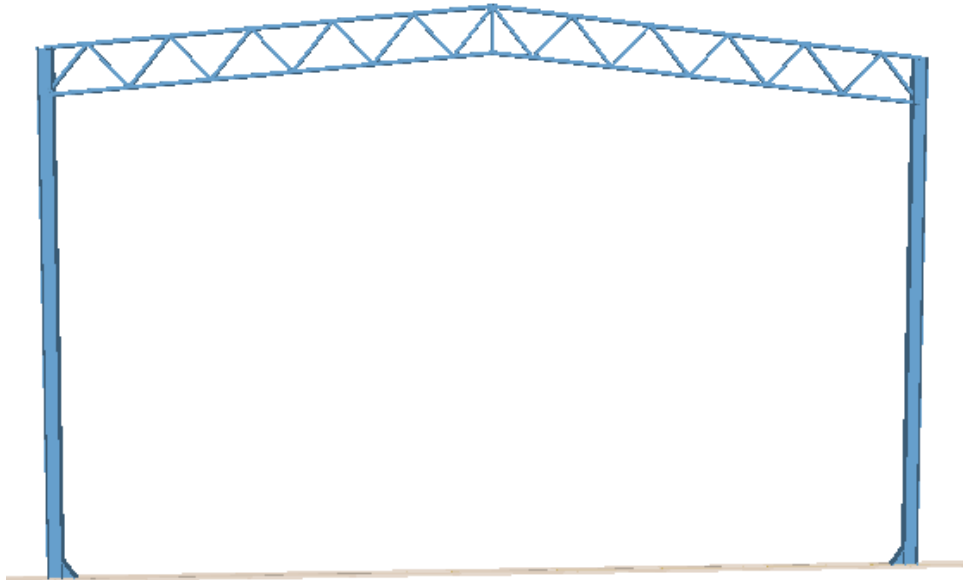
El pilar tiene tres zonas bien diferenciadas, la primera junto al suelo tiene una longitud de unos 1,5 metros en la que las tensiones son bastante grandes, debido a esto se ha colocado la cartela correspondiente en este lugar, para que el perfil utilizado sea capaz de aguantar dicha tensión, el aprovechamiento en esta zona está en torno al 97% en el punto más cercano al suelo. En la zona intermedia del pilar de unos 2 metros de longitud, el aprovechamiento es del 20%, el cual es muy bajo. Por último, en la zona junto a la viga el aprovechamiento vuelve a subir hasta el 97,2% manteniéndose casi constante en un tramo de 1,5 metros, debido al aumento de la tensión hasta tal punto, ha sido necesario la colocación de la cartela en esta zona de unos dos metros de longitud.

Para la viga la distribución de tensiones es bastante similar a la del pilar. La primera zona que está pegando a la cumbrera la tensión es bastante grande pero ésta va a menos en un tramo muy corto y por lo tanto esa es la razón por la cual el refuerzo colocado en esta zona es de solo 40 cm. En la zona intermedia del perfil el aprovechamiento es de tan solo el 15%. El último tramo, junto al pilar el aprovechamiento como podemos apreciar es más alto y más uniforme a lo largo del perfil, por lo que se ha colocado una cartela con mayor longitud 1,15 metros.

PÓRTICO VIGA DE CELOSÍA

PÓRTICO VIGA DE CELOSÍA 10 METROS DE LUZ

1. Descripción general del pórtico:



Interpretación real del pórtico

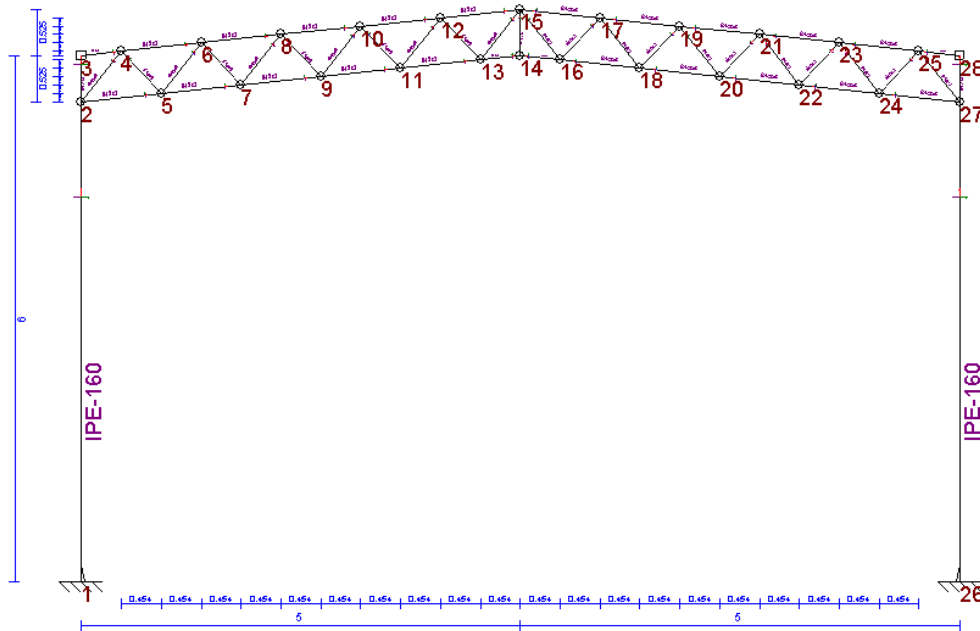
El pórtico que nos ocupa como ya sabemos tiene diez metros de luz, sus pilares son IPE con cartelas inferiores y la viga es una celosía como ya se ha descrito más arriba.

Para los pilares se ha utilizado una sección de IPE 160 mm, como podemos apreciar las cartelas inferiores son muy pequeñas, esto es debido al diseño que estamos utilizando. Como por cuestión de diseño los pilares no llevan cartelas superiores, las tensiones que están soportando en esa zona son muy grandes y por tanto necesita de esta sección de perfil para que el pilar aguante. Las tensiones que soporta el pilar sin cartelas en el inferior son ligeramente mayores que en la zona superior, pero en esta zona si podemos colocar cartelas que son las que podemos ver en la imagen superior, por la razón que acabo de comentar de que las tensiones en la parte inferior del pilar son mayores que en la parte superior, se han colocado estas pequeñas catelas en el inferior del pilar.

La viga como ya hemos comentado se ha solucionado con una celosía, ésta tiene una altura entre montantes de 0,525 m, dichos montantes están formados por perfiles cuadrados huecos de 45 mm de lado y 3 mm de espesor. Las diagonales están formadas por el mismo perfil que los montantes, esto es debido a que al ser una luz tan pequeña, la diferencia de tensiones entre las diferentes barras de la celosía es muy pequeña y no compensa utilizar un perfil más pequeño. La celosía está formada por veintidós diagonales, las cuales



forman un ángulo con el montante inferior de 46° , y también consta de un montante vertical en la cumbrera.



Esquema de nudos, cotas y tipo de perfil.

La imagen superior como podemos apreciar aparecen los nudos y las longitudes de las barras que a continuación se detallan:

2. Descripción de valores aportados por Cype

2.1 - Nudos

Nudos	Coordenadas (m)			Vínculos
	X	Y	Z	
1	0.000	0.000	0.000	Empotrado
2	0.000	0.000	5.475	Articulado
3	0.000	0.000	6.000	Empotrado
4	0.000	0.460	6.048	Articulado
5	0.000	0.914	5.571	Articulado
6	0.000	1.368	6.144	Articulado
7	0.000	1.822	5.666	Articulado
8	0.000	2.276	6.239	Articulado
9	0.000	2.730	5.762	Articulado
10	0.000	3.184	6.334	Articulado
11	0.000	3.638	5.857	Articulado
12	0.000	4.092	6.430	Articulado
13	0.000	4.546	5.952	Articulado
14	0.000	5.000	6.000	Articulado

Nudos	Coordenadas (m)			Vínculos
	X	Y	Z	
15	0.000	5.000	6.525	Articulado
16	0.000	5.454	5.952	Articulado
17	0.000	5.908	6.430	Articulado
18	0.000	6.362	5.857	Articulado
19	0.000	6.816	6.334	Articulado
20	0.000	7.270	5.762	Articulado
21	0.000	7.724	6.239	Articulado
22	0.000	8.178	5.666	Articulado
23	0.000	8.632	6.144	Articulado
24	0.000	9.086	5.571	Articulado
25	0.000	9.540	6.048	Articulado
26	0.000	10.000	0.000	Empotrado
27	0.000	10.000	5.475	Articulado
28	0.000	10.000	6.000	Empotrado



Hay un total de veintiocho nudos, los cuales se han considerado todos articulados salvo las vinculaciones exteriores que son empotramientos y las uniones entre celosía y pilar que se han considerado nudos rígidos.

2.2 - Barras: Características Mecánicas

Descripción	Inerc.Tor. cm ⁴	Inerc.y cm ⁴	Inerc.z cm ⁴	Sección cm ²
Acero, #40x3, Perfil simple (Huecos cuadrados)	15.619	8.817	8.817	4.097
Acero, #45x3, Perfil simple (Huecos cuadrados)	22.893	13.145	13.145	4.697
Acero, IPE-160, Simple con cartelas (IPE)	3.640	869.000	68.300	20.100

2.3.- Barras: Materiales Utilizados

Material	Mód.elást. (GPa)	Mód.el.trans. (GPa)	Lím.elás.\Fck (MPa)	Co.dilat. (m/m°C)	Peso espec. (KN/m ³)
Acero (S275)	206.01	79.23	275.00	1.2e-005	77.01

2.4.- Barras: Descripción

Barras	Material	Perfil	Peso (Kp)	Volumen (m ³)	Longitud (m)
1/2	Acero (S275)	IPE-160 (IPE) + cart. sup. 0.200 m	87.91	0.011	5.48
2/3	Acero (S275)	IPE-160 (IPE)	8.28	0.001	0.53
2/4	Acero (S275)	#40x3 (Huecos cuadrados)	2.36	0.000	0.74
2/5	Acero (S275)	#45x3 (Huecos cuadrados)	3.39	0.000	0.92
3/4	Acero (S275)	#45x3 (Huecos cuadrados)	1.71	0.000	0.46
5/4	Acero (S275)	#40x3 (Huecos cuadrados)	2.12	0.000	0.66
4/6	Acero (S275)	#45x3 (Huecos cuadrados)	3.37	0.000	0.91
5/6	Acero (S275)	#40x3 (Huecos cuadrados)	2.35	0.000	0.73
5/7	Acero (S275)	#45x3 (Huecos cuadrados)	3.37	0.000	0.91
7/6	Acero (S275)	#40x3 (Huecos cuadrados)	2.12	0.000	0.66
6/8	Acero (S275)	#45x3 (Huecos cuadrados)	3.37	0.000	0.91
7/8	Acero (S275)	#40x3 (Huecos cuadrados)	2.35	0.000	0.73
7/9	Acero (S275)	#45x3 (Huecos cuadrados)	3.37	0.000	0.91
9/8	Acero (S275)	#40x3 (Huecos cuadrados)	2.12	0.000	0.66
8/10	Acero (S275)	#45x3 (Huecos cuadrados)	3.37	0.000	0.91
9/10	Acero (S275)	#40x3 (Huecos cuadrados)	2.35	0.000	0.73
9/11	Acero (S275)	#45x3 (Huecos cuadrados)	3.37	0.000	0.91
11/10	Acero (S275)	#40x3 (Huecos cuadrados)	2.12	0.000	0.66
10/12	Acero (S275)	#45x3 (Huecos cuadrados)	3.37	0.000	0.91
11/12	Acero (S275)	#40x3 (Huecos cuadrados)	2.35	0.000	0.73
11/13	Acero (S275)	#45x3 (Huecos cuadrados)	3.37	0.000	0.91
13/12	Acero (S275)	#40x3 (Huecos cuadrados)	2.12	0.000	0.66
12/15	Acero (S275)	#45x3 (Huecos cuadrados)	3.37	0.000	0.91
13/14	Acero (S275)	#45x3 (Huecos cuadrados)	1.68	0.000	0.46
13/15	Acero (S275)	#40x3 (Huecos cuadrados)	2.35	0.000	0.73
14/15	Acero (S275)	#40x3 (Huecos cuadrados)	1.69	0.000	0.53
16/14	Acero (S275)	#45x3 (Huecos cuadrados)	1.68	0.000	0.46
16/15	Acero (S275)	#40x3 (Huecos cuadrados)	2.35	0.000	0.73
17/15	Acero (S275)	#45x3 (Huecos cuadrados)	3.37	0.000	0.91



Pórtico Viga de Celosía 10 Metros De Luz

16/17	Acero (S275)	#40x3 (Huecos cuadrados)	2.12	0.000	0.66
18/16	Acero (S275)	#45x3 (Huecos cuadrados)	3.37	0.000	0.91
18/17	Acero (S275)	#40x3 (Huecos cuadrados)	2.35	0.000	0.73
19/17	Acero (S275)	#45x3 (Huecos cuadrados)	3.37	0.000	0.91
18/19	Acero (S275)	#40x3 (Huecos cuadrados)	2.12	0.000	0.66
20/18	Acero (S275)	#45x3 (Huecos cuadrados)	3.37	0.000	0.91
20/19	Acero (S275)	#40x3 (Huecos cuadrados)	2.35	0.000	0.73
21/19	Acero (S275)	#45x3 (Huecos cuadrados)	3.37	0.000	0.91
20/21	Acero (S275)	#40x3 (Huecos cuadrados)	2.12	0.000	0.66
22/20	Acero (S275)	#45x3 (Huecos cuadrados)	3.37	0.000	0.91
22/21	Acero (S275)	#40x3 (Huecos cuadrados)	2.35	0.000	0.73
23/21	Acero (S275)	#45x3 (Huecos cuadrados)	3.37	0.000	0.91
22/23	Acero (S275)	#40x3 (Huecos cuadrados)	2.12	0.000	0.66
24/22	Acero (S275)	#45x3 (Huecos cuadrados)	3.37	0.000	0.91
24/23	Acero (S275)	#40x3 (Huecos cuadrados)	2.35	0.000	0.73
25/23	Acero (S275)	#45x3 (Huecos cuadrados)	3.37	0.000	0.91
24/25	Acero (S275)	#40x3 (Huecos cuadrados)	2.12	0.000	0.66
27/24	Acero (S275)	#45x3 (Huecos cuadrados)	3.39	0.000	0.92
27/25	Acero (S275)	#40x3 (Huecos cuadrados)	2.36	0.000	0.74
28/25	Acero (S275)	#45x3 (Huecos cuadrados)	1.71	0.000	0.46
26/27	Acero (S275)	IPE-160 (IPE) + cart. inf. 0.200 m	87.91	0.011	5.48
27/28	Acero (S275)	IPE-160 (IPE)	8.28	0.001	0.53

2.5.- Barras: Resumen Medición (Acero)

Descripción			Peso (Kp)			Longitud (m)		
			Perfil	Serie	Acero	Perfil	Serie	Acero
Acero (S275)	Huecos cuadrados	#40x3, Perfil simple	51.11			15.91		
		#45x3, Perfil simple	74.22			20.06		
				125.33			35.97	
	IPE	IPE-160, Simple con c...	192.38			12.02		
				192.38			12.02	
					317.71			47.99
					317.71			47.99

Como podemos apreciar en la tabla, el peso total de la estructura es de 317,71 Kg, dicho peso es ligeramente inferior al diseño IPE y al VOID. Esta reducción de peso se debe en gran medida al uso de la viga de celosía obteniendo así un pórtico más ligero. Para esta luz la diferencia de peso entre los diferentes pórticos es poca, pero conforme la luz valla aumentando, este diseño será el más ligero de todos.



2.6.- Cargas (Nudos)

Nudos	Hipót.	Tipo	Cargas				Dirección		
			P1	P2	L1 (m)	L2 (m)	X	Y	Z
3	1 (PP 1)	Puntual	1.500 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
4	1 (PP 1)	Puntual	3.000 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
6	1 (PP 1)	Puntual	3.000 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
8	1 (PP 1)	Puntual	3.000 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
10	1 (PP 1)	Puntual	3.000 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
12	1 (PP 1)	Puntual	3.000 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
15	1 (PP 1)	Puntual	3.000 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
17	1 (PP 1)	Puntual	3.000 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
19	1 (PP 1)	Puntual	3.000 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
21	1 (PP 1)	Puntual	3.000 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
23	1 (PP 1)	Puntual	3.000 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
25	1 (PP 1)	Puntual	3.000 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
28	1 (PP 1)	Puntual	1.500 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000

En la tabla superior podemos apreciar como se ha distribuido la carga calculada al principio de manera uniforme en la celosía y en la tabla que hay a continuación se detalla las cargas debidas al peso propio de la estructura que nos ha generado el programa.

2.7.- Cargas (Barras)

Barras	Hipót.	Tipo	Cargas				Dirección		
			P1	P2	L1 (m)	L2 (m)	X	Y	Z
14/15	1 (PP 1)	Uniforme	0.032 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
16/15	1 (PP 1)	Uniforme	0.032 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
13/15	1 (PP 1)	Uniforme	0.032 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
16/17	1 (PP 1)	Uniforme	0.032 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
13/12	1 (PP 1)	Uniforme	0.032 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
18/17	1 (PP 1)	Uniforme	0.032 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
11/12	1 (PP 1)	Uniforme	0.032 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
18/19	1 (PP 1)	Uniforme	0.032 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
11/10	1 (PP 1)	Uniforme	0.032 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
20/19	1 (PP 1)	Uniforme	0.032 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
9/10	1 (PP 1)	Uniforme	0.032 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
20/21	1 (PP 1)	Uniforme	0.032 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
9/8	1 (PP 1)	Uniforme	0.032 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
22/21	1 (PP 1)	Uniforme	0.032 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
7/8	1 (PP 1)	Uniforme	0.032 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
22/23	1 (PP 1)	Uniforme	0.032 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
7/6	1 (PP 1)	Uniforme	0.032 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
24/23	1 (PP 1)	Uniforme	0.032 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
5/6	1 (PP 1)	Uniforme	0.032 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
24/25	1 (PP 1)	Uniforme	0.032 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
5/4	1 (PP 1)	Uniforme	0.032 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000



Pórtico Viga de Celosía 10 Metros De Luz

27/25	1 (PP 1)	Uniforme	0.032 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
2/4	1 (PP 1)	Uniforme	0.032 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
13/14	1 (PP 1)	Uniforme	0.036 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
12/15	1 (PP 1)	Uniforme	0.036 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
16/14	1 (PP 1)	Uniforme	0.036 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
11/13	1 (PP 1)	Uniforme	0.036 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
17/15	1 (PP 1)	Uniforme	0.036 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
10/12	1 (PP 1)	Uniforme	0.036 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
18/16	1 (PP 1)	Uniforme	0.036 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
9/11	1 (PP 1)	Uniforme	0.036 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
19/17	1 (PP 1)	Uniforme	0.036 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
8/10	1 (PP 1)	Uniforme	0.036 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
20/18	1 (PP 1)	Uniforme	0.036 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
7/9	1 (PP 1)	Uniforme	0.036 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
21/19	1 (PP 1)	Uniforme	0.036 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
6/8	1 (PP 1)	Uniforme	0.036 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
22/20	1 (PP 1)	Uniforme	0.036 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
5/7	1 (PP 1)	Uniforme	0.036 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
23/21	1 (PP 1)	Uniforme	0.036 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
4/6	1 (PP 1)	Uniforme	0.036 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
24/22	1 (PP 1)	Uniforme	0.036 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
3/4	1 (PP 1)	Uniforme	0.036 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
25/23	1 (PP 1)	Uniforme	0.036 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
2/5	1 (PP 1)	Uniforme	0.036 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
27/24	1 (PP 1)	Uniforme	0.036 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
28/25	1 (PP 1)	Uniforme	0.036 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
2/3	1 (PP 1)	Uniforme	0.155 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
2/3	1 (PP 1)	Uniforme	2.340 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
26/27	1 (PP 1)	Trapez.	0.257 KN/m	0.229 KN/m	0.000	0.100	0.000	0.000	-1.000
26/27	1 (PP 1)	Trapez.	0.229 KN/m	0.155 KN/m	0.100	0.200	0.000	0.000	-1.000
26/27	1 (PP 1)	Faja	0.155 KN/m	-	0.200	5.475	0.000	0.000	-1.000
26/27	1 (PP 1)	Uniforme	1.020 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
1/2	1 (PP 1)	Trapez.	0.257 KN/m	0.229 KN/m	0.000	0.100	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Trapez.	0.229 KN/m	0.155 KN/m	0.100	0.200	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Faja	0.155 KN/m	-	0.200	5.475	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Uniforme	2.340 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
27/28	1 (PP 1)	Uniforme	0.155 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
27/28	1 (PP 1)	Uniforme	1.020 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000

2.8.- Desplazamientos

Los desplazamientos que se producen normalmente en una celosía son muy pequeños y no va a ser este caso una excepción. En los demás pórticos estudiados los desplazamientos que se producen en la cumbrera son bastante mayores que en el caso que nos ocupa, siendo este de 4,65 cm.



2.9.- Reacciones

Nudos	Descripción	REACCIONES (EJES GENERALES)					
		RX (KN)	RY (KN)	RZ (KN)	MX (KN·m)	MY (KN·m)	MZ (KN·m)
1	Envolvente (Cim.equil.)	0.0000	-14.2844	17.5994	17.2320	0.0000	0.0000
		0.0000	-9.5230	26.3991	25.8481	0.0000	0.0000
1	Envolvente (Cim.tens.terr.)	0.0000	-9.5230	17.5994	17.2320	0.0000	0.0000
		0.0000	-9.5230	17.5994	17.2320	0.0000	0.0000
26	Envolvente (Cim.equil.)	0.0000	-15.9556	21.5121	23.6847	0.0000	0.0000
		0.0000	-10.6370	32.2681	35.5271	0.0000	0.0000
26	Envolvente (Cim.tens.terr.)	0.0000	-10.6370	21.5121	23.6847	0.0000	0.0000
		0.0000	-10.6370	21.5121	23.6847	0.0000	0.0000

2.10.-Tensiones

Barras	TENSION MÁXIMA								
	TENS. ()	APROV. (%)	Pos. (m)	N (KN)	Vy (KN)	Vz (KN)	Mt (KN·m)	My (KN·m)	Mz (KN·m)
14/15	0.1560	15.60	0.525	15.9826	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
16/15	0.0711	7.11	0.365	-6.0839	0.0000	0.0000	0.0000	0.0018	0.0000
13/15	0.0122	1.22	0.731	1.2446	0.0000	0.0097	0.0000	0.0000	0.0000
16/17	0.0521	5.21	0.659	5.3368	0.0000	0.0097	0.0000	0.0000	0.0000
13/12	0.0153	1.53	0.329	-1.2783	0.0000	0.0000	0.0000	0.0016	0.0000
18/17	0.1326	13.26	0.365	-11.4334	0.0000	0.0000	0.0000	0.0018	0.0000
11/12	0.0484	4.84	0.365	-4.1069	0.0000	0.0000	0.0000	0.0018	0.0000
18/19	0.1015	10.15	0.659	10.3957	0.0000	0.0097	0.0000	0.0000	0.0000
11/10	0.0371	3.71	0.659	3.7977	0.0000	0.0097	0.0000	0.0000	0.0000
20/19	0.2001	20.01	0.365	-17.3082	0.0000	0.0000	0.0000	0.0018	0.0000
9/10	0.1160	11.60	0.365	-9.9882	0.0000	0.0000	0.0000	0.0018	0.0000
20/21	0.1533	15.33	0.659	15.7031	0.0000	0.0097	0.0000	0.0000	0.0000
9/8	0.0888	8.88	0.659	9.0956	0.0000	0.0097	0.0000	0.0000	0.0000
22/21	0.2667	26.67	0.365	-23.1034	0.0000	0.0000	0.0000	0.0018	0.0000
7/8	0.1825	18.25	0.365	-15.7742	0.0000	0.0000	0.0000	0.0018	0.0000
22/23	0.2039	20.39	0.659	20.8854	0.0000	0.0097	0.0000	0.0000	0.0000
7/6	0.1397	13.97	0.659	14.3099	0.0000	0.0097	0.0000	0.0000	0.0000
24/23	0.3342	33.42	0.365	-28.9722	0.0000	0.0000	0.0000	0.0018	0.0000
5/6	0.2503	25.03	0.365	-21.6737	0.0000	0.0000	0.0000	0.0018	0.0000
24/25	0.2571	25.71	0.659	26.3327	0.0000	0.0097	0.0000	0.0000	0.0000
5/4	0.1917	19.17	0.659	19.6353	0.0000	0.0097	0.0000	0.0000	0.0000
27/25	0.3989	39.89	0.368	-34.5380	0.0000	0.0000	0.0000	0.0018	0.0000
2/4	0.3127	31.27	0.368	-27.0512	0.0000	0.0000	0.0000	0.0018	0.0000
13/14	0.6350	63.50	0.456	74.5675	0.0000	0.2023	0.0000	0.0000	0.0000
12/15	0.9245	92.45	0.000	-81.4376	0.0000	0.0957	0.0000	0.1076	0.0000
16/14	0.6350	63.50	0.456	74.5659	0.0000	0.1867	0.0000	0.0000	0.0000
11/13	0.6489	64.89	0.913	76.2038	0.0000	0.0180	0.0000	0.0873	0.0000
17/15	0.8701	87.01	0.000	-76.8685	0.0000	0.0854	0.0000	0.0982	0.0000
10/12	0.9072	90.72	0.913	-79.7695	0.0000	-0.0142	0.0000	0.1076	0.0000
18/16	0.5710	57.10	0.913	67.0558	0.0000	0.0102	0.0000	0.0802	0.0000
9/11	0.6047	60.47	0.913	71.0131	0.0000	0.0120	0.0000	0.0835	0.0000
19/17	0.7580	75.80	0.913	-66.0471	0.0000	-0.0250	0.0000	0.0982	0.0000



Pórtico Viga de Celosía 10 Metros De Luz

8/10	0.7930	79.30	0.571	-70.9041	0.0000	0.0018	0.0000	0.0779	0.0000
20/18	0.4489	44.89	0.913	52.7160	0.0000	-0.0007	0.0000	0.0692	0.0000
7/9	0.4980	49.80	0.913	58.4772	0.0000	0.0032	0.0000	0.0742	0.0000
21/19	0.5368	53.68	0.799	-48.0357	0.0000	0.0023	0.0000	0.0557	0.0000
6/8	0.6192	61.92	0.913	-54.7564	0.0000	-0.0142	0.0000	0.0710	0.0000
22/20	0.2642	26.42	0.913	31.0295	0.0000	-0.0024	0.0000	0.0483	0.0000
5/7	0.3297	32.97	0.913	38.7135	0.0000	-0.0068	0.0000	0.0569	0.0000
23/21	0.2606	26.06	0.913	-22.7324	0.0000	-0.0255	0.0000	0.0420	0.0000
4/6	0.3563	35.63	0.228	-31.3069	0.0000	0.0020	0.0000	0.0505	0.0000
24/22	0.0181	1.81	0.913	2.1285	0.0000	-0.0370	0.0000	0.0259	0.0000
3/4	0.0786	7.86	0.000	-0.7303	0.0000	-0.4280	0.0000	-0.1430	0.0000
25/23	0.0838	8.38	0.913	9.8364	0.0000	0.0268	0.0000	-0.0015	0.0000
2/5	0.0986	9.86	0.919	11.5750	0.0000	-0.0108	0.0000	0.0304	0.0000
27/24	0.3733	37.33	0.919	-34.2002	0.0000	0.0529	0.0000	-0.0281	0.0000
28/25	0.4238	42.38	0.463	49.7653	0.0000	-0.4042	0.0000	0.0027	0.0000
2/3	0.0085	0.85	0.000	-2.6366	0.0000	0.9769	0.0000	0.2206	0.0000
26/27	0.9413	94.13	0.200	-20.4450	0.0000	24.9070	0.0000	29.1326	0.0000
1/2	0.6705	67.05	0.200	-26.6401	0.0000	1.2018	0.0000	20.7526	0.0000
27/28	0.8403	84.03	0.000	2.6376	0.0000	-48.8125	0.0000	-26.0058	0.0000

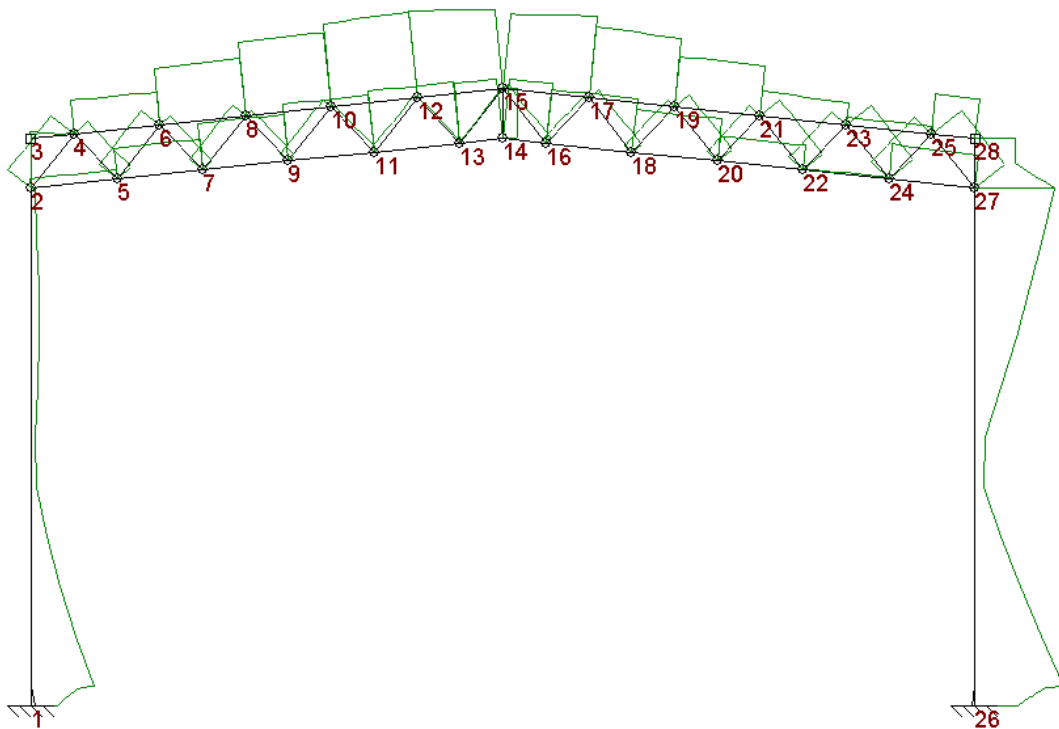


Diagrama de tensiones del pórtico.

Como podemos apreciar en el pórtico de la imagen, los montantes tanto superior como inferior, son los que mejor aprovechados están, entre el 90% en la zona de la cumbrera y el 40% más pegando al pilar. Por el contrario, las



diagonales de la celosía están muy poco aprovechadas, debido a la poca luz de la misma; es decir, el perfil utilizado sigue siendo un cuadrado hueco, lo cual se ha decidido por cuestiones de diseño, pero éste perfil es el más pequeño que se puede utilizar debido a que no existe más pequeño, esta es la razón por la que estas diagonales tienen unos aprovechamientos de perfiles tan bajos, en torno al 40%, conforme vallamos aumentando la luz veremos cómo estos perfiles se aprovechan mejor.

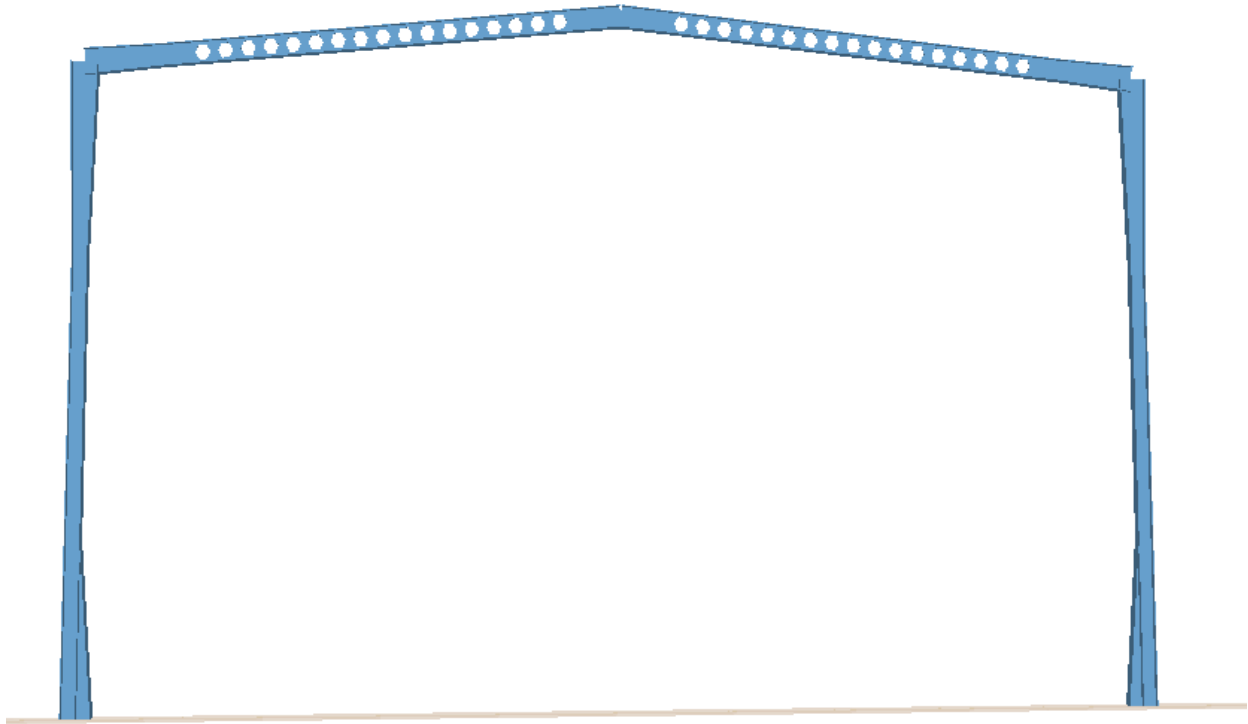
A continuación vamos a describir lo que le ocurre al pilar derecho en cuanto a las tensiones. Si nos fijamos en la imagen anterior el pilar tiene tres zonas bien diferenciadas: inferior, central y superior. La zona inferior es la más desfavorable, debido al empotramiento, teniendo un pico de tensión bastante alto que nos ha obligado a colocar las cartelas inferiores, dicho pico está aprovechado en un 94%. La zona central o intermedia de pilar, tiene un aprovechamiento del 10%, el cual es un valor bajísimo, pero que en este diseño de pórtico no podemos corregir ya que no colocamos cartelas en la parte superior de dicho pilar por cuestiones de diseño que ya se han explicado, así que el cálculo del pilar a se ha realizado en función de la tensión que aguanta el pilar en la zona superior, ya que ésta no la podemos reducir.



PÓRTICO VIGA VOID

PÓRTICO VIGA VOID 10 METROS DE LUZ

1. Descripción general del pórtico:



Interpretación real del pórtico

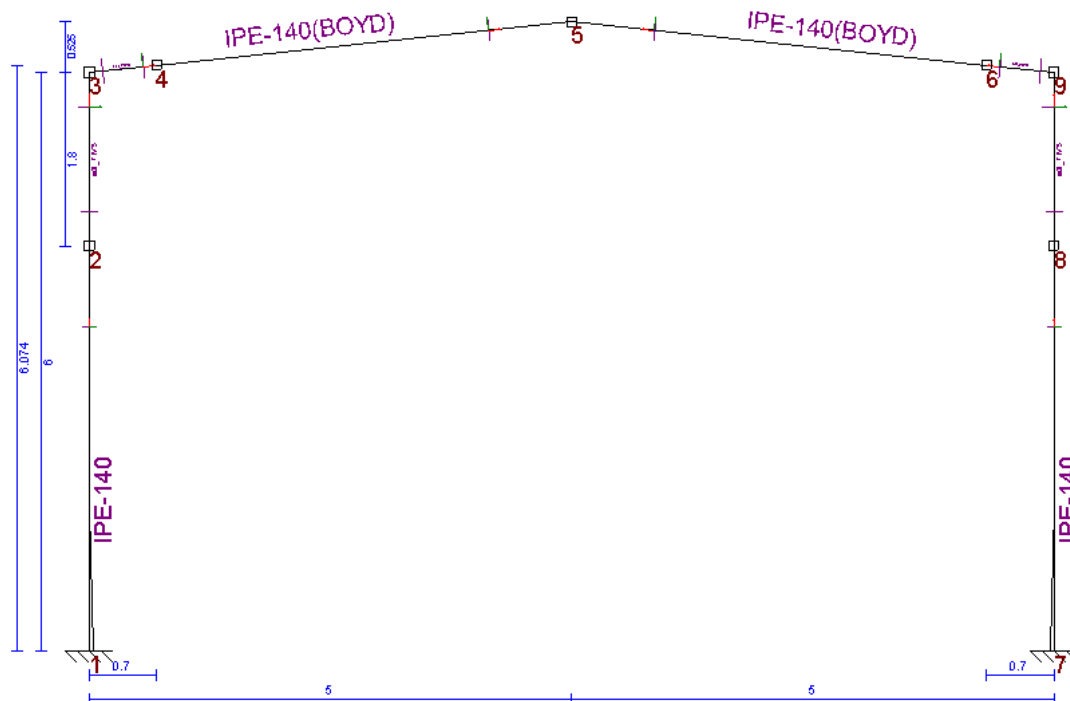
El pórtico que nos ocupa tiene 10 metros de luz y está formado por perfiles IPE de 140 mm. de alma, cuyo dintel es de tipo VOID también con perfil IPE de 140 mm. Los pilares están reforzados en su parte inferior por cartelas y en su parte superior con sección variable. Las cartelas tienen una longitud de 1,40 metros y el tramo de sección variable tiene 1,80 metros de longitud. El hecho de colocar unas cartelas tan grandes es porque el perfil que se ha utilizado tiene una sección pequeña y las tensiones en ese punto son bastante altas. El refuerzo realizado en la parte superior del pilar como ya hemos dicho anteriormente ha sido con sección variable, el hecho de utilizar este tipo de perfil para el cálculo ha sido por cuestiones de diseño, pero después de haber realizado todo el cálculo me he dado cuenta de que es más sencillo y mucho más económico colocar cartelas, ya que éstas ofrecen también una gran solución, ahorrándonos así, no en este caso porque estamos hablando de muy poca luz, problemas de abolladura del alma en luces mayores.

El diseño del dintel empezando de izquierda a derecha es el siguiente: empezamos colocando un perfil de sección variable, seguido de viga VOID con perfil IPE y el otro agua igual viga VOID y último tramo con sección variable. Los tramos de sección variable los describimos a continuación: la unión con el pilar tiene un canto de 250 mm y junto a la viga de 210 mm para que se pueda



unir a ella, el alma tiene un espesor de 5 mm. y el ala tiene 7 mm. de espesor. Este espesor se ha elegido lo más próximo al perfil IPE que se ha utilizado en la viga, debido a que nos tenemos que regir por espesores comerciales. La longitud de dicho perfil es de 0,7 metros. Los tramos VOID para esta luz se han diseñado de la siguiente manera: el perfil que se ha utilizado como ya hemos dicho es un IPE 140 mm., el cual se convierte al hacerlo VOID en un perfil que tiene 210 mm. de alma. Para este pórtico se le han rellenado un hueco en origen y dos más en la cumbrera de cada viga, adecuándonos de esta manera a lo solicitado en el diagrama de tensiones que se comentará más adelante.

A continuación mostramos un esquema del pórtico donde se detallan los nudos, perfiles utilizados y las cotas del mismo.



Esquema de nudos, cotas y tipo de perfil.

2. Descripción general del pórtico:

Ahora se detallan los datos que nos aporta el programa en forma de tablas que describiremos a continuación:



2.1 - Nudos

Nudos	Coordenadas (m)			Vínculos
	X	Y	Z	
1	0.000	0.000	0.000	Empotrado
2	0.000	0.000	4.200	Empotrado
3	0.000	0.000	6.000	Empotrado
4	0.000	0.700	6.074	Empotrado
5	0.000	5.000	6.525	Empotrado
6	0.000	9.300	6.074	Empotrado
7	0.000	10.000	0.000	Empotrado
8	0.000	10.000	4.200	Empotrado
9	0.000	10.000	6.000	Empotrado

2.2 - Barras: Características Mecánicas

Descripción	Inerc.Tor. cm4	Inerc.y cm4	Inerc.z cm4	Sección cm2
Acero, Sección Variable, Perfil simple + Separación 126.2/236.2 mm	2.226	1124.504	44.894	18.590
Acero, Sección Variable, Perfil simple + Separación 236.2/196.2 mm	2.347	1649.755	44.924	20.235
Acero, IPE-140, Simple con cartelas (IPE)	2.630	541.000	44.900	16.400
Acero, IPE-140, Boyd (alma aligerada) (IPE) H: 210.0 mm, S: 210.0 mm, macizados (1, 2)	2.630	1243.319	44.786	16.400

2.3.- Barras: Materiales Utilizados

Material	Mód.elást. (GPa)	Mód.el.trans. (GPa)	Lím.elás.\Fck (MPa)	Co.dilat. (m/m°C)	Peso espec. (KN/m3)
Acero (S275)	206.01	79.23	275.00	1.2e-005	77.01

2.4.- Barras: Descripción

Barras	Material	Perfil	Peso (Kp)	Volumen (m3)	Longitud (m)
1/2	Acero (S275)	IPE-140 (IPE) + cart. sup. 1.500 m	63.51	0.008	4.20
2/3	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 126.2/236.2 mm	26.26	0.003	1.80
3/4	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 236.2/196.2 mm	11.18	0.001	0.70
4/5	Acero (S275)	IPE-140(BOYD) (IPE) H: 210.0 mm, S: 210.0 mm, macizados (1, 2)	57.06	0.007	4.32
6/5	Acero (S275)	IPE-140(BOYD) (IPE) H: 210.0 mm, S: 210.0 mm, macizados (1, 2)	57.06	0.007	4.32
9/6	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 236.2/196.2 mm	11.18	0.001	0.70
7/8	Acero (S275)	IPE-140 (IPE) + cart. inf. 1.500 m	63.51	0.008	4.20
8/9	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 126.2/236.2 mm	26.26	0.003	1.80



2.5.- Barras: Resumen Medición (Acero)

Descripción			Peso (Kp)			Longitud (m)		
			Perfil	Serie	Acero	Perfil	Serie	Acero
Acero (S275)	Sección	Sección Variable, Perfil	74.88			5.00		
		IPE-140, Simple con c...	127.02	74.88		8.40	5.00	
	IPE	IPE-140, Boyd (alma a...	114.12	127.02		8.64	8.40	
				114.12			8.64	
	IPE				316.02			22.04
					316.02			22.04

Como podemos apreciar en la tabla el utilizar la viga VOID hace que se aligere bastante la estructura teniendo un peso total de la misma de 316,02 Kg.

2.6.- Cargas (Barras)

Barras	Hipót.	Tipo	Cargas				Dirección		
			P1	P2	L1 (m)	L2 (m)	X	Y	Z
3/4	1 (PP 1)	Trapez.	0.163 KN/m	0.149 KN/m	0.000	0.704	0.000	0.000	-1.000
3/4	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
2/3	1 (PP 1)	Trapez.	0.123 KN/m	0.163 KN/m	0.000	1.800	0.000	0.000	-1.000
2/3	1 (PP 1)	Uniforme	2.340 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
9/6	1 (PP 1)	Trapez.	0.163 KN/m	0.149 KN/m	0.000	0.704	0.000	0.000	-1.000
9/6	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
8/9	1 (PP 1)	Trapez.	0.123 KN/m	0.163 KN/m	0.000	1.800	0.000	0.000	-1.000
8/9	1 (PP 1)	Uniforme	1.020 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
7/8	1 (PP 1)	Trapez.	0.211 KN/m	0.188 KN/m	0.000	0.750	0.000	0.000	-1.000
7/8	1 (PP 1)	Trapez.	0.188 KN/m	0.165 KN/m	0.750	1.500	0.000	0.000	-1.000
7/8	1 (PP 1)	Faja	0.126 KN/m	-	1.500	4.200	0.000	0.000	-1.000
7/8	1 (PP 1)	Uniforme	1.020 KN/m	-	-	-	0.000	-1.000	0.000
1/2	1 (PP 1)	Trapez.	0.211 KN/m	0.188 KN/m	0.000	0.750	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Trapez.	0.188 KN/m	0.165 KN/m	0.750	1.500	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Faja	0.126 KN/m	-	1.500	4.200	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Uniforme	2.340 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
6/5	1 (PP 1)	Faja	0.149 KN/m	-	0.000	0.202	0.000	0.000	-1.000
6/5	1 (PP 1)	Faja	0.126 KN/m	-	0.202	3.912	0.000	0.000	-1.000
6/5	1 (PP 1)	Faja	0.149 KN/m	-	3.912	4.324	0.000	0.000	-1.000
6/5	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
4/5	1 (PP 1)	Faja	0.149 KN/m	-	0.000	0.202	0.000	0.000	-1.000
4/5	1 (PP 1)	Faja	0.126 KN/m	-	0.202	3.912	0.000	0.000	-1.000
4/5	1 (PP 1)	Faja	0.149 KN/m	-	3.912	4.324	0.000	0.000	-1.000
4/5	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000



2.7.- Desplazamientos

Nudos	Descripción	DESPLAZAMIENTOS (EJES GENERALES)					
		DX (m)	DY (m)	DZ (m)	GX (rad)	GY (rad)	GZ (rad)
1	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0123	-0.0001	-0.0075	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0123	-0.0001	-0.0075	0.0000	0.0000
3	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0331	-0.0002	-0.0157	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0331	-0.0002	-0.0157	0.0000	0.0000
4	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0344	-0.0122	-0.0180	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0344	-0.0122	-0.0180	0.0000	0.0000
5	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0396	-0.0631	0.0019	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0396	-0.0631	0.0019	0.0000	0.0000
6	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0452	-0.0082	0.0127	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0452	-0.0082	0.0127	0.0000	0.0000
7	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
8	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0456	-0.0007	-0.0093	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0456	-0.0007	-0.0093	0.0000	0.0000
9	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0460	-0.0008	0.0078	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0460	-0.0008	0.0078	0.0000	0.0000

El desplazamiento vertical que se produce en la cumbrera es de 6,3 cm, como podemos apreciar en la tabla.

2.8.- Reacciones

Nudos	Descripción	REACCIONES (EJES GENERALES)					
		RX (KN)	RY (KN)	RZ (KN)	MX (KN·m)	MY (KN·m)	MZ (KN·m)
1	Envolvente (Cim.equil.)	0.0000	-8.2020	18.3650	7.8544	0.0000	0.0000
		0.0000	-5.4680	27.5475	11.7816	0.0000	0.0000
1	Envolvente (Cim.tens.terr.)	0.0000	-5.4680	18.3650	7.8544	0.0000	0.0000
		0.0000	-5.4680	18.3650	7.8544	0.0000	0.0000
7	Envolvente (Cim.equil.)	0.0000	-9.1860	20.9329	21.7936	0.0000	0.0000
		0.0000	-6.1240	31.3993	32.6904	0.0000	0.0000
7	Envolvente (Cim.tens.terr.)	0.0000	-6.1240	20.9329	21.7936	0.0000	0.0000
		0.0000	-6.1240	20.9329	21.7936	0.0000	0.0000



2.9.-Tensiones

Barras	TENSIÓN MÁXIMA								
	TENS. ()	APROV. (%)	Pos. (m)	N (KN)	Vy (KN)	Vz (KN)	Mt (KN·m)	My (KN·m)	Mz (KN·m)
3/4	0.4926	49.26	0.000	-13.9895	0.0000	-22.2566	0.0000	-23.1546	0.0000
2/3	0.4926	49.26	1.800	-23.6040	0.0000	-11.5722	0.0000	23.1546	0.0000
9/6	0.8614	86.14	0.000	-14.3539	0.0000	-25.7040	0.0000	-40.4875	0.0000
8/9	0.8857	88.57	0.990	-27.2391	0.0000	12.6875	0.0000	-30.6623	0.0000
7/8	0.7885	78.85	4.200	-27.3281	0.0000	14.2257	0.0000	-17.4268	0.0000
1/2	0.3368	33.68	4.200	-23.9138	0.0000	-6.0390	0.0000	7.4422	0.0000
6/5	0.9000	90.00	0.202	-13.8540	0.0000	-21.1506	0.0000	-19.2739	0.0000
4/5	0.8885	88.85	3.541	-11.7403	0.0000	-0.9977	0.0000	26.1575	0.0000

La descripción de las tensiones para este pórtico se reduce a la descripción del pilar y viga derecha del mismo, ya que en estos es donde se produce las mayores tensiones. Vamos a empezar comentando el pilar: como ya sabemos, dicho pilar está formado por un tramo de IPE 140mm reforzado con cartela de 1,5 metros de longitud y el otro tramo con un perfil de sección variable que tiene una longitud de 1,8 metros. Las tensiones en el tramo IPE (7/8) están distribuidas de manera que quedan tres zonas bien diferenciadas. En la primera zona junto al suelo las tensiones son bastante altas y por eso el hecho de colocar cartelas para que el perfil sea capaz de aguantar dicha tensión quedando éste aprovechado en un 78,85%. El perfil no se ha aprovechado más porque al intentarlo, reduciendo el mismo o reduciendo la cartela, nos fallaba el tramo de sección variable y la viga colocada. Hay también una zona intermedia situada a unos tres metros de altura, en la cual el aprovechamiento del perfil es del 15%. Esta zona tiene una longitud de un metro aproximadamente y debido a que estamos utilizando un perfil de sección constante no podemos aumentar el aprovechamiento del mismo. Por último en el pilar tenemos una zona que es la que se encuentra junto al perfil de sección variable en la que la tensión aumenta mucho en un tramo muy corto alcanzando de nuevo un aprovechamiento del 79%. Para terminar de describir el pilar comentamos la zona que está junto a la viga que es de sección variable (8/9) y en la que podemos apreciar a simple vista en el diagrama lo bien aprovechado que está dicho perfil, quedando el reparto de tensiones muy uniforme a lo largo del mismo. El aprovechamiento de dicho perfil está en torno al 89%.



Pórtico Viga Void 10 Metros De Luz

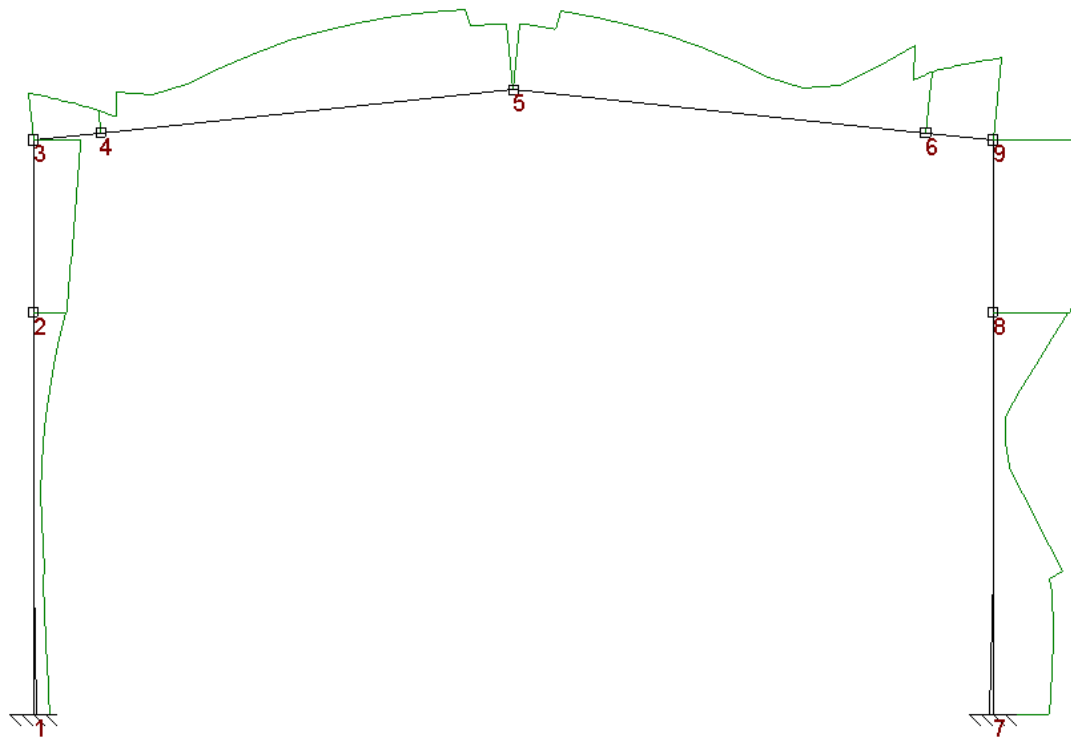


Diagrama de tensiones del pórtico.

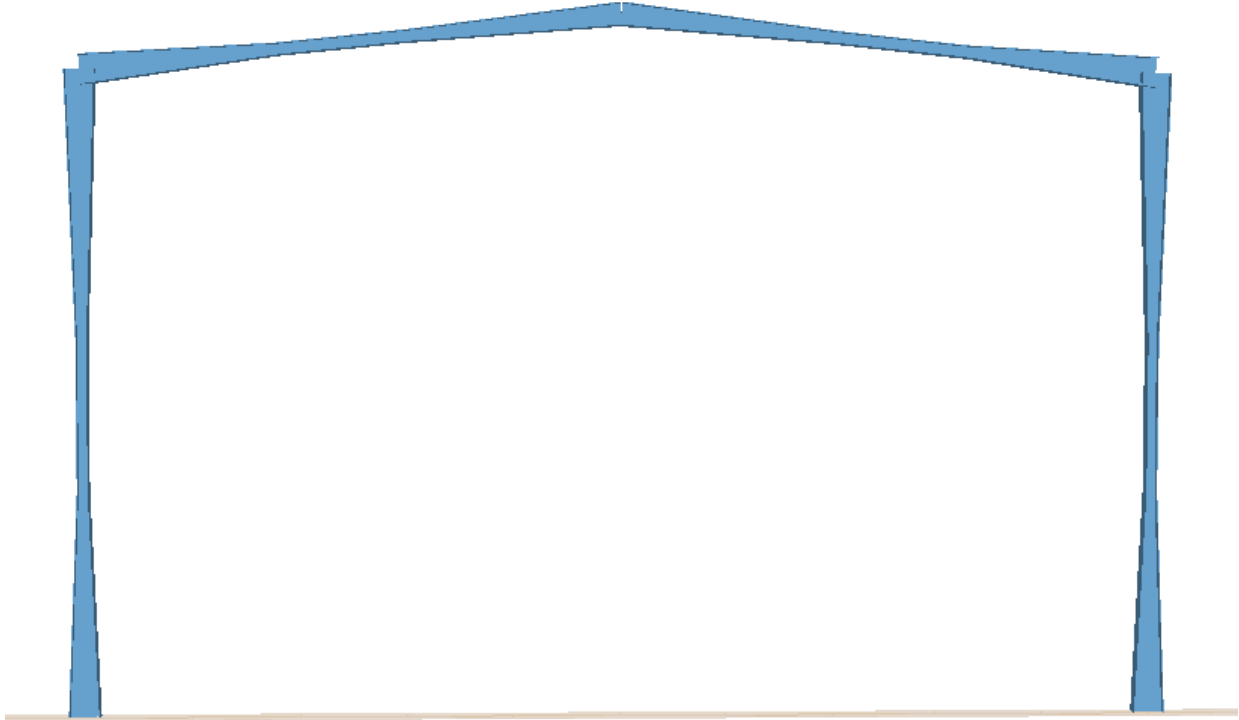
En cuanto a la viga, podemos apreciar como el reparto de tensiones es bastante uniforme a lo largo de la misma. En este tipo de pórticos me he visto obligado a colocar un pequeño tramo de perfil de sección variable (6/9), debido a que el IPE tipo Void utilizado como viga no era capaz de aguantar la tensión en esta zona ni aun rellenado los huecos hexagonales de dicho perfil, tenía que aumentar el perfil y ya no sería una solución viable económicamente. Dicho tramo (6/9) está aprovechado en un 86,14% lo cual es una cifra bastante buena. La continuación de esta viga se ha realizado como ya sabemos con IPE 140 Void al cual se le ha rellenado dos huecos en la cumbrera y uno junto al tramo de sección variable, debido a esto se producen dichos saltos en el diagrama de tensiones. El aprovechamiento de dicho tramo (5/6) es del 90%.



PÓRTICO SECCIÓN VARIABLE

PÓRTICO SECCIÓN VARIABLE DE 10 METROS DE LUZ

1. Descripción general del pórtico:



Interpretación real del pórtico

El pórtico que vamos a describir a continuación tiene 10 metros de luz y está formado en su totalidad por perfiles de sección variable. Con este tipo de diseño lo que intentamos conseguir es minimizar la cantidad de acero a utilizar en el pórtico para así poder reducir los costes del mismo, disminuyendo o aumentando el canto del perfil según nos vaya haciendo falta realmente.

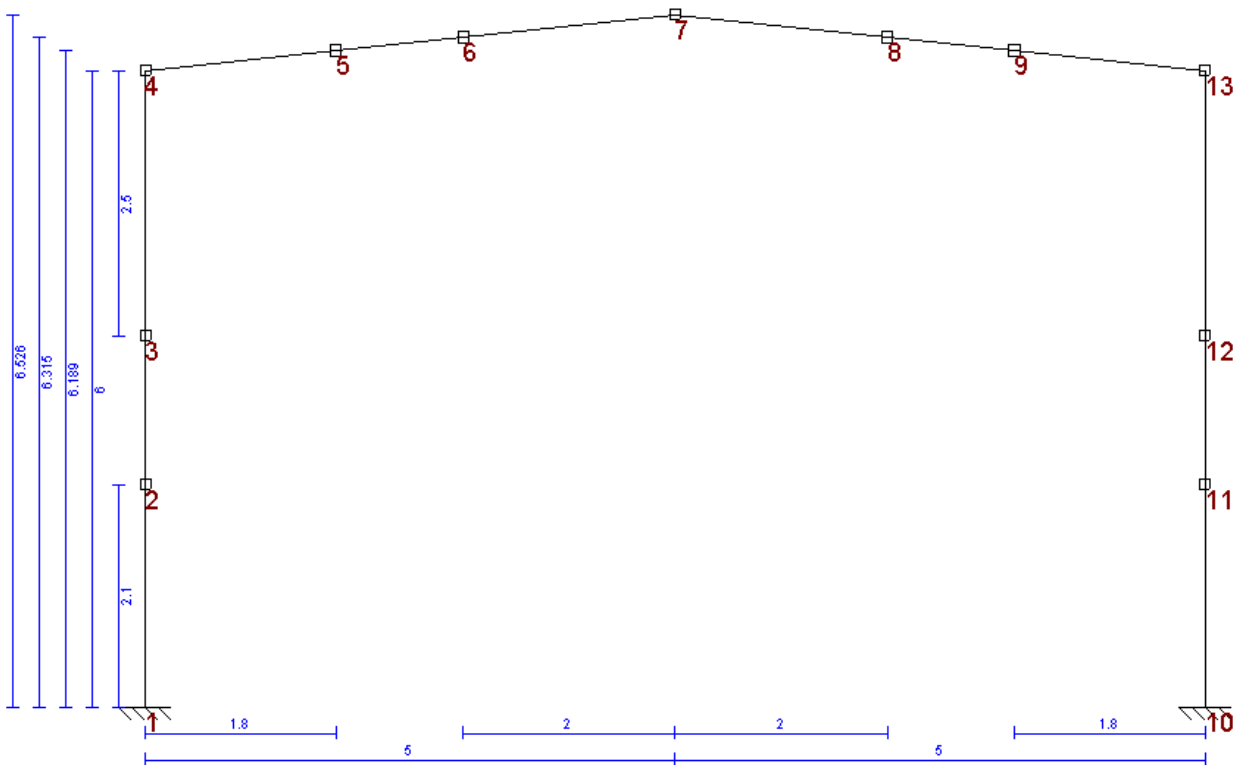
Para el diseño del pórtico hemos creado 13 nudos, de los cuales dos son empotramientos y los demás nudos rígidos, por tanto tenemos doce barras. El espesor utilizado en los perfiles es el siguiente: el alma tiene un espesor de 5mm. y las alas tienen 7mm. de espesor.

El pilar lo he dividido en tres partes teniendo así tres barras diferentes. La primera barra (1-2), tiene una longitud de 2,10 metros con un canto inicial de 285mm y final de 100mm. La segunda barra (2-3) es de sección constante debido a que en esta zona las tensiones sobre el perfil son pequeñas y se mantienen a lo largo de esta barra, el canto de dicha barra es de 100mm y la longitud de la misma es de 1,40 metros. La tercera barra (3-4), vuelve a ser de sección variable con una longitud de 2,5 metros, teniendo un canto inicial de 100mm y final de 280mm.



En la viga también tenemos tres barras diferentes, continuando con la tercera del pilar, seguimos con la primera de la viga (4-5), la cual tiene una longitud de 1,21 metros con un canto inicial igual al del pilar de 280mm y final de 110mm. La segunda barra (5-6) al igual que ocurre en el pilar, es de sección constante pero en este caso tiene 110mm de canto y una longitud de 1,21 metros. Por último la tercera barra (6-7) tiene una longitud de 2,01 metros, el canto inicial es de 110mm y el final 210mm.

A continuación mostramos un esquema del pórtico donde se detallan los nudos y las cotas del mismo.



Esquema de nudos, cotas y tipo de perfil.

2. Descripción de valores aportados por Cype

Ahora se detallan los datos que nos aporta el programa en forma de tablas en las cuales podemos apreciar nudos, cargas, tensiones, pesos, cotas, etc., que describiremos a continuación:



2.1 - Nudos

Nudos	Coordenadas (m)			Vínculos
	X	Y	Z	
1	0.000	0.000	0.000	Empotrado
2	0.000	0.000	2.100	Empotrado
3	0.000	0.000	3.500	Empotrado
4	0.000	0.000	6.000	Empotrado
5	0.000	1.800	6.189	Empotrado
6	0.000	3.000	6.315	Empotrado
7	0.000	5.000	6.526	Empotrado
8	0.000	7.000	6.315	Empotrado
9	0.000	8.200	6.189	Empotrado
10	0.000	10.000	0.000	Empotrado
11	0.000	10.000	2.100	Empotrado
12	0.000	10.000	3.500	Empotrado
13	0.000	10.000	6.000	Empotrado

2.2 - Barras: Características Mecánicas

Descripción	Inerc.Tor. cm4	Inerc.y cm4	Inerc.z cm4	Sección cm2
Acero, Sección Variable, Perfil simple + Separación 86/86 mm	2.028	247.902	45.475	14.520
Acero, Sección Variable, Perfil simple + Separación 96/96 mm	2.069	308.341	45.485	15.020
Acero, Sección Variable, Perfil simple + Separación 96/196.6 mm	2.279	731.338	45.538	17.535
Acero, Sección Variable, Perfil simple + Separación 86/266 mm	2.403	1083.219	45.569	19.020
Acero, Sección Variable, Perfil simple + Separación 271/86 mm	2.413	1116.575	45.571	19.145
Acero, Sección Variable, Perfil simple + Separación 266/96 mm	2.423	1150.529	45.574	19.270

2.3.- Barras: Materiales Utilizados

Material	Mód.elást. (GPa)	Mód.el.trans. (GPa)	Lím.elás.\Fck (MPa)	Co.dilat. (m/m°C)	Peso espec. (KN/m3)
Acero (S275)	206.01	79.23	275.00	1.2e-005	77.01

2.4.- Barras: Descripción

Barras	Material	Perfil	Peso (Kp)	Volumen (m3)	Longitud (m)
1/2	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 271/86 mm	31.57	0.004	2.10
2/3	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 86/86 mm	15.96	0.002	1.40
3/4	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 86/266 mm	37.32	0.005	2.50
4/5	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 266/96 mm	27.39	0.003	1.81
5/6	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 96/96 mm	14.23	0.002	1.21



Pórtico Sección Variable 10 Metros De Luz

6/7	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 96/196.6 mm	27.68	0.004	2.01
8/7	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 96/196.6 mm	27.68	0.004	2.01
9/8	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 96/96 mm	14.23	0.002	1.21
13/9	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 266/96 mm	27.39	0.003	1.81
10/11	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 271/86 mm	31.57	0.004	2.10
11/12	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 86/86 mm	15.96	0.002	1.40
12/13	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 86/266 mm	37.32	0.005	2.50

2.5.- Barras: Resumen Medición (Acero)

Descripción			Peso (Kp)			Longitud (m)		
			Perfil	Serie	Acero	Perfil	Serie	Acero
Acero (S275)	Sección	Sección Variable, Perfil	308.30	308.30	308.30	22.06	22.06	22.06

El peso total del pórtico como podemos apreciar en la tabla es de 308,30 Kg., es el más ligero de entre todos los estudiados debido a la gran optimización que se ha realizado en sus perfiles gracias al diseño en sección variable.

2.6.- Cargas (Barras)

Barras	Hipót.	Tipo	Cargas				Dirección		
			P1	P2	L1 (m)	L2 (m)	X	Y	Z
6/7	1 (PP 1)	Trapez.	0.116 KN/m	0.154 KN/m	0.000	2.011	0.000	0.000	-1.000
6/7	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
8/7	1 (PP 1)	Trapez.	0.116 KN/m	0.154 KN/m	0.000	2.011	0.000	0.000	-1.000
8/7	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
5/6	1 (PP 1)	Uniforme	0.116 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
5/6	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
9/8	1 (PP 1)	Uniforme	0.116 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
9/8	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
4/5	1 (PP 1)	Trapez.	0.181 KN/m	0.116 KN/m	0.000	1.810	0.000	0.000	-1.000
4/5	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
13/9	1 (PP 1)	Trapez.	0.181 KN/m	0.116 KN/m	0.000	1.810	0.000	0.000	-1.000
13/9	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
3/4	1 (PP 1)	Trapez.	0.112 KN/m	0.181 KN/m	0.000	2.500	0.000	0.000	-1.000
3/4	1 (PP 1)	Uniforme	2.340 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
10/11	1 (PP 1)	Trapez.	0.183 KN/m	0.112 KN/m	0.000	2.100	0.000	0.000	-1.000
10/11	1 (PP 1)	Uniforme	1.020 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
2/3	1 (PP 1)	Uniforme	0.112 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
2/3	1 (PP 1)	Uniforme	2.340 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
11/12	1 (PP 1)	Uniforme	0.112 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
11/12	1 (PP 1)	Uniforme	1.020 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
1/2	1 (PP 1)	Trapez.	0.183 KN/m	0.112 KN/m	0.000	2.100	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Uniforme	2.340 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000



Pórtico Sección Variable 10 Metros De Luz

12/13	1 (PP 1)	Trapez.	0.112 KN/m	0.181 KN/m	0.000	2.500	0.000	0.000	-1.000
12/13	1 (PP 1)	Uniforme	1.020 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000

2.7.- Desplazamientos

Nudos	Descripción	DESPLAZAMIENTOS (EJES GENERALES)					
		DX (m)	DY (m)	DZ (m)	GX (rad)	GY (rad)	GZ (rad)
1	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0029	-0.0001	-0.0032	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0029	-0.0001	-0.0032	0.0000	0.0000
3	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0118	-0.0002	-0.0108	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0118	-0.0002	-0.0108	0.0000	0.0000
4	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0568	-0.0003	-0.0238	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0568	-0.0003	-0.0238	0.0000	0.0000
5	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0618	-0.0487	-0.0279	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0618	-0.0487	-0.0279	0.0000	0.0000
6	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0646	-0.0756	-0.0137	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0646	-0.0756	-0.0137	0.0000	0.0000
7	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0649	-0.0787	0.0067	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0649	-0.0787	0.0067	0.0000	0.0000
8	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0677	-0.0516	0.0216	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0677	-0.0516	0.0216	0.0000	0.0000
9	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0706	-0.0235	0.0209	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0706	-0.0235	0.0209	0.0000	0.0000
10	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
11	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0207	-0.0001	-0.0225	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0207	-0.0001	-0.0225	0.0000	0.0000
12	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0578	-0.0002	-0.0217	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0578	-0.0002	-0.0217	0.0000	0.0000
13	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0730	-0.0003	0.0056	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0730	-0.0003	0.0056	0.0000	0.0000

El desplazamiento vertical que se produce debido a la flexión en el nudo 7 es de 7,87cm. Éste valor es muy importante tenerlo en cuenta a la hora del diseño del pórtico, porque este desplazamiento no puede ser excesivo.

2.8.- Reacciones

Nudos	Descripción	REACCIONES (EJES GENERALES)					
		RX (KN)	RY (KN)	RZ (KN)	MX (KN·m)	MY (KN·m)	MZ (KN·m)
1	Envolvente (Cim.equil.)	0.0000	-7.0119	18.1132	6.5065	0.0000	0.0000
		0.0000	-4.6746	27.1698	9.7597	0.0000	0.0000
1	Envolvente (Cim.tens.terr.)	0.0000	-4.6746	18.1132	6.5065	0.0000	0.0000
		0.0000	-4.6746	18.1132	6.5065	0.0000	0.0000
10	Envolvente (Cim.equil.)	0.0000	-23.2281	21.1096	38.9916	0.0000	0.0000
		0.0000	-15.4854	31.6643	58.4874	0.0000	0.0000



Pórtico Sección Variable 10 Metros De Luz

10	Envolvente (Cim.tens.terr.)	0.0000	-15.4854	21.1096	38.9916	0.0000	0.0000
		0.0000	-15.4854	21.1096	38.9916	0.0000	0.0000

2.9.-Tensiones

Barras	TENSION MÁXIMA								
	TENS. ()	APROV. (%)	Pos. (m)	N (KN)	Vy (KN)	Vz (KN)	Mt (KN·m)	My (KN·m)	Mz (KN·m)
6/7	0.9561	95.61	0.000	-13.4253	0.0000	-6.7467	0.0000	15.3345	0.0000
8/7	0.5936	59.36	0.905	-13.3723	0.0000	-6.2444	0.0000	14.9445	0.0000
5/6	0.9561	95.61	1.207	-13.4219	0.0000	-6.7533	0.0000	15.3345	0.0000
9/8	0.5855	58.55	0.000	-14.4764	0.0000	-16.7957	0.0000	-9.3900	0.0000
4/5	0.4875	48.75	0.000	-15.0104	0.0000	-21.8813	0.0000	-27.7816	0.0000
13/9	0.8424	84.24	0.000	-15.4328	0.0000	-25.9043	0.0000	-48.0073	0.0000
3/4	0.4875	48.75	2.500	-23.3291	0.0000	-12.6433	0.0000	27.7816	0.0000
10/11	0.9347	93.47	1.125	-28.2489	0.0000	19.3562	0.0000	29.9915	0.0000
2/3	0.4260	42.60	1.400	-23.8235	0.0000	-4.7458	0.0000	6.0452	0.0000
11/12	0.8523	85.23	1.400	-27.8686	0.0000	16.0858	0.0000	-12.0958	0.0000
1/2	0.1759	17.59	2.100	-24.0348	0.0000	-0.3232	0.0000	2.4969	0.0000
12/13	0.9549	95.49	0.804	-27.7352	0.0000	14.9793	0.0000	-24.5774	0.0000

La descripción de las tensiones para este pórtico se reduce a la descripción del pilar y viga derecha del mismo, ya que en estos es donde se produce las mayores tensiones. Vamos a empezar comentando el pilar: si echamos un vistazo al diagrama de tensiones podemos ver como el reparto de tensiones en el pilar es uniforme a lo largo del mismo exceptuando la zona intermedia, pero siendo esta última un tramo muy corto de tan solo 1 metro de longitud. El valor de aprovechamiento de los perfiles es el siguiente: el que se encuentra junto al suelo (10-11) tiene un aprovechamiento del 93,50% totalmente uniforme en dicha barra, en la barra intermedia (11-12) el aprovechamiento es del 50% pero como hemos dicho anteriormente es una barra muy corta y por último la barra que se encuentra junto a la viga (12-13) vuelve a tener un aprovechamiento del 95,50%, siendo este valor uniforme en toda la barra.



Pórtico Sección Variable 10 Metros De Luz

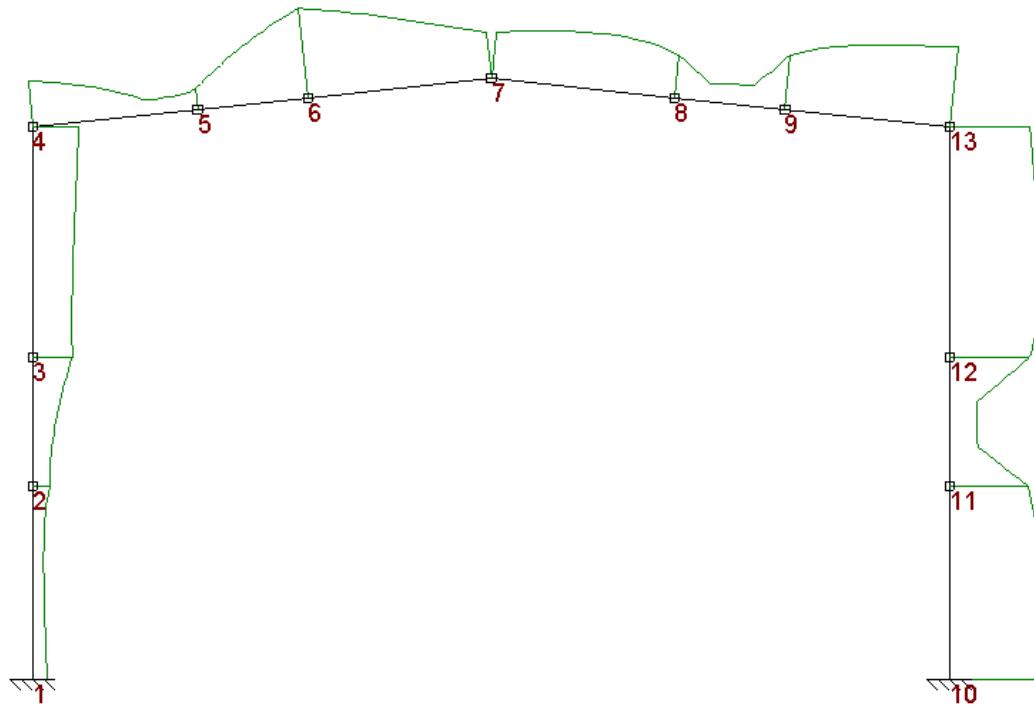


Diagrama de tensiones del pórtico.

La viga como ya sabemos consta de tres tramos. El tramo (9-13) está aprovechado de manera uniforme al 84,20%, la barra intermedia (8-9) se aprovecha entre el 45,20% y el 58,50%, y por último la barra (7-8) está aprovechada en un 59,40% de manera uniforme. En general esta viga parece no estar bien optimizada, pero esto es debido a que si reducimos aun más los perfiles, el desplazamiento que se produce en la cumbrera (nudo 7) pasa a ser muy grande. También conforme vallamos aumentando la luz de los pórticos las tensiones en las vigas pasarán a ser aun más uniformes.



RESUMEN PARA 10 METROS DE LUZ



RESUMEN DEL ESTUDIO REALIZADO PARA 10 METROS

A continuación vamos a hacer una comparación entre los cuatro tipos de diseños descritos anteriormente para 10 metros de luz, eligiendo en base al estudio realizado uno como solución más aconsejable.

En la tabla que vemos justo debajo aparece a modo de resumen los datos más significativos de cada uno de los pórticos. Estos datos a los que hacemos referencia son: las tensiones o grado de aprovechamiento del perfil, el desplazamiento que se produce en el punto más alto de los pórticos (cumbreira) y por último, siendo éste el más importante, el peso total de la estructura. Decimos que es el más importante porque la finalidad de este estudio es conseguir la solución estructural más económica de entre las posibles y esto está relacionado directamente con el peso de la estructura.

(+Peso → +Coste)

Tabla 1. Resumen de los datos más significativos de los diseños estudiados

TIPO DE PÓRTICO	(APROVECHAMIENTO) TENSIONES %		DESPL. VERTICAL CUMBRERA (CM)	PESO PROPIO (KP)
	DINTEL DERECHO	PILAR DERECHO		
IPE 140	97,92%	97,22%	7,94 cm	346,76
VIGA VOID 140	90,00%	88,57%	6,31 cm	316,02
SECCIÓN VARIABLE*	84,24%	95,50%	7,87 cm	308,3
VIGA CELOSÍA*	-	94,13%	4,65 cm	317,71

SECCIÓN VARIABLE* Es el único pórtico en el que el pilar no es un IPE, siendo éste de sección variable.

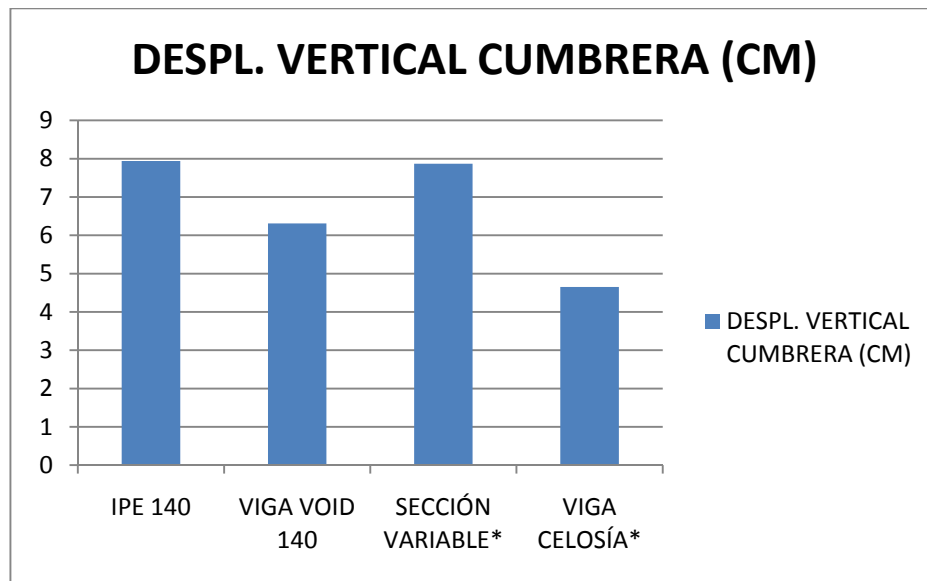
VIGA CELOSÍA* Debido a que la celosía tiene tantas barras, el aprovechamiento de las mismas es muy diverso, no teniendo muy claro el aprovechamiento medio de la misma.

Como podemos apreciar en la tabla las diferencias que se producen entre los pórticos son muy pequeñas debido a la poca luz que estamos analizando (10 metros).

En cuanto a las tensiones o grado de aprovechamiento del perfil, se ha intentado que estos sean los máximos posibles, siendo la diferencia entre los mismos muy pequeña. Atendiendo a la tabla, el tipo de pórtico que tiene un grado de aprovechamiento más alto es el de IPE, con un 97,92%.

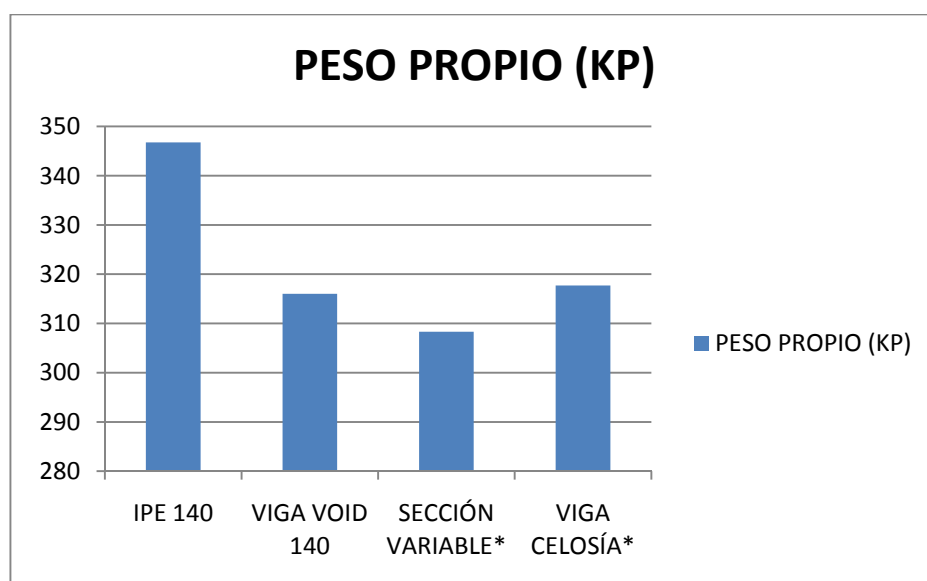


Gráfica 1. Desplazamiento vertical en función del tipo de pórtico



La diferencia del desplazamiento producido en la cumbre entre el pórtico IPE y el de Sección Variable es muy pequeña, siendo este desplazamiento de 7,94 cm y 7,87 cm respectivamente. En el pórtico Void el desplazamiento es inferior a los anteriores, de 6,31cm, esto es debido a que el alma de este perfil es superior a los demás. El pórtico que sufre menos deformación es el de Celosía, siendo ésta de 4,65 cm.

Gráfica 2. Kilos de acero en función del tipo de pórtico





Resumen Para 10 Metros de Luz

En este caso la diferencia entre pesos de las estructuras es muy pequeña. El pórtico que menos pesa de todos es el de sección variable 308,3 Kp. y el que más pesa de ellos es el IPE con 346,76 Kp. como podemos apreciar la diferencia es de apenas 40 Kp lo cual es insignificante.

Bajo mi punto de vista y después de ver el estudio realizado, el mejor diseño para 10 metros de luz es el IPE con refuerzo en los nudos. Como hemos podido apreciar es el más pesado de todos, pero es el que menos costes de fabricación y mejor aprovechamiento de perfiles tiene. El menos pesado es el de sección variable pero los tiempos de fabricación son muy superiores.



PÓRTICOS PARA 15 METROS DE LUZ

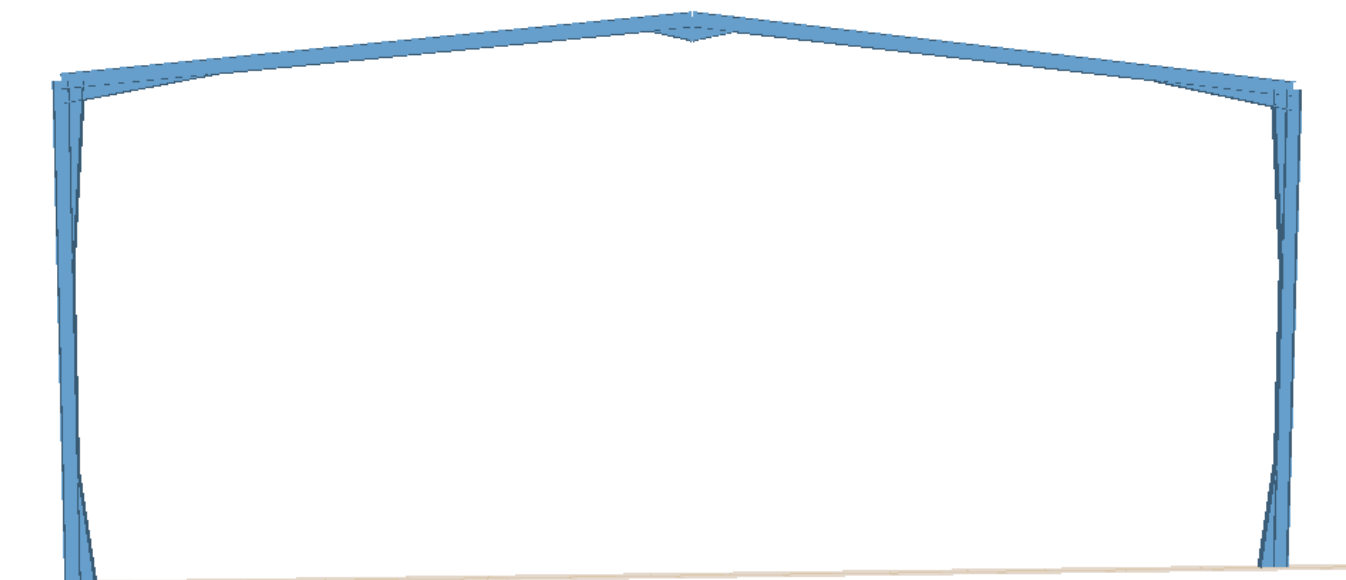


PÓRTICO PERFILES IPE



PÓRTICO IPE 15 METROS DE LUZ

1. Descripción general del pórtico:

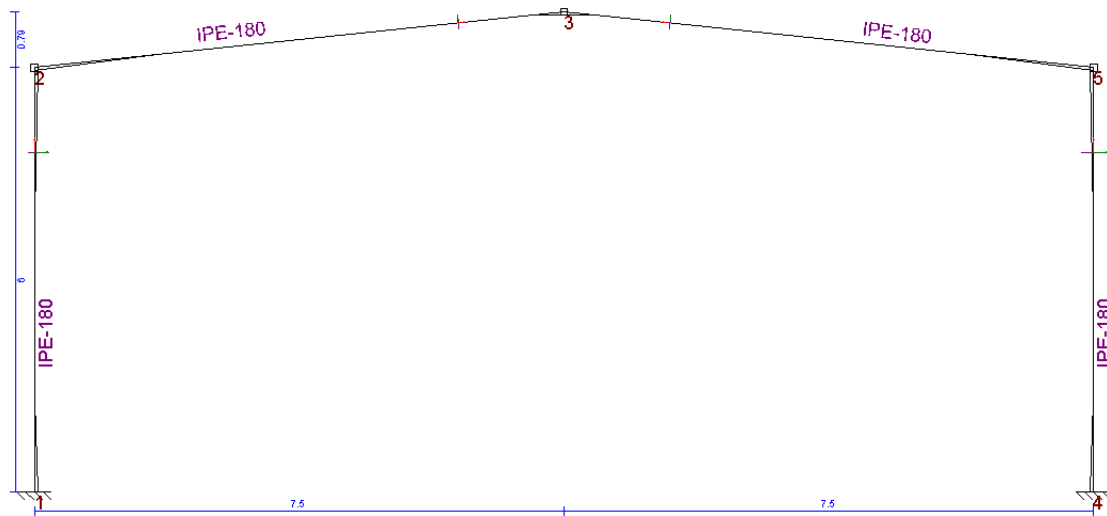


Interpretación real del pórtico

Este pórtico tiene 15 metros de luz y se ha realizado con perfil IPE de 180 milímetros de alma, para poder bajar el perfil lo máximo posible, ha sido necesaria la colocación de refuerzos “cartelas” en todos sus nudos. Estas cartelas se construyen con el mismo perfil utilizado en el pórtico pero cortado a la mitad en ángulo y colocándolas como aparecen en la imagen superior. La longitud de las cartelas superiores e inferiores son de 2,10 metros y 1,30 metros respectivamente, las cuales son relativamente grandes, pero que ha sido necesario al ser el pilar de una sección tan pequeña.

Las vigas que conforman el dintel del pórtico también son IPE de 180 milímetros de alma. Estas vigas también han sido reforzadas en sus nudos con cartelas. La cartela de la cumbrera tiene una longitud de 0,50 metros y la que se encuentra junto al pilar tiene 1,75 metros. Al ser una luz tan pequeña y tener un perfil con tan poca sección el aprovechamiento del mismo es bastante irregular, el cual se describirá más adelante.

En la imagen que podemos apreciar más abajo, aparece a modo de esquema los perfiles utilizados en el pórtico, las cotas y la numeración de los nudos del mismo.



Esquema de nudos, cotas y tipo de perfil.

2. Descripción de valores aportados por Cype

A continuación aparecen unos listados con todos los datos de mediciones, tensiones, peso, reacciones, etc... que nos ha aportado Cype, junto con algunas aclaraciones para su mejor comprensión.

2.1 - Nudos

Nudos	Coordenadas (m)			Vínculos
	X	Y	Z	
1	0.000	0.000	0.000	Empotrado
2	0.000	0.000	6.000	Empotrado
3	0.000	7.500	6.790	Empotrado
4	0.000	15.000	0.000	Empotrado
5	0.000	15.000	6.000	Empotrado

2.2 - Barras: Características Mecánicas

Descripción	Inerc.Tor. cm4	Inerc.y cm4	Inerc.z cm4	Sección cm2
Acero, IPE-180, Simple con cartelas (IPE)	5.060	1320.000	101.000	23.900



2.3.- Barras: Materiales Utilizados

Material	Mód.elást. (GPa)	Mód.el.trans. (GPa)	Lím.elás.\Fck (MPa)	Co.dilat. (m/m°C)	Peso espec. (KN/m3)
Acero (S275)	206.01	79.23	275.00	1.2e-005	77.01

2.4.- Barras: Descripción

Barras	Material	Perfil	Peso (Kp)	Volumen (m3)	Longitud (m)
1/2	Acero (S275)	IPE-180 (IPE) + carts. sup. 1.300 m y 2.100 m	143.59	0.018	6.00
2/3	Acero (S275)	IPE-180 (IPE) + carts. inf. 1.750 m y 0.500 m	162.04	0.021	7.54
5/3	Acero (S275)	IPE-180 (IPE) + carts. inf. 1.750 m y 0.500 m	162.04	0.021	7.54
4/5	Acero (S275)	IPE-180 (IPE) + carts. inf. 1.300 m y 2.100 m	143.59	0.018	6.00

En esta tabla podemos apreciar las longitudes de las cartelas junto con la longitud de los perfiles utilizados y el peso de los mismos.

2.5.- Barras: Resumen Medición (Acero)

Descripción			Peso (Kp)			Longitud (m)		
			Perfil	Serie	Acero	Perfil	Serie	Acero
Acero (S275)	IPE	IPE-180, Simple con c...	611.26	611.26		27.08	27.08	
					611.26			27.08
					611.26			27.08
					611.26			27.08

El peso total de la estructura como podemos apreciar en la tabla es de 611,26 kg. Este peso es el más alto de entre todos los diseños estudiados como veremos más adelante, pero es de los más utilizados en la realidad.

2.6.- Cargas (Barras)

Barras	Hipót.	Tipo	Cargas				Dirección		
			P1	P2	L1 (m)	L2 (m)	X	Y	Z
2/3	1 (PP 1)	Trapez.	0.307 KN/m	0.274 KN/m	0.000	0.875	0.000	0.000	-1.000
2/3	1 (PP 1)	Trapez.	0.274 KN/m	0.240 KN/m	0.875	1.750	0.000	0.000	-1.000
2/3	1 (PP 1)	Faja	0.184 KN/m	-	1.750	7.041	0.000	0.000	-1.000



2/3	1 (PP 1)	Trapez.	0.240 KN/m	0.274 KN/m	7.041	7.291	0.000	0.000	-1.000
2/3	1 (PP 1)	Trapez.	0.274 KN/m	0.307 KN/m	7.291	7.541	0.000	0.000	-1.000
2/3	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
5/3	1 (PP 1)	Trapez.	0.307 KN/m	0.274 KN/m	0.000	0.875	0.000	0.000	-1.000
5/3	1 (PP 1)	Trapez.	0.274 KN/m	0.240 KN/m	0.875	1.750	0.000	0.000	-1.000
5/3	1 (PP 1)	Faja	0.184 KN/m	-	1.750	7.041	0.000	0.000	-1.000
5/3	1 (PP 1)	Trapez.	0.240 KN/m	0.274 KN/m	7.041	7.291	0.000	0.000	-1.000
5/3	1 (PP 1)	Trapez.	0.274 KN/m	0.307 KN/m	7.291	7.541	0.000	0.000	-1.000
5/3	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Trapez.	0.307 KN/m	0.274 KN/m	0.000	0.650	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Trapez.	0.274 KN/m	0.240 KN/m	0.650	1.300	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Faja	0.184 KN/m	-	1.300	3.900	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Trapez.	0.184 KN/m	0.274 KN/m	3.900	4.950	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Trapez.	0.274 KN/m	0.307 KN/m	4.950	6.000	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Uniforme	2.340 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
4/5	1 (PP 1)	Trapez.	0.307 KN/m	0.274 KN/m	0.000	0.650	0.000	0.000	-1.000
4/5	1 (PP 1)	Trapez.	0.274 KN/m	0.240 KN/m	0.650	1.300	0.000	0.000	-1.000
4/5	1 (PP 1)	Faja	0.184 KN/m	-	1.300	3.900	0.000	0.000	-1.000
4/5	1 (PP 1)	Trapez.	0.184 KN/m	0.274 KN/m	3.900	4.950	0.000	0.000	-1.000
4/5	1 (PP 1)	Trapez.	0.274 KN/m	0.307 KN/m	4.950	6.000	0.000	0.000	-1.000
4/5	1 (PP 1)	Uniforme	1.020 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000

2.7.- Desplazamientos

Nudos	Descripción	DESPLAZAMIENTOS (EJES GENERALES)					
		DX (m)	DY (m)	DZ (m)	GX (rad)	GY (rad)	GZ (rad)
1	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0142	0.0001	-0.0155	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0142	0.0001	-0.0155	0.0000	0.0000
3	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0282	-0.1369	0.0030	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0282	-0.1369	0.0030	0.0000	0.0000
4	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
5	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0426	-0.0002	0.0067	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0426	-0.0002	0.0067	0.0000	0.0000

El desplazamiento que se produce en la cumbrera como podemos ver en la tabla es de 13,69 cm. Este desplazamiento se debe a la flexión que se produce en las vigas.

2.8.- Reacciones

Nudos	Descripción	REACCIONES (EJES GENERALES)					
		RX (KN)	RY (KN)	RZ (KN)	MX (KN·m)	MY (KN·m)	MZ (KN·m)
1	Envolvente (Cim.equil.)	0.0000	5.3532	29.1734	-23.1116	0.0000	0.0000



1	Envolvente (Cim.tens.terr.)	0.0000	8.0297	43.7601	-15.4077	0.0000	0.0000
		0.0000	5.3532	29.1734	-15.4077	0.0000	0.0000
		0.0000	5.3532	29.1734	-15.4077	0.0000	0.0000
4	Envolvente (Cim.equil.)	0.0000	-38.2697	31.0628	61.7173	0.0000	0.0000
		0.0000	-25.5132	46.5942	92.5760	0.0000	0.0000
4	Envolvente (Cim.tens.terr.)	0.0000	-25.5132	31.0628	61.7173	0.0000	0.0000
		0.0000	-25.5132	31.0628	61.7173	0.0000	0.0000

2.9.- Tensiones

Barras	TENSIÓN MÁXIMA								
	TENS. ()	APROV. (%)	Pos. (m)	N (KN)	Vy (KN)	Vz (KN)	Mt (KN·m)	My (KN·m)	Mz (KN·m)
2/3	0.9026	90.26	6.512	-26.4602	0.0000	-1.2777	0.0000	37.5478	0.0000
5/3	0.9816	98.16	1.750	-30.2229	0.0000	-26.9842	0.0000	-40.8331	0.0000
1/2	0.7611	76.11	6.000	-38.3143	0.0000	-25.0070	0.0000	76.1775	0.0000
4/5	0.9770	97.70	1.300	-39.8975	0.0000	34.5380	0.0000	40.6421	0.0000

El pórtico que nos ocupa consta de cuatro barras, pero realmente a efectos de estudio solo vamos a describir la viga de la derecha y el pilar derecho ya que, según hemos aplicado la hipótesis de carga, son los que están soportando más tensión.

Como podemos apreciar en la tabla el grado de aprovechamiento del pilar y viga derecha es bastante alto 97,70% y 98,16% respectivamente, lo cual nos indica que el diseño utilizado es bastante bueno.

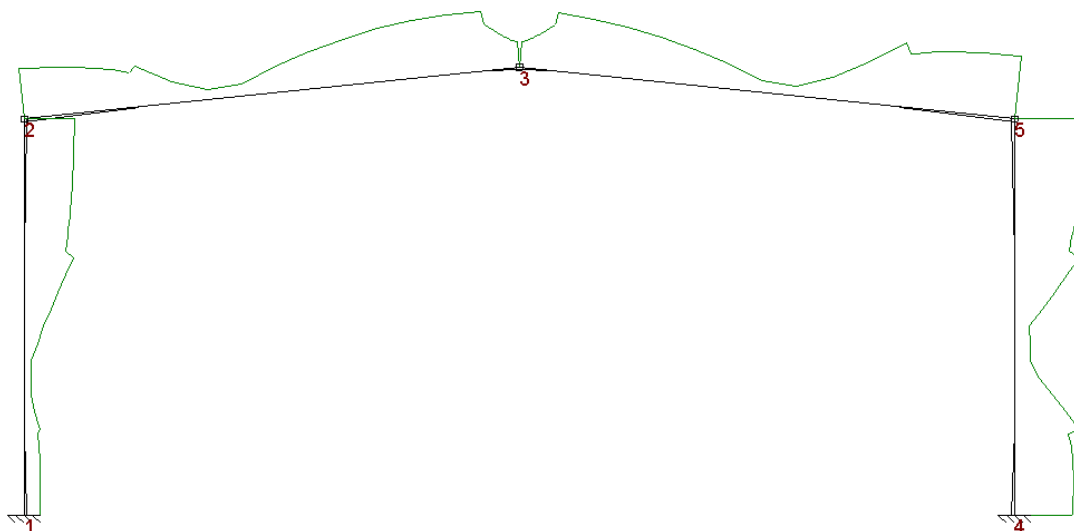


Diagrama de tensiones del pórtico.



Si nos fijamos ahora en el diagrama de tensiones vemos como este alto aprovechamiento de los perfiles se produce en las cercanías de los nudos, habiendo una zona tanto en el pilar como en la viga en la que este aprovechamiento disminuye considerablemente, pero al ser un perfil constante esta zona no se puede aprovechar más. Utilizando otros diseños como sección variable veremos que esta zona se disminuye de manera considerable.

A continuación vamos a describir lo que le ocurre al pilar y viga derecho en cuanto al grado de aprovechamiento del perfil.

El pilar tiene tres zonas bien diferenciadas, la primera junto al suelo tiene una longitud de unos 1,6 metros en la que las tensiones son bastante grandes, debido a esto se ha colocado la cartela reforzando esta zona, con una longitud de 1,30 metros. El aprovechamiento en esta zona está en torno al 98% en el punto acaba la cartela. En la zona intermedia del pilar de unos 2,5 metros de longitud, el aprovechamiento es del 22.30%. Por último, en la zona junto a la viga, el aprovechamiento vuelve a subir hasta el 97,4% manteniéndose casi constante en un tramo de 2 metros de longitud. Debido al aumento de la tensión hasta tal punto, ha sido necesaria la colocación de la cartela de 2,10 metros de longitud para reforzar esta zona.

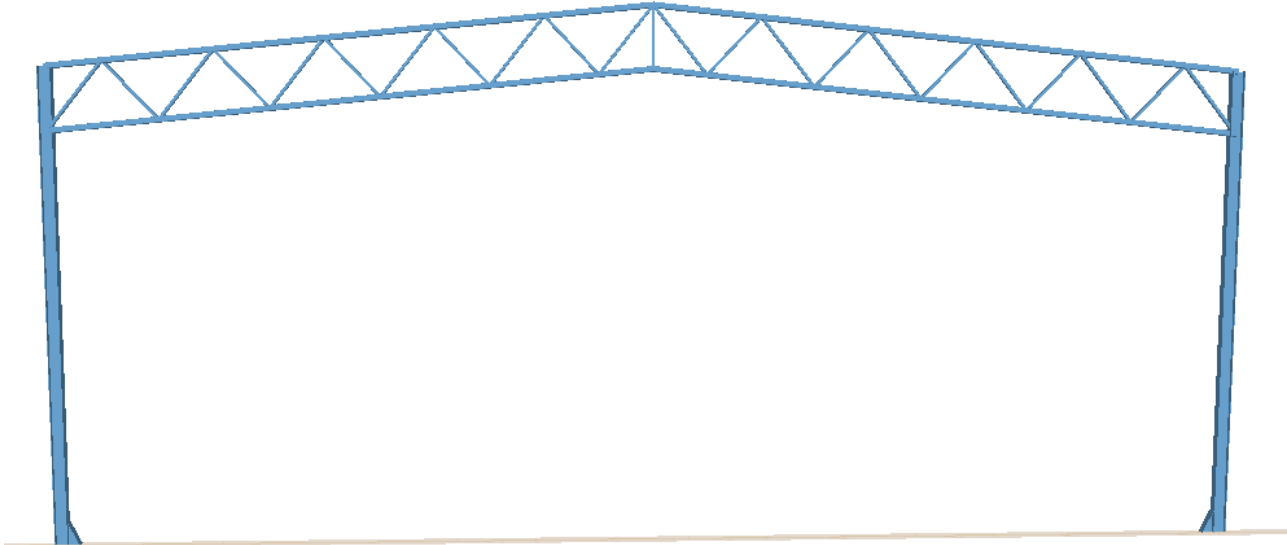
Para la viga la distribución de tensiones es bastante similar a la del pilar. La primera zona que está pegando a la cumbrera la tensión es ligeramente inferior a la que se produce junto al pilar, siendo el aprovechamiento para esta zona del 87,10%. La cartela colocada en dicha zona tiene una longitud de 0,5 metros, este refuerzo no le hace falta por cuestiones de tensión sino por reforzar una zona bastante delicada, debido a los desplazamientos que se producen en ella. La zona intermedia del perfil comprende unos 3,5 metros. En dicha zona la tensión que soporta el perfil es bastante inferior a la del resto del mismo, teniendo una pequeña zona con tan solo el 16% de aprovechamiento del perfil. El último tramo junto al pilar, el aprovechamiento como podemos apreciar es más alto y más uniforme a lo largo del perfil. Por tanto ha sido necesaria la colocación de una cartela con una longitud de 1,75 metros.



PÓRTICO VIGA DE CELOSÍA

PÓRTICO VIGA DE CELOSÍA 15 METROS DE LUZ

1. Descripción general del pórtico:



Interpretación real del pórtico

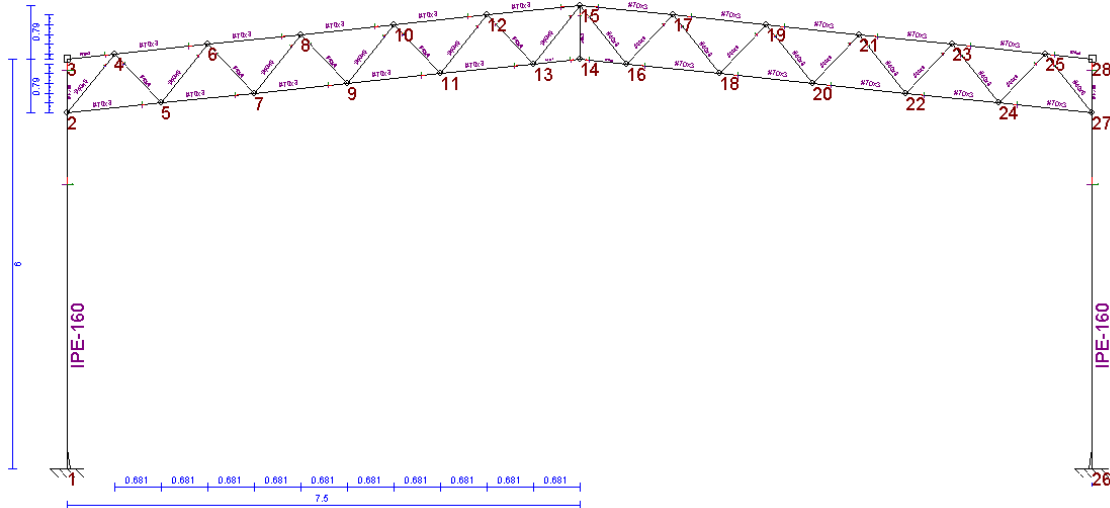
El pórtico que nos ocupa como ya sabemos tiene quince metros de luz, sus pilares son IPE con cartelas inferiores y la viga es una celosía como ya se ha descrito más arriba.

Para los pilares se ha utilizado una sección de IPE 160 mm, como podemos apreciar las cartelas inferiores son muy pequeñas, esto es debido al diseño que estamos utilizando. Como por cuestión de diseño los pilares no llevan cartelas superiores, las tensiones que están soportando en esa zona son muy grandes y por tanto necesita de esta sección de perfil para que el pilar aguante. Las tensiones que soporta el pilar sin cartelas en el inferior son ligeramente mayores que en la zona superior, pero en esta zona si podemos colocar cartelas que son las que podemos ver en la imagen superior, por la razón que acabo de comentar de que las tensiones en la parte inferior del pilar son mayores que en la parte superior, se han colocado estas pequeñas catelas en el inferior del pilar.

La viga como ya hemos comentado se ha solucionado con una celosía, ésta tiene una altura entre montantes de 0,79 m, dichos montantes están formados por perfiles cuadrados huecos de 70 mm de lado y 3 mm de espesor. Las diagonales están formadas por el mismo tipo de perfil pero con una sección inferior, 40 mm de lado y un espesor de 3 mm. La celosía está formada por un montante vertical en la cumbrera y veintidós diagonales, las cuales forman un ángulo con el montante inferior de 46°.



Pórtico Viga Celosía 15 Metros de Luz



Esquema de nudos, cotas y tipo de perfil.

En la imagen superior como podemos apreciar aparecen los nudos, cotas y perfiles utilizados, los cuales se describen a continuación:

2. Descripción de valores aportados por Cype

2.1 - Nudos

Nudos	Coordenadas (m)			Vínculos
	X	Y	Z	
1	0.000	0.000	0.000	Empotrado
2	0.000	0.000	5.210	Articulado
3	0.000	0.000	6.000	Empotrado
4	0.000	0.690	6.073	Articulado
5	0.000	1.371	5.354	Articulado
6	0.000	2.052	6.216	Articulado
7	0.000	2.733	5.498	Articulado
8	0.000	3.414	6.360	Articulado
9	0.000	4.095	5.641	Articulado
10	0.000	4.776	6.503	Articulado
11	0.000	5.457	5.785	Articulado
12	0.000	6.138	6.647	Articulado
13	0.000	6.819	5.928	Articulado
14	0.000	7.500	6.000	Articulado

Nudos	Coordenadas (m)			Vínculos
	X	Y	Z	
15	0.000	7.500	6.790	Articulado
16	0.000	8.181	5.928	Articulado
17	0.000	8.862	6.647	Articulado
18	0.000	9.543	5.785	Articulado
19	0.000	10.224	6.503	Articulado
20	0.000	10.905	5.641	Articulado
21	0.000	11.586	6.360	Articulado
22	0.000	12.267	5.498	Articulado
23	0.000	12.948	6.216	Articulado
24	0.000	13.629	5.354	Articulado
25	0.000	14.310	6.073	Articulado
26	0.000	15.000	0.000	Empotrado
27	0.000	15.000	5.210	Articulado
28	0.000	15.000	6.000	Empotrado

Hay un total de veintiocho nudos, los cuales se han considerado todos articulados salvo las vinculaciones exteriores que son empotramientos y las uniones entre celosía y pilar que se han considerado nudos rígidos.



2.2 - Barras: Características Mecánicas

Descripción	Inerc.Tor. cm ⁴	Inerc.y cm ⁴	Inerc.z cm ⁴	Sección cm ²
Acero, #40x3, Perfil simple (Huecos cuadrados)	15.619	8.817	8.817	4.097
Acero, #70x3, Perfil simple (Huecos cuadrados)	92.761	56.045	56.045	7.697
Acero, IPE-160, Simple con cartelas (IPE)	3.640	869.000	68.300	20.100

2.3.- Barras: Materiales Utilizados

Material	Mód.elást. (GPa)	Mód.el.trans. (GPa)	Lím.elás.\Fck (MPa)	Co.dilat. (m/m°C)	Peso espec. (KN/m ³)
Acero (S275)	206.01	79.23	275.00	1.2e-005	77.01

2.4.- Barras: Descripción

Barras	Material	Perfil	Peso (Kp)	Volume (m ³)	Longitu (m)
1/2	Acero	IPE-160 (IPE) + cart. sup. 0.300 m	84.49	0.011	5.21
2/3	Acero	IPE-160 (IPE)	12.47	0.002	0.79
2/4	Acero	#40x3 (Huecos cuadrados)	3.55	0.000	1.10
2/5	Acero	#70x3 (Huecos cuadrados)	8.33	0.001	1.38
3/4	Acero	#70x3 (Huecos cuadrados)	4.19	0.001	0.69
5/4	Acero	#40x3 (Huecos cuadrados)	3.18	0.000	0.99
4/6	Acero	#70x3 (Huecos cuadrados)	8.28	0.001	1.37
5/6	Acero	#40x3 (Huecos cuadrados)	3.53	0.000	1.10
5/7	Acero	#70x3 (Huecos cuadrados)	8.28	0.001	1.37
7/6	Acero	#40x3 (Huecos cuadrados)	3.18	0.000	0.99
6/8	Acero	#70x3 (Huecos cuadrados)	8.28	0.001	1.37
7/8	Acero	#40x3 (Huecos cuadrados)	3.53	0.000	1.10
7/9	Acero	#70x3 (Huecos cuadrados)	8.28	0.001	1.37
9/8	Acero	#40x3 (Huecos cuadrados)	3.18	0.000	0.99
8/10	Acero	#70x3 (Huecos cuadrados)	8.28	0.001	1.37
9/10	Acero	#40x3 (Huecos cuadrados)	3.53	0.000	1.10
9/11	Acero	#70x3 (Huecos cuadrados)	8.28	0.001	1.37
11/10	Acero	#40x3 (Huecos cuadrados)	3.18	0.000	0.99
10/12	Acero	#70x3 (Huecos cuadrados)	8.28	0.001	1.37
11/12	Acero	#40x3 (Huecos cuadrados)	3.53	0.000	1.10
11/13	Acero	#70x3 (Huecos cuadrados)	8.28	0.001	1.37
13/12	Acero	#40x3 (Huecos cuadrados)	3.18	0.000	0.99
12/15	Acero	#70x3 (Huecos cuadrados)	8.28	0.001	1.37
13/14	Acero	#70x3 (Huecos cuadrados)	4.14	0.001	0.68
13/15	Acero	#40x3 (Huecos cuadrados)	3.53	0.000	1.10
14/15	Acero	#40x3 (Huecos cuadrados)	2.54	0.000	0.79
16/14	Acero	#70x3 (Huecos cuadrados)	4.14	0.001	0.68
16/15	Acero	#40x3 (Huecos cuadrados)	3.53	0.000	1.10
17/15	Acero	#70x3 (Huecos cuadrados)	8.28	0.001	1.37
16/17	Acero	#40x3 (Huecos cuadrados)	3.18	0.000	0.99
18/16	Acero	#70x3 (Huecos cuadrados)	8.28	0.001	1.37
18/17	Acero	#40x3 (Huecos cuadrados)	3.53	0.000	1.10
19/17	Acero	#70x3 (Huecos cuadrados)	8.28	0.001	1.37
18/19	Acero	#40x3 (Huecos cuadrados)	3.18	0.000	0.99
20/18	Acero	#70x3 (Huecos cuadrados)	8.28	0.001	1.37
20/19	Acero	#40x3 (Huecos cuadrados)	3.53	0.000	1.10
21/19	Acero	#70x3 (Huecos cuadrados)	8.28	0.001	1.37



Pórtico Viga Celosía 15 Metros de Luz

20/21	Acero	#40x3 (Huecos cuadrados)	3.18	0.000	0.99
22/20	Acero	#70x3 (Huecos cuadrados)	8.28	0.001	1.37
22/21	Acero	#40x3 (Huecos cuadrados)	3.53	0.000	1.10
23/21	Acero	#70x3 (Huecos cuadrados)	8.28	0.001	1.37
22/23	Acero	#40x3 (Huecos cuadrados)	3.18	0.000	0.99
24/22	Acero	#70x3 (Huecos cuadrados)	8.28	0.001	1.37
24/23	Acero	#40x3 (Huecos cuadrados)	3.53	0.000	1.10
25/23	Acero	#70x3 (Huecos cuadrados)	8.28	0.001	1.37
24/25	Acero	#40x3 (Huecos cuadrados)	3.18	0.000	0.99
27/24	Acero	#70x3 (Huecos cuadrados)	8.33	0.001	1.38
27/25	Acero	#40x3 (Huecos cuadrados)	3.55	0.000	1.10
28/25	Acero	#70x3 (Huecos cuadrados)	4.19	0.001	0.69
26/27	Acero	IPE-160 (IPE) + cart. inf. 0.300 m	84.49	0.011	5.21
27/28	Acero	IPE-160 (IPE)	12.47	0.002	0.79

2.5.- Barras: Resumen Medición (Acero)

Descripción			Peso (Kp)			Longitud (m)		
			Perfil	Serie	Acero	Perfil	Serie	Acero
Acero (S275)	Huecos cuadrados	#40x3, Perfil simple	76.74			23.89		
		#70x3, Perfil simple	182.36			30.16		
				259.10			54.05	
	IPE	IPE-160, Simple con c...	193.92			12.00		
				193.92			12.00	
					453.02			66.05
					453.02			66.05

Como podemos apreciar en la tabla, el peso total de la estructura es de 453,02 Kg, dicho peso es el menor de entre todas las tipologías estudiadas. Esta reducción de peso se debe en gran medida al uso de la viga de celosía obteniendo así un pórtico más ligero.

2.6.- Cargas (Nudos)

Nudos	Hipót.	Tipo	Cargas				Dirección		
			P1	P2	L1 (m)	L2 (m)	X	Y	Z
3	1 (PP 1)	Puntual	2.250 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
4	1 (PP 1)	Puntual	4.500 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
6	1 (PP 1)	Puntual	4.500 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
8	1 (PP 1)	Puntual	4.500 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
10	1 (PP 1)	Puntual	4.500 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
12	1 (PP 1)	Puntual	4.500 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
15	1 (PP 1)	Puntual	4.500 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
17	1 (PP 1)	Puntual	4.500 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
19	1 (PP 1)	Puntual	4.500 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
21	1 (PP 1)	Puntual	4.500 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
23	1 (PP 1)	Puntual	4.500 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
25	1 (PP 1)	Puntual	4.500 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
28	1 (PP 1)	Puntual	2.250 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000

En la tabla superior podemos apreciar como se ha distribuido la carga calculada al principio en la celosía y en la tabla que hay a continuación se



detalla las cargas debidas al peso propio de la estructura que nos ha generado el programa.

2.7.- Cargas (Barras)

Barras	Hipót.	Tipo	Cargas				Dirección		
			P1	P2	L1 (m)	L2 (m)	X	Y	Z
14/15	1 (PP 1)	Uniforme	0.032 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
16/15	1 (PP 1)	Uniforme	0.032 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
13/15	1 (PP 1)	Uniforme	0.032 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
16/17	1 (PP 1)	Uniforme	0.032 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
13/12	1 (PP 1)	Uniforme	0.032 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
18/17	1 (PP 1)	Uniforme	0.032 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
11/12	1 (PP 1)	Uniforme	0.032 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
18/19	1 (PP 1)	Uniforme	0.032 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
11/10	1 (PP 1)	Uniforme	0.032 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
20/19	1 (PP 1)	Uniforme	0.032 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
9/10	1 (PP 1)	Uniforme	0.032 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
20/21	1 (PP 1)	Uniforme	0.032 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
9/8	1 (PP 1)	Uniforme	0.032 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
22/21	1 (PP 1)	Uniforme	0.032 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
7/8	1 (PP 1)	Uniforme	0.032 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
22/23	1 (PP 1)	Uniforme	0.032 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
7/6	1 (PP 1)	Uniforme	0.032 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
24/23	1 (PP 1)	Uniforme	0.032 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
5/6	1 (PP 1)	Uniforme	0.032 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
24/25	1 (PP 1)	Uniforme	0.032 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
5/4	1 (PP 1)	Uniforme	0.032 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
27/25	1 (PP 1)	Uniforme	0.032 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
2/4	1 (PP 1)	Uniforme	0.032 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
13/14	1 (PP 1)	Uniforme	0.059 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
12/15	1 (PP 1)	Uniforme	0.059 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
16/14	1 (PP 1)	Uniforme	0.059 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
11/13	1 (PP 1)	Uniforme	0.059 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
17/15	1 (PP 1)	Uniforme	0.059 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
10/12	1 (PP 1)	Uniforme	0.059 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
18/16	1 (PP 1)	Uniforme	0.059 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
9/11	1 (PP 1)	Uniforme	0.059 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
19/17	1 (PP 1)	Uniforme	0.059 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
8/10	1 (PP 1)	Uniforme	0.059 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
20/18	1 (PP 1)	Uniforme	0.059 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
7/9	1 (PP 1)	Uniforme	0.059 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
21/19	1 (PP 1)	Uniforme	0.059 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
6/8	1 (PP 1)	Uniforme	0.059 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
22/20	1 (PP 1)	Uniforme	0.059 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
5/7	1 (PP 1)	Uniforme	0.059 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
23/21	1 (PP 1)	Uniforme	0.059 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
4/6	1 (PP 1)	Uniforme	0.059 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
24/22	1 (PP 1)	Uniforme	0.059 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
3/4	1 (PP 1)	Uniforme	0.059 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
25/23	1 (PP 1)	Uniforme	0.059 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000



Pórtico Viga Celosía 15 Metros de Luz

2/5	1 (PP 1)	Uniforme	0.059 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
27/24	1 (PP 1)	Uniforme	0.059 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
28/25	1 (PP 1)	Uniforme	0.059 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
2/3	1 (PP 1)	Uniforme	0.155 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
2/3	1 (PP 1)	Uniforme	2.340 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
26/27	1 (PP 1)	Trapez.	0.257 KN/m	0.229 KN/m	0.000	0.150	0.000	0.000	-1.000
26/27	1 (PP 1)	Trapez.	0.229 KN/m	0.202 KN/m	0.150	0.300	0.000	0.000	-1.000
26/27	1 (PP 1)	Faja	0.155 KN/m	-	0.300	5.210	0.000	0.000	-1.000
26/27	1 (PP 1)	Uniforme	1.020 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
1/2	1 (PP 1)	Trapez.	0.257 KN/m	0.229 KN/m	0.000	0.150	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Trapez.	0.229 KN/m	0.202 KN/m	0.150	0.300	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Faja	0.155 KN/m	-	0.300	5.210	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Uniforme	2.340 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
27/28	1 (PP 1)	Uniforme	0.155 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
27/28	1 (PP 1)	Uniforme	1.020 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000

2.8.- Desplazamientos

Los desplazamientos que se producen normalmente en una celosía son muy pequeños y no va a ser este caso una excepción. En los demás pórticos estudiados los desplazamientos que se producen en la cumbrera son bastante mayores que en el caso que nos ocupa, siendo este de 4,11 cm.

2.9.- Reacciones

Nudos	Descripción	REACCIONES (EJES GENERALES)					
		RX (KN)	RY (KN)	RZ (KN)	MX (KN·m)	MY (KN·m)	MZ (KN·m)
1	Envolvente (Cim.equil.)	0.0000	-12.7723	27.8645	15.0220	0.0000	0.0000
		0.0000	-8.5149	41.7968	22.5330	0.0000	0.0000
1	Envolvente (Cim.tens.terr.)	0.0000	-8.5149	27.8645	15.0220	0.0000	0.0000
		0.0000	-8.5149	27.8645	15.0220	0.0000	0.0000
26	Envolvente (Cim.equil.)	0.0000	-17.4677	30.5793	25.0970	0.0000	0.0000
		0.0000	-11.6451	45.8690	37.6455	0.0000	0.0000
26	Envolvente (Cim.tens.terr.)	0.0000	-11.6451	30.5793	25.0970	0.0000	0.0000
		0.0000	-11.6451	30.5793	25.0970	0.0000	0.0000



2.10.-Tensiones

Barras	TENSION MÁXIMA								
	TENS. ()	APROV. (%)	Pos. (m)	N (KN)	Vy (KN)	Vz (KN)	Mt (KN·m)	My (KN·m)	Mz (KN·m)
14/15	0.2812	28.12	0.790	28.8020	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
16/15	0.0972	9.72	0.549	-6.6191	0.0000	0.0000	0.0000	0.0040	0.0000
13/15	0.0248	2.48	0.549	-1.5553	0.0000	0.0000	0.0000	0.0040	0.0000
16/17	0.0561	5.61	0.990	5.7480	0.0000	0.0145	0.0000	0.0000	0.0000
13/12	0.0115	1.15	0.990	1.1733	0.0000	0.0145	0.0000	0.0000	0.0000
18/17	0.2110	21.10	0.549	-14.5836	0.0000	0.0000	0.0000	0.0040	0.0000
11/12	0.1384	13.84	0.549	-9.5058	0.0000	0.0000	0.0000	0.0040	0.0000
18/19	0.1297	12.97	0.990	13.2824	0.0000	0.0145	0.0000	0.0000	0.0000
11/10	0.0851	8.51	0.990	8.7127	0.0000	0.0145	0.0000	0.0000	0.0000
20/19	0.3381	33.81	0.549	-23.4723	0.0000	0.0000	0.0000	0.0040	0.0000
9/10	0.2657	26.57	0.549	-18.4096	0.0000	0.0000	0.0000	0.0040	0.0000
20/21	0.2085	20.85	0.990	21.3606	0.0000	0.0145	0.0000	0.0000	0.0000
9/8	0.1639	16.39	0.990	16.7922	0.0000	0.0145	0.0000	0.0000	0.0000
22/21	0.4638	46.38	0.549	-32.2799	0.0000	0.0000	0.0000	0.0040	0.0000
7/8	0.3910	39.10	0.549	-27.1777	0.0000	0.0000	0.0000	0.0040	0.0000
22/23	0.2855	28.55	0.990	29.2492	0.0000	0.0145	0.0000	0.0000	0.0000
7/6	0.2409	24.09	0.990	24.6717	0.0000	0.0145	0.0000	0.0000	0.0000
24/23	0.5903	59.03	0.549	-41.1599	0.0000	0.0000	0.0000	0.0040	0.0000
5/6	0.5198	51.98	0.549	-36.2079	0.0000	0.0000	0.0000	0.0040	0.0000
24/25	0.3650	36.50	0.990	37.3869	0.0000	0.0145	0.0000	0.0000	0.0000
5/4	0.3206	32.06	0.990	32.8358	0.0000	0.0145	0.0000	0.0000	0.0000
27/25	0.7226	72.26	0.552	-50.2024	0.0000	0.0000	0.0000	0.0041	0.0000
2/4	0.6305	63.05	0.552	-43.7712	0.0000	0.0000	0.0000	0.0041	0.0000
13/14	0.6959	69.59	0.685	133.9218	0.0000	0.3645	0.0000	0.0000	0.0000
12/15	0.9599	95.99	0.000	-140.3947	0.0000	0.1820	0.0000	0.3239	0.0000
16/14	0.6959	69.59	0.685	133.9203	0.0000	0.3503	0.0000	0.0000	0.0000
11/13	0.6866	68.66	1.370	132.1201	0.0000	0.0725	0.0000	0.2310	0.0000
17/15	0.9370	93.70	0.000	-137.2386	0.0000	0.1736	0.0000	0.3123	0.0000
10/12	0.9186	91.86	1.370	-133.6887	0.0000	-0.0234	0.0000	0.3239	0.0000
18/16	0.6537	65.37	1.370	125.7977	0.0000	0.0673	0.0000	0.2212	0.0000
9/11	0.6245	62.45	1.370	120.1713	0.0000	0.0233	0.0000	0.2556	0.0000
19/17	0.8568	85.68	1.370	-124.2018	0.0000	-0.0308	0.0000	0.3123	0.0000
8/10	0.7833	78.33	0.856	-116.1908	0.0000	0.0058	0.0000	0.2307	0.0000
20/18	0.5587	55.87	1.370	107.5211	0.0000	0.0132	0.0000	0.2387	0.0000
7/9	0.5045	50.45	1.370	97.0863	0.0000	0.0184	0.0000	0.2129	0.0000
21/19	0.6776	67.76	1.027	-100.3852	0.0000	0.0061	0.0000	0.2022	0.0000
6/8	0.5983	59.83	1.370	-87.6430	0.0000	-0.0244	0.0000	0.2066	0.0000
22/20	0.4060	40.60	1.370	78.1196	0.0000	0.0131	0.0000	0.1822	0.0000
5/7	0.3278	32.78	1.370	63.0816	0.0000	-0.0041	0.0000	0.1634	0.0000
23/21	0.4469	44.69	1.370	-65.4948	0.0000	-0.0143	0.0000	0.1665	0.0000
4/6	0.3381	33.81	0.000	-48.0081	0.0000	0.0004	0.0000	0.1737	0.0000
24/22	0.1963	19.63	1.370	37.7653	0.0000	-0.0255	0.0000	0.1255	0.0000
3/4	0.1077	10.77	0.000	2.0778	0.0000	-1.0622	0.0000	-0.5441	0.0000
25/23	0.1375	13.75	1.027	-19.6066	0.0000	0.0010	0.0000	0.0773	0.0000
2/5	0.0925	9.25	1.379	17.8010	0.0000	-0.0055	0.0000	0.0832	0.0000
27/24	0.0906	9.06	0.862	-13.7482	0.0000	0.0022	0.0000	0.0277	0.0000
28/25	0.1963	19.63	0.694	37.7656	0.0000	-0.1266	0.0000	0.0364	0.0000



Pórtico Viga Celosía 15 Metros de Luz

2/3	0.1050	10.50	0.000	-4.0412	0.0000	4.6732	0.0000	3.2502	0.0000
26/27	0.9703	97.03	0.300	-37.8853	0.0000	22.2616	0.0000	30.0305	0.0000
1/2	0.5247	52.47	0.300	-38.7891	0.0000	3.8364	0.0000	16.2406	0.0000
27/28	0.9474	94.74	0.000	0.5720	0.0000	-36.4833	0.0000	-29.3221	0.0000

Como podemos apreciar en el pórtico de la imagen, los montantes tanto superior como inferior, son los que más tensión están soportando. En el montante superior el aprovechamiento máximo se produce en la cumbrera siendo este del 96%, conforme nos vamos acercando al pilar la tensión a la que está sometido el perfil va disminuyendo hasta tener el 33,80% de aprovechamiento del mismo. En el montante inferior la distribución de tensiones es similar al montante superior. En este caso el aprovechamiento máximo es del 68,70%.

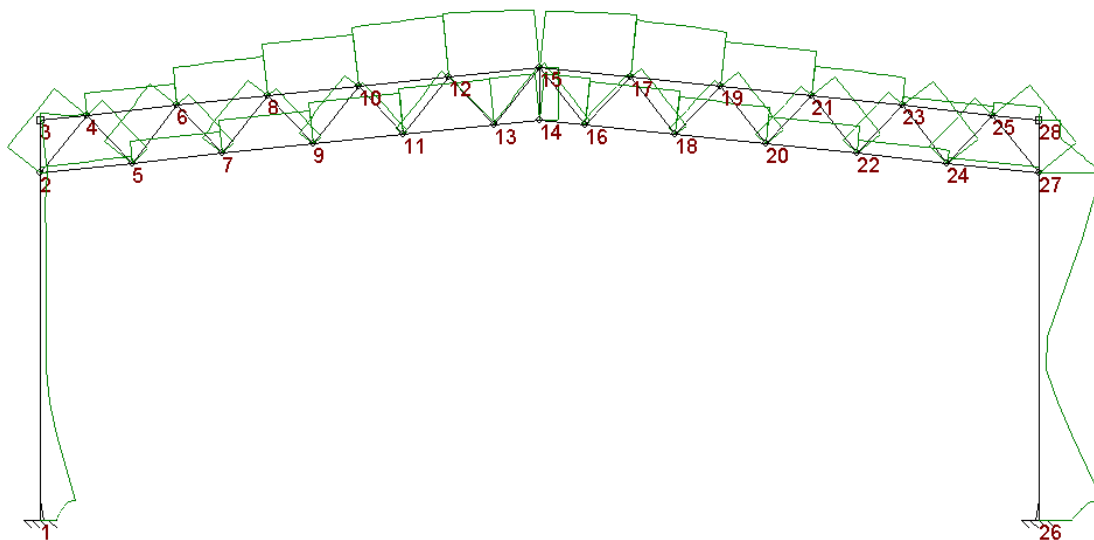


Diagrama de tensiones del pórtico.

El aprovechamiento de las diagonales de la celosía es bastante diverso aunque este se distribuye de manera uniforme.

Las diagonales (2-4), (5-6), (7-8) y las simétricas son las mejor aprovechadas con un 63,10%. Para las demás diagonales se ha utilizado el mismo perfil ya que no existe en la serie otro más pequeño y debido a esto el aprovechamiento del mismo disminuye bastante estando entre el 21% y el 28%, conforme vallamos aumentando la luz del pórtico veremos como el aprovechamiento de estos perfiles irán aumentando.

A continuación vamos a describir lo que le ocurre al pilar derecho en cuanto a las tensiones. Si nos fijamos en la imagen anterior el pilar tiene tres zonas bien diferenciadas: inferior, central y superior. La zona inferior es la más



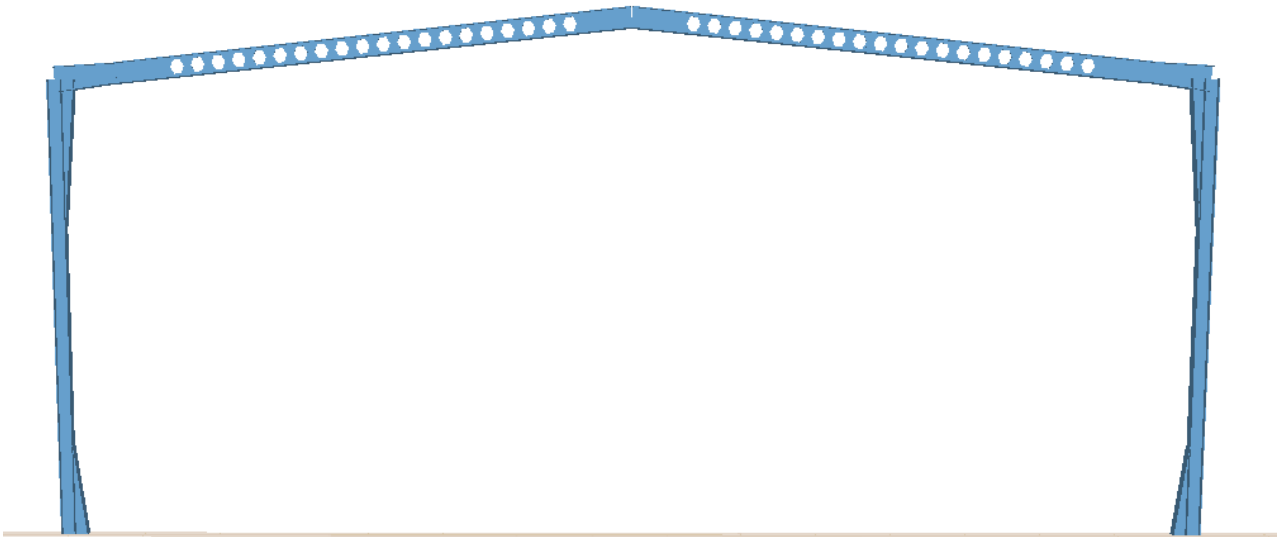
desfavorable, debido al empotramiento, teniendo un pico de tensión bastante alto que nos ha obligado a colocar las cartelas inferiores, dicho pico está aprovechado en un 97%. La zona central o intermedia de pilar, tiene un aprovechamiento del 12%, el cual es un valor bajísimo, pero que en este diseño de pórtico no podemos corregir ya que no colocamos cartelas en la parte superior de dicho pilar por cuestiones de diseño que ya se han explicado. Así el cálculo del pilar se ha realizado en función de la tensión que aguanta el pilar en la zona superior, ya que ésta no la podemos reducir, teniendo éste un aprovechamiento del 94,7%.



PÓRTICO VIGA VOID

PÓRTICO VIGA VOID 15 METROS DE LUZ

1. Descripción general del pórtico:



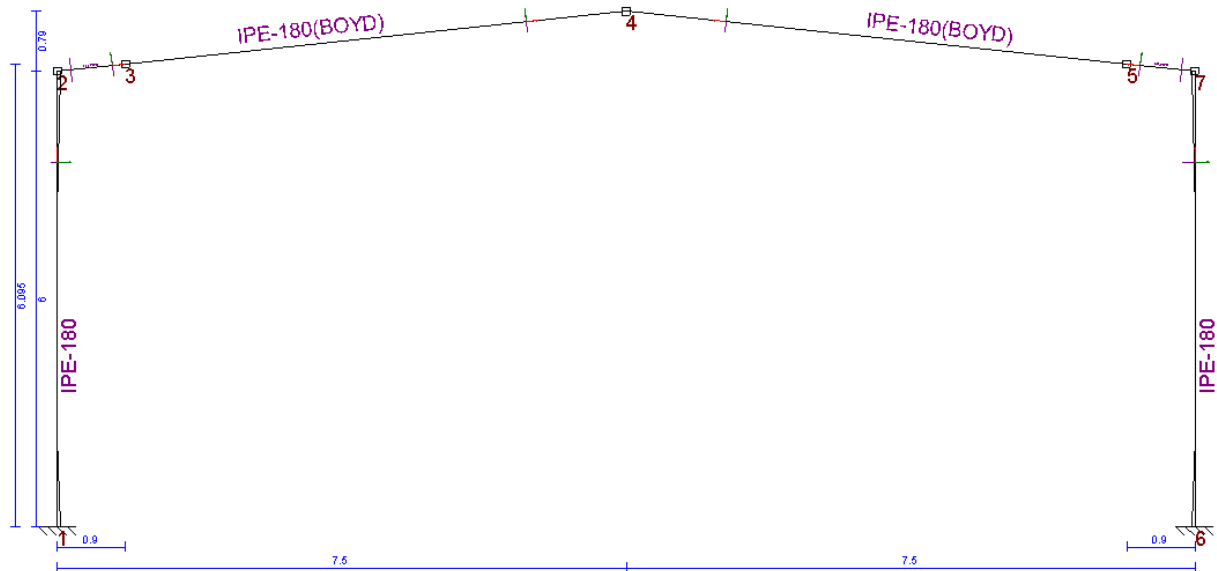
Interpretación real del pórtico

El pórtico que nos ocupa tiene 15 metros de luz y está formado por perfiles IPE de 180 mm. de alma, cuyo dintel es de tipo VOID también con perfil IPE de 180 mm. Los pilares están reforzados en su parte inferior y superior por cartelas. Las cartelas inferiores tienen una longitud de 1,20 metros y las superiores 1,90 metros. El hecho de colocar unas cartelas tan grandes es para conseguir un mayor aprovechamiento del perfil utilizando una sección de perfil menor.

El diseño del dintel empezando de izquierda a derecha es el siguiente: empezamos colocando un perfil de sección variable, seguido de viga VOID con perfil IPE y el otro agua igual, viga VOID y último tramo con sección variable. Los tramos de sección variable los describimos a continuación: la unión con el pilar tiene un canto de 330 mm y junto a la viga de 260 mm que coincide con el alma de la viga utilizada posteriormente para que se pueda unir a ella con la mayor facilidad. El alma tiene un espesor de 5 mm. y el ala tiene 8 mm. de espesor. Este espesor se ha elegido lo más próximo al perfil IPE que se ha utilizado en la viga, debido a que nos tenemos que regir por espesores comerciales. La longitud de dicho perfil es de 0,9 metros. Los tramos VOID para esta luz se han diseñado de la siguiente manera: el perfil que se ha utilizado como ya hemos dicho es un IPE 180 mm., el cual se convierte al hacerlo VOID en un perfil que tiene 260 mm. de alma. Para este pórtico se le han rellenado dos huecos en origen y dos más en la cumbrera de cada viga, adecuándonos de esta manera a lo solicitado en el diagrama de tensiones que se comentará más adelante.



A continuación mostramos un esquema del pórtico donde se detallan los nudos, perfiles utilizados y las cotas del mismo.



Esquema de nudos, cotas y tipo de perfil.

2. Descripción de valores aportados por Cype

Ahora se detallan los datos que nos aporta el programa en forma de tablas que describiremos a continuación:

2.1 - Nudos

Nudos	Coordenadas (m)			Vínculos
	X	Y	Z	
1	0.000	0.000	0.000	Empotrado
2	0.000	0.000	6.000	Empotrado
3	0.000	0.900	6.095	Empotrado
4	0.000	7.500	6.790	Empotrado
5	0.000	14.100	6.095	Empotrado
6	0.000	15.000	0.000	Empotrado
7	0.000	15.000	6.000	Empotrado



2.2 - Barras: Características Mecánicas

Descripción	Inerc.Tor. cm4	Inerc.y cm4	Inerc.z cm4	Sección cm2
Acero, Sección Variable, Perfil simple + Separación 314/244 mm	4.269	3903.910	100.767	28.510
Acero, IPE-180, Simple con cartelas (IPE)	5.060	1320.000	101.000	23.900
Acero, IPE-180, Boyd (alma aligerada) (IPE) H: 270.0 mm, S: 270.0 mm, macizados (2, 2)	5.060	3013.149	100.568	23.900

2.3.- Barras: Materiales Utilizados

Material	Mód.elást. (GPa)	Mód.el.trans. (GPa)	Lím.elás.\Fck (MPa)	Co.dilat. (m/m°C)	Peso espec. (KN/m3)
Acero (S275)	206.01	79.23	275.00	1.2e-005	77.01

2.4.- Barras: Descripción

Barras	Material	Perfil	Peso (Kp)	Volumen (m3)	Longitud (m)
1/2	Acero (S275)	IPE-180 (IPE) + carts. sup. 1.200 m y 1.900 m	140.85	0.018	6.00
2/3	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 314/244 mm	20.26	0.003	0.91
3/4	Acero (S275)	IPE-180(BOYD) (IPE) H: 270.0 mm, S: 270.0 mm, macizados (2, 2)	127.93	0.016	6.64
5/4	Acero (S275)	IPE-180(BOYD) (IPE) H: 270.0 mm, S: 270.0 mm, macizados (2, 2)	127.93	0.016	6.64
7/5	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 314/244 mm	20.26	0.003	0.91
6/7	Acero (S275)	IPE-180 (IPE) + carts. inf. 1.200 m y 1.900 m	140.85	0.018	6.00

2.5.- Barras: Resumen Medición (Acero)

Descripción			Peso (Kp)			Longitud (m)		
			Perfil	Serie	Acero	Perfil	Serie	Acero
Acero (S275)	Sección	Sección Variable, Perfil	40.52			1.82		
		IPE-180, Simple con c...	281.70	40.52		12.00	1.82	
	IPE	IPE-180, Boyd (alma a...	255.86	281.70		13.28	12.00	
				255.86			13.28	
	IPE				578.08			27.10
					578.08			27.10

Como podemos apreciar en la tabla, el utilizar la viga VOID hace que se aligere bastante la estructura teniendo un peso total de la misma de 578,08 Kg.



2.6.- Cargas (Barras)

Barras	Hipót.	Tipo	Cargas				Dirección		
			P1	P2	L1 (m)	L2 (m)	X	Y	Z
2/3	1 (PP 1)	Trapez.	0.233 KN/m	0.206 KN/m	0.000	0.905	0.000	0.000	-1.000
2/3	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
7/5	1 (PP 1)	Trapez.	0.233 KN/m	0.206 KN/m	0.000	0.905	0.000	0.000	-1.000
7/5	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Trapez.	0.307 KN/m	0.274 KN/m	0.000	0.600	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Trapez.	0.274 KN/m	0.240 KN/m	0.600	1.200	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Faja	0.184 KN/m	-	1.200	4.100	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Trapez.	0.240 KN/m	0.274 KN/m	4.100	5.050	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Trapez.	0.274 KN/m	0.307 KN/m	5.050	6.000	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Uniforme	2.340 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
6/7	1 (PP 1)	Trapez.	0.307 KN/m	0.274 KN/m	0.000	0.600	0.000	0.000	-1.000
6/7	1 (PP 1)	Trapez.	0.274 KN/m	0.240 KN/m	0.600	1.200	0.000	0.000	-1.000
6/7	1 (PP 1)	Faja	0.184 KN/m	-	1.200	4.100	0.000	0.000	-1.000
6/7	1 (PP 1)	Trapez.	0.240 KN/m	0.274 KN/m	4.100	5.050	0.000	0.000	-1.000
6/7	1 (PP 1)	Trapez.	0.274 KN/m	0.307 KN/m	5.050	6.000	0.000	0.000	-1.000
6/7	1 (PP 1)	Uniforme	1.020 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
3/4	1 (PP 1)	Faja	0.216 KN/m	-	0.000	0.528	0.000	0.000	-1.000
3/4	1 (PP 1)	Faja	0.184 KN/m	-	0.528	6.108	0.000	0.000	-1.000
3/4	1 (PP 1)	Faja	0.216 KN/m	-	6.108	6.636	0.000	0.000	-1.000
3/4	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
5/4	1 (PP 1)	Faja	0.216 KN/m	-	0.000	0.528	0.000	0.000	-1.000
5/4	1 (PP 1)	Faja	0.184 KN/m	-	0.528	6.108	0.000	0.000	-1.000
5/4	1 (PP 1)	Faja	0.216 KN/m	-	6.108	6.636	0.000	0.000	-1.000
5/4	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000

2.7.- Desplazamientos

Nudos	Descripción	DESPLAZAMIENTOS (EJES GENERALES)					
		DX (m)	DY (m)	DZ (m)	GX (rad)	GY (rad)	GZ (rad)
1	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0139	0.0002	-0.0136	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0139	0.0002	-0.0136	0.0000	0.0000
3	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0154	-0.0142	-0.0179	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0154	-0.0142	-0.0179	0.0000	0.0000
4	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0250	-0.1071	0.0016	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0250	-0.1071	0.0016	0.0000	0.0000
5	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0350	-0.0097	0.0135	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0350	-0.0097	0.0135	0.0000	0.0000
6	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
7	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0360	0.0000	0.0075	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0360	0.0000	0.0075	0.0000	0.0000

El desplazamiento vertical que se produce en la cumbrera es de 10,71



cm, como podemos apreciar en la tabla.

2.8.- Reacciones

Nudos	Descripción	REACCIONES (EJES GENERALES)					
		RX (KN)	RY (KN)	RZ (KN)	MX (KN·m)	MY (KN·m)	MZ (KN·m)
1	Envolvente (Cim.equil.)	0.0000	2.8652	28.9128	-15.0068	0.0000	0.0000
		0.0000	4.2978	43.3692	-10.0045	0.0000	0.0000
1	Envolvente (Cim.tens.terr.)	0.0000	2.8652	28.9128	-10.0045	0.0000	0.0000
		0.0000	2.8652	28.9128	-10.0045	0.0000	0.0000
6	Envolvente (Cim.equil.)	0.0000	-34.5378	31.0570	54.4028	0.0000	0.0000
		0.0000	-23.0252	46.5855	81.6042	0.0000	0.0000
6	Envolvente (Cim.tens.terr.)	0.0000	-23.0252	31.0570	54.4028	0.0000	0.0000
		0.0000	-23.0252	31.0570	54.4028	0.0000	0.0000

2.9.-Tensiones

Barras	TENSION MÁXIMA								
	TENS. ()	APROV. (%)	Pos. (m)	N (KN)	Vy (KN)	Vz (KN)	Mt (KN·m)	My (KN·m)	Mz (KN·m)
2/3	0.7436	74.36	0.000	-26.5974	0.0000	-34.5657	0.0000	-66.4865	0.0000
7/5	0.9864	98.64	0.000	-26.9013	0.0000	-37.4445	0.0000	-88.1968	0.0000
1/2	0.6739	67.39	4.100	-37.8685	0.0000	-16.8199	0.0000	28.0334	0.0000
6/7	0.9974	99.74	4.100	-40.7632	0.0000	25.4383	0.0000	-41.4927	0.0000
3/4	0.9284	92.84	5.550	-23.1285	0.0000	-1.7116	0.0000	50.4502	0.0000
5/4	0.9739	97.39	0.528	-26.1183	0.0000	-30.1041	0.0000	-39.7949	0.0000

La descripción de las tensiones para este pórtico se reduce a la descripción del pilar y viga derecha del mismo, ya que en estas zonas es donde se producen las mayores tensiones. Vamos a empezar comentando el pilar: como ya sabemos, dicho pilar está formado por IPE 180mm reforzado con cartela inferior de 1,2 metros de longitud y cartela superior de 1,90 metros de longitud. Las tensiones en el pilar están distribuidas de manera que quedan tres zonas bien diferenciadas. En la primera zona junto al suelo las tensiones son bastante altas y por eso el hecho de colocar cartelas para que el perfil sea capaz de aguantar dicha tensión quedando éste aprovechado en un 91,50%. La zona intermedia tiene una longitud aproximada de 2,00 metros, en la cual el aprovechamiento del perfil es del 35%, esta zona se ha reducido en longitud comparada con la luz estudiada anteriormente. Por último en el pilar tenemos una zona junto a la viga en la que el aprovechamiento es el mayor de todo el pilar, alcanzando éste el 99,74%. Como podemos apreciar en el diagrama de tensiones, en esta zona la distribución de tensiones es bastante uniforme cubriendo una zona muy amplia, debido a esto se ha elegido la cartela correspondiente, la cual se ha descrito anteriormente.



Pórtico Viga Void 15 Metros de Luz

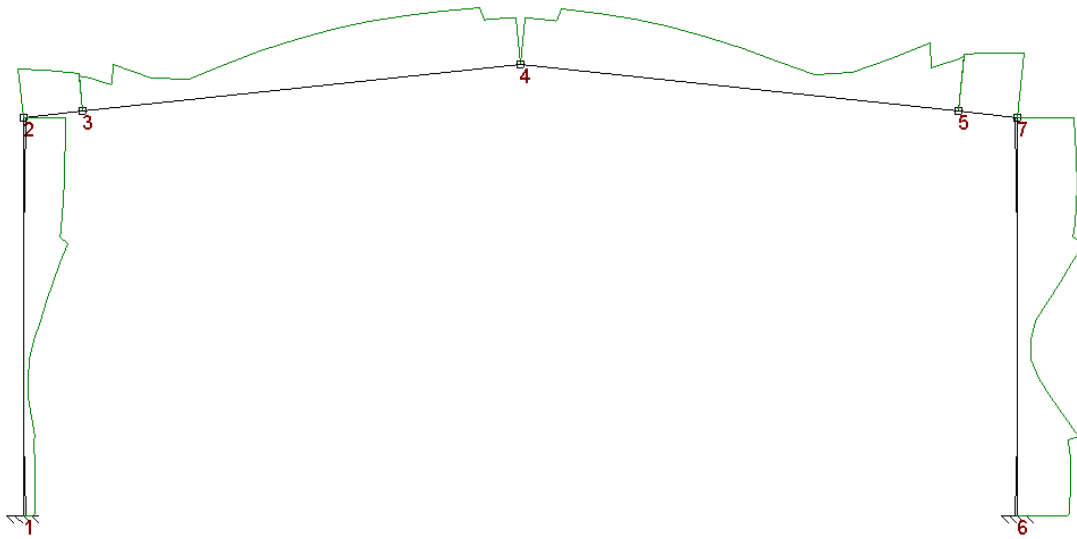


Diagrama de tensiones del pórtico.

En cuanto a la viga, podemos apreciar como el reparto de tensiones es bastante uniforme a lo largo de la misma. En este tipo de pórticos me he visto obligado a colocar un pequeño tramo de perfil de sección variable (5/7), debido a que el IPE tipo Void utilizado como viga no era capaz de aguantar la tensión en esta zona ni aún rellenado los huecos hexagonales de dicho perfil, tenía que aumentar el perfil y ya no sería una solución viable económicamente. Dicho tramo (5/7) está aprovechado en un 98,64% lo cual es una cifra bastante buena. La continuación de esta viga se ha realizado como ya sabemos con IPE 180 Void al cual se le ha rellenado dos huecos en la cumbrera y dos junto al tramo de sección variable para que la sección utilizada no fallara por cuestiones de tensión, debido a esto se produce el salto que podemos ver en el diagrama de tensiones. El aprovechamiento de dicho tramo (4/5) es del 97,40%. La viga también tiene una zona en la que el aprovechamiento del perfil disminuye, pero si comparamos con la luz estudiada anteriormente vemos como este aprovechamiento ha aumentado considerablemente, quedando esta zona más reducida.

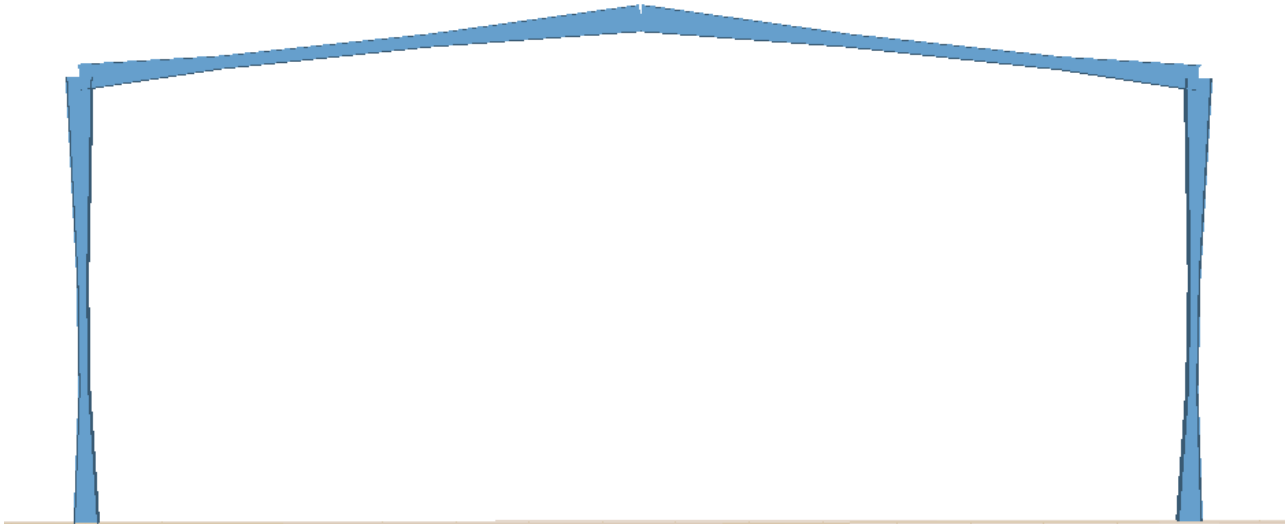


PÓRTICO SECCIÓN VARIABLE



PÓRTICO SECCIÓN VARIABLE DE 15 METROS DE LUZ

1. Descripción general del pórtico:



Interpretación real del pórtico

El pórtico que vamos a describir a continuación tiene 15 metros de luz y está formado en su totalidad por perfiles de sección variable. Con este tipo de diseño lo que intentamos conseguir es minimizar la cantidad de acero a utilizar en el pórtico para así poder reducir los costes del mismo, disminuyendo o aumentando el canto del perfil según nos vaya haciendo falta realmente.

Para el diseño del pórtico hemos creado 13 nudos, de los cuales dos son empotramientos y los demás nudos rígidos, por tanto tenemos doce barras. El espesor utilizado en los perfiles varía en función de la barra. Para las barras (1-2), (2-3), (10-11), (11-12), el espesor del alma es de 5mm y del ala de 8mm. Las demás barras tienen un espesor de alma de 6mm y de ala 8mm.

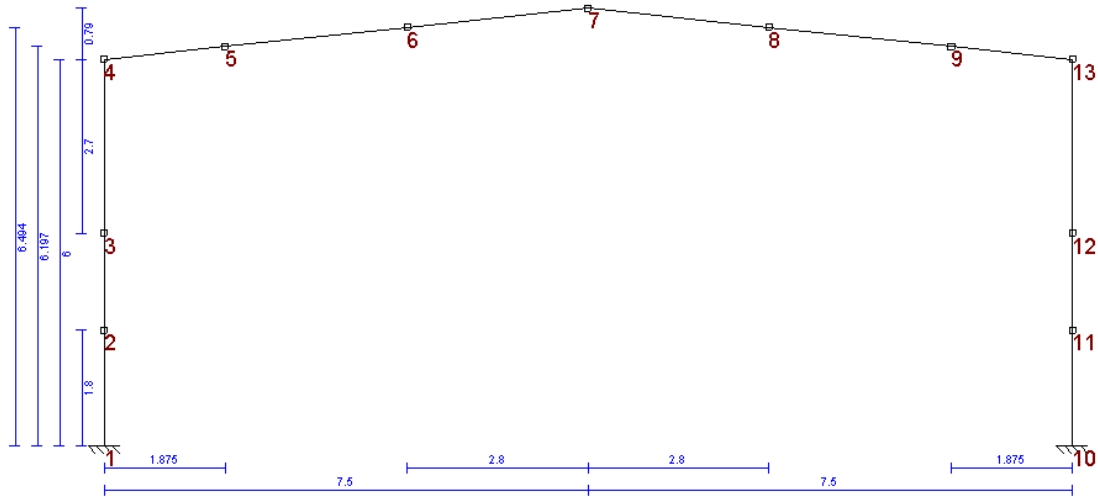
El pilar lo he dividido en tres partes teniendo así tres barras diferentes. La primera barra (1-2), tiene una longitud de 1,80 metros con un canto inicial de 320mm y final de 130mm. La segunda barra (2-3) es de sección constante debido a que en esta zona las tensiones sobre el perfil son pequeñas y se mantienen a lo largo de esta barra, el canto de dicha barra es de 130mm y la longitud de la misma es de 1,50 metros. La tercera barra (3-4), vuelve a ser de sección variable con una longitud de 2,7 metros, teniendo un canto inicial de 130mm y final de 340mm.

En la viga también tenemos tres barras diferentes, continuando con la tercera del pilar, seguimos con la primera de la viga (4-5), la cual tiene una



longitud de 1,89 metros con un canto inicial igual al del pilar de 340mm y final de 170mm. La segunda barra (5-6) al igual que ocurre en el pilar, es de sección constante pero en este caso tiene 170mm de canto y una longitud de 2,84 metros. Por último la tercera barra (6-7) tiene una longitud de 2,82 metros, el canto inicial es de 170mm y el final 350mm.

A continuación mostramos un esquema del pórtico donde se detallan los nudos y las cotas del mismo.



Esquema de nudos, cotas y tipo de perfil.

2. Descripción de valores aportados por Cype

Ahora se detallan los datos que nos aporta el programa en forma de tablas en las cuales podemos apreciar nudos, cargas, tensiones, pesos, cotas, etc., que describiremos a continuación:

2.1 - Nudos

Nudos	Coordenadas (m)			Vínculos
	X	Y	Z	
1	0.000	0.000	0.000	Empotrado
2	0.000	0.000	1.800	Empotrado
3	0.000	0.000	3.300	Empotrado
4	0.000	0.000	6.000	Empotrado
5	0.000	1.875	6.197	Empotrado
6	0.000	4.700	6.494	Empotrado
7	0.000	7.500	6.790	Empotrado
8	0.000	10.300	6.494	Empotrado
9	0.000	13.125	6.197	Empotrado
10	0.000	15.000	0.000	Empotrado
11	0.000	15.000	1.800	Empotrado
12	0.000	15.000	3.300	Empotrado
13	0.000	15.000	6.000	Empotrado



2.2 - Barras: Características Mecánicas

Descripción	Inerc.Tor. cm4	Inerc.y cm4	Inerc.z cm4	Sección cm2
Acero, Sección Variable, Perfil simple + Separación 114/114 mm	3.581	604.285	100.595	20.260
Acero, Sección Variable, Perfil simple + Separación 304/114 mm	3.977	2095.205	100.694	25.010
Acero, Sección Variable, Perfil simple + Separación 154/154 mm	4.215	1138.671	100.753	23.800
Acero, Sección Variable, Perfil simple + Separación 114/324 mm	4.683	2401.605	100.870	27.700
Acero, Sección Variable, Perfil simple + Separación 324/154 mm	4.827	2904.100	100.906	28.900
Acero, Sección Variable, Perfil simple + Separación 154/334 mm	4.863	3038.661	100.915	29.200

2.3.- Barras: Materiales Utilizados

Material	Mód.elást. (GPa)	Mód.el.trans. (GPa)	Lím.elás.\Fck (MPa)	Co.dilat. (m/m°C)	Peso espec. (KN/m3)
Acero (S275)	206.01	79.23	275.00	1.2e-005	77.01

2.4.- Barras: Descripción

Barras	Material	Perfil	Peso (Kp)	Volumen (m3)	Longitud (m)
1/2	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 304/114 mm	35.35	0.005	1.80
2/3	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 114/114 mm	23.86	0.003	1.50
3/4	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 114/324 mm	58.69	0.007	2.70
4/5	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 324/154 mm	42.78	0.005	1.89
5/6	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 154/154 mm	53.07	0.007	2.84
6/7	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 154/334 mm	64.52	0.008	2.82
8/7	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 154/334 mm	64.52	0.008	2.82
9/8	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 154/154 mm	53.07	0.007	2.84
13/9	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 324/154 mm	42.78	0.005	1.89
10/11	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 304/114 mm	35.35	0.005	1.80
11/12	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 114/114 mm	23.86	0.003	1.50
12/13	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 114/324 mm	58.69	0.007	2.70

2.5.- Barras: Resumen Medición (Acero)

Descripción			Peso (Kp)			Longitud (m)		
			Perfil	Serie	Acero	Perfil	Serie	Acero
Acero (S275)	Sección	Sección Variable, Perfil	118.42			6.60		
		Sección Variable, Perfil	438.12			20.50		
				556.54			27.10	
					556.54			27.10
					556.54			27.10

El peso total del pórtico como podemos apreciar en la tabla es de 556,54 Kg., éste es inferior al pórtico Void y al de IPE como veremos más adelante.



2.6.- Cargas (Barras)

Barras	Hipót.	Tipo	Cargas				Dirección		
			P1	P2	L1 (m)	L2 (m)	X	Y	Z
10/11	1 (PP 1)	Trapez.	0.229 KN/m	0.156 KN/m	0.000	1.800	0.000	0.000	-1.000
10/11	1 (PP 1)	Uniforme	1.020 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
2/3	1 (PP 1)	Uniforme	0.156 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
2/3	1 (PP 1)	Uniforme	2.340 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
11/12	1 (PP 1)	Uniforme	0.156 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
11/12	1 (PP 1)	Uniforme	1.020 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
1/2	1 (PP 1)	Trapez.	0.229 KN/m	0.156 KN/m	0.000	1.800	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Uniforme	2.340 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
6/7	1 (PP 1)	Trapez.	0.183 KN/m	0.266 KN/m	0.000	2.816	0.000	0.000	-1.000
6/7	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
5/6	1 (PP 1)	Uniforme	0.183 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
5/6	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
8/7	1 (PP 1)	Trapez.	0.183 KN/m	0.266 KN/m	0.000	2.816	0.000	0.000	-1.000
8/7	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
4/5	1 (PP 1)	Trapez.	0.262 KN/m	0.183 KN/m	0.000	1.885	0.000	0.000	-1.000
4/5	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
9/8	1 (PP 1)	Uniforme	0.183 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
9/8	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
3/4	1 (PP 1)	Trapez.	0.165 KN/m	0.262 KN/m	0.000	2.700	0.000	0.000	-1.000
3/4	1 (PP 1)	Uniforme	2.340 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
13/9	1 (PP 1)	Trapez.	0.262 KN/m	0.183 KN/m	0.000	1.885	0.000	0.000	-1.000
13/9	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
12/13	1 (PP 1)	Trapez.	0.165 KN/m	0.262 KN/m	0.000	2.700	0.000	0.000	-1.000
12/13	1 (PP 1)	Uniforme	1.020 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000

2.7.- Desplazamientos

Nudos	Descripción	DESPLAZAMIENTOS (EJES GENERALES)					
		DX (m)	DY (m)	DZ (m)	GX (rad)	GY (rad)	GZ (rad)
1	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	-0.0030	-0.0001	0.0034	0.0000	0.0000
		0.0000	-0.0030	-0.0001	0.0034	0.0000	0.0000
3	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	-0.0066	-0.0002	-0.0020	0.0000	0.0000
		0.0000	-0.0066	-0.0002	-0.0020	0.0000	0.0000
4	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0239	-0.0003	-0.0189	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0239	-0.0003	-0.0189	0.0000	0.0000
5	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0285	-0.0445	-0.0277	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0285	-0.0445	-0.0277	0.0000	0.0000
6	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0358	-0.1144	-0.0138	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0358	-0.1144	-0.0138	0.0000	0.0000
7	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0367	-0.1238	0.0033	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0367	-0.1238	0.0033	0.0000	0.0000
8	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0394	-0.0972	0.0185	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0394	-0.0972	0.0185	0.0000	0.0000



Pórtico Sección Variable 15 Metros de Luz

9	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0466	-0.0276	0.0216	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0466	-0.0276	0.0216	0.0000	0.0000
10	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
11	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0130	-0.0001	-0.0157	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0130	-0.0001	-0.0157	0.0000	0.0000
12	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0422	-0.0002	-0.0158	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0422	-0.0002	-0.0158	0.0000	0.0000
13	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0494	-0.0004	0.0079	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0494	-0.0004	0.0079	0.0000	0.0000

El desplazamiento vertical que se produce debido a la flexión en el nudo 7 es de 12,38 cm. Éste valor es muy importante tenerlo en cuenta a la hora del diseño del pórtico, porque este desplazamiento no puede ser excesivo.

2.8.- Reacciones

Nudos	Descripción	REACCIONES (EJES GENERALES)					
		RX (KN)	RY (KN)	RZ (KN)	MX (KN·m)	MY (KN·m)	MZ (KN·m)
1	Envolvente (Cim.equil.)	0.0000	3.6528	28.8237	-19.0429	0.0000	0.0000
		0.0000	5.4792	43.2355	-12.6953	0.0000	0.0000
1	Envolvente (Cim.tens.terr.)	0.0000	3.6528	28.8237	-12.6953	0.0000	0.0000
		0.0000	3.6528	28.8237	-12.6953	0.0000	0.0000
10	Envolvente (Cim.equil.)	0.0000	-35.7192	30.9350	57.3401	0.0000	0.0000
		0.0000	-23.8128	46.4026	86.0101	0.0000	0.0000
10	Envolvente (Cim.tens.terr.)	0.0000	-23.8128	30.9350	57.3401	0.0000	0.0000
		0.0000	-23.8128	30.9350	57.3401	0.0000	0.0000

2.9.-Tensiones

Barras	TENSION MÁXIMA								
	TENS. ()	APROV. (%)	Pos. (m)	N (KN)	Vy (KN)	Vz (KN)	Mt (KN·m)	My (KN·m)	Mz (KN·m)
10/11	0.9230	92.30	0.825	-41.5257	0.0000	31.0112	0.0000	51.3562	0.0000
2/3	0.6219	62.19	1.500	-38.1280	0.0000	-15.3560	0.0000	16.3353	0.0000
11/12	0.8290	82.90	0.000	-41.2943	0.0000	29.6687	0.0000	21.7748	0.0000
1/2	0.2158	21.58	0.750	-38.6954	0.0000	-7.3005	0.0000	-12.5517	0.0000
6/7	0.9721	97.21	0.000	-25.1315	0.0000	-10.5297	0.0000	37.3074	0.0000
5/6	0.9721	97.21	2.841	-25.1254	0.0000	-10.5441	0.0000	37.3074	0.0000
8/7	0.7642	76.42	0.000	-25.4312	0.0000	-13.3642	0.0000	29.3265	0.0000
4/5	0.6946	69.46	0.000	-27.6573	0.0000	-34.6502	0.0000	-69.3110	0.0000
9/8	0.7642	76.42	2.841	-25.4235	0.0000	-13.3789	0.0000	29.3265	0.0000
3/4	0.6946	69.46	2.700	-37.3505	0.0000	-23.8853	0.0000	69.3110	0.0000
13/9	0.9088	90.88	0.000	-27.9552	0.0000	-37.4849	0.0000	-90.6885	0.0000
12/13	0.9644	96.44	1.350	-40.6338	0.0000	25.7442	0.0000	-57.1886	0.0000

La descripción de las tensiones para este pórtico se reduce a la descripción del pilar y viga derecha del mismo, ya que en estos es donde se produce las mayores tensiones. Vamos a empezar comentando el pilar: si



echamos un vistazo al diagrama de tensiones podemos ver como el reparto de tensiones en el pilar es uniforme a lo largo del mismo exceptuando la zona intermedia, pero siendo esta última un tramo muy corto de tan solo 1,10 metro de longitud. El valor de aprovechamiento de los perfiles es el siguiente: el que se encuentra junto al suelo (10-11) tiene un aprovechamiento del 92,30%, totalmente uniforme y constante en dicha barra. En la barra intermedia (11-12) el aprovechamiento medio es del 56% pero como hemos dicho anteriormente es una barra muy corta. Por último, la barra que se encuentra junto a la viga (12-13) vuelve a tener un aprovechamiento del 96,44%, siendo este valor uniforme y constante en toda la barra.

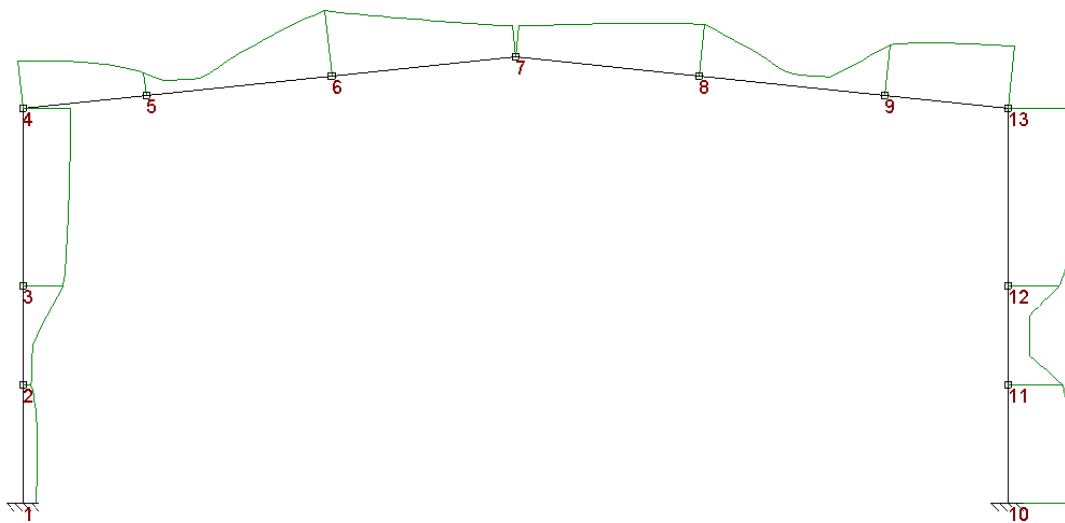


Diagrama de tensiones del pórtico.

La viga como ya sabemos consta de tres tramos. El tramo (9-13) está aprovechado de manera uniforme y constante al 90,88%. En la barra intermedia (8-9) existe una variación en el aprovechamiento del perfil, oscilando entre un 76,42% de máximo y el 20,30% de mínimo. Por último en la barra (7-8), como podemos apreciar en el diagrama de tensiones, en el nudo 8 hay un aprovechamiento del perfil de 76,40% y que dicho aprovechamiento va disminuyendo conforme nos acercamos a la cumbrera, siendo éste de 44,80%. Ésta disminución de aprovechamiento a lo largo del perfil se produce porque conforme nos acercamos a la cumbrera, el canto del perfil utilizado va siendo mayor. Es verdad que podríamos haber disminuido dicho canto para poder aprovecharlo mejor, pero si lo hubiéramos hecho el desplazamiento vertical que se produce en el nudo 7 sería demasiado grande y no lo podríamos permitir.



RESUMEN PARA 15 METROS DE LUZ



RESUMEN DEL ESTUDIO REALIZADO PARA 15 METROS

A continuación vamos a hacer una comparación entre los cuatro tipos de diseños descritos anteriormente para 15 metros de luz, eligiendo en base al estudio realizado la solución más aconsejable.

En la tabla que vemos justo debajo aparece a modo de resumen los datos más significativos de cada uno de los pórticos. Estos datos a los que hacemos referencia son: las tensiones o grado de aprovechamiento del perfil, el desplazamiento que se produce en el punto más alto de los pórticos (cumbreira) y por último, siendo éste el más importante, el peso total de la estructura. Decimos que es el más importante porque la finalidad de este estudio es conseguir la solución estructural más económica de entre las posibles y esto está relacionado directamente con el peso de la estructura.

(+Peso → +Coste)

TIPO DE PÓRTICO	(APROVECHAMIENTO) TENSIONES %		DESPL. VERTICAL CUMBRERA (CM)	PESO PROPIO (KP)
	DINTEL DERECHO	PILAR DERECHO		
IPE 180	97,70%	98,16%	13,69 cm	611,26
VIGA VOID 180	98,64%	99,74%	10,70 cm	578,08
SECCIÓN VARIABLE*	76,40%	96,44%	12,38 cm	556,54
VIGA CELOSÍA*		97%	4,11 cm	453,02

Tabla 1. Resumen de los datos más significativos de los diseños estudiados

SECCIÓN VARIABLE* Es el único pórtico en el que el pilar no es un IPE, siendo éste de sección variable.

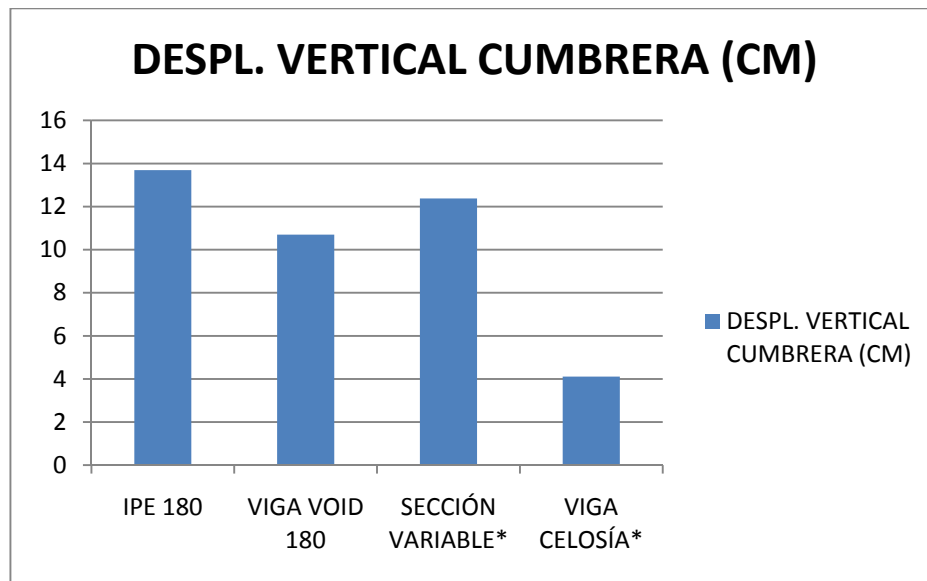
VIGA CELOSÍA* Debido a que la celosía tiene tantas barras, el aprovechamiento de las mismas es muy diverso, no teniendo muy claro el aprovechamiento medio de la misma.

En la tabla podemos ver cómo se van produciendo ya algunas diferencias significativas sobre todo en desplazamiento en cumbreira y el peso total de la estructura.

En cuanto a las tensiones o grado de aprovechamiento del perfil, se ha intentado que en cada uno de los pórticos estos valores sean máximos, por tanto la diferencia entre los mismos es muy pequeña. Atendiendo a la tabla, el tipo de pórtico que tiene un grado de aprovechamiento más alto es el VOID, con un 98,64% en la viga y un 99,74% en el pilar.

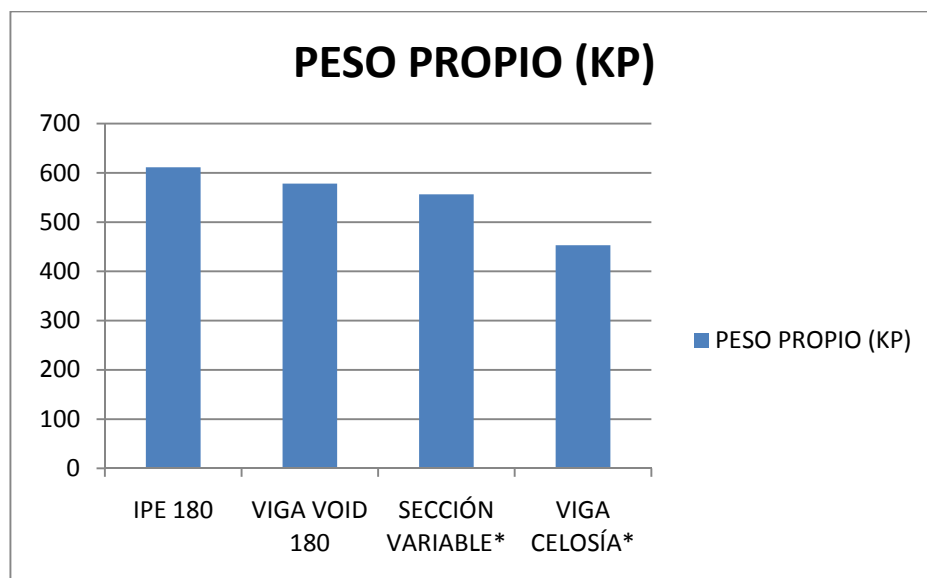


Gráfica 1. Desplazamiento vertical en función del tipo de pórtico



El desplazamiento vertical producido en la cumbrera para el pórtico en Celosía es de 4,11 cm, es en el que se produce menos deformación. Los demás pórticos tienen desplazamientos bastante superiores a la Celosía pero son muy parecidos entre ellos, variando solo entre 10cm y 13cm, como podemos apreciar en la tabla.

Gráfica 2. Kilos de acero en función del tipo de pórtico





El pórtico VOID y el Variable tienen un peso total de la estructura de 578,08 Kp y 556,54 Kp respectivamente, los cuales son muy parecidos en cuanto a peso. El diseño que más pesa para esta luz es el IPE con 611,26 Kp. Como podemos apreciar en la tabla el pórtico más ligero de todos es el de Celosía con un peso de 453,02 Kp.

Tras lo anterior podemos deducir que el diseño de Sección Variable y Void se comportan de manera muy parecida, tanto en tensiones como en desplazamientos como en peso. La diferencia que existe entre ambos y que no apreciamos tras la realización de este estudio son los costes de fabricación. Los tiempos de fabricación para el pórtico de Sección Variable son altos pero los del pórtico Void son muy superiores a éste. Para esta luz voy a descartar ambas soluciones, debido a lo que acabo de comentar y a la poca diferencia de peso que existe con los demás diseños.

El pórtico de Celosía como ya hemos comentado es el más ligero de todos y a priori sería la solución más económica, pero esto no es del todo así, en este caso también hay que comentar los tiempos de fabricación, que para dicho pórtico es muy parecido al de Sección Variable. Para el pórtico IPE los tiempos de fabricación son mínimos ya que se monta in situ en obra y casi sin horas de taller. Atendiendo a esto y a que la diferencia de peso entre la Celosía y IPE no es excesiva, yo me inclinaría como solución a adoptar para esta luz el diseño.



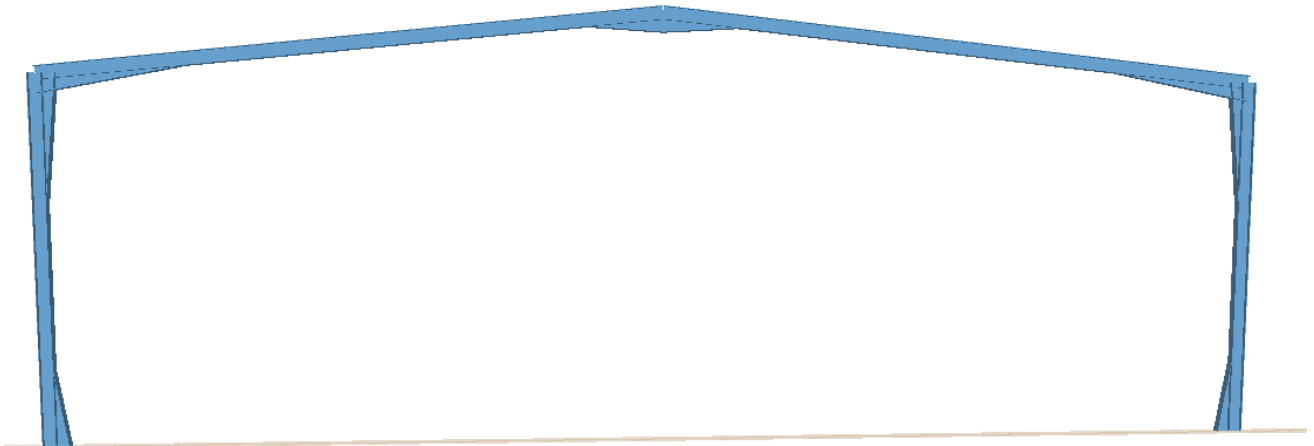
PÓRTICOS PARA 20 METROS DE LUZ



PÓRTICO PERFILES IPE

PÓRTICO IPE 20 METROS DE LUZ

1. Descripción general del pórtico:

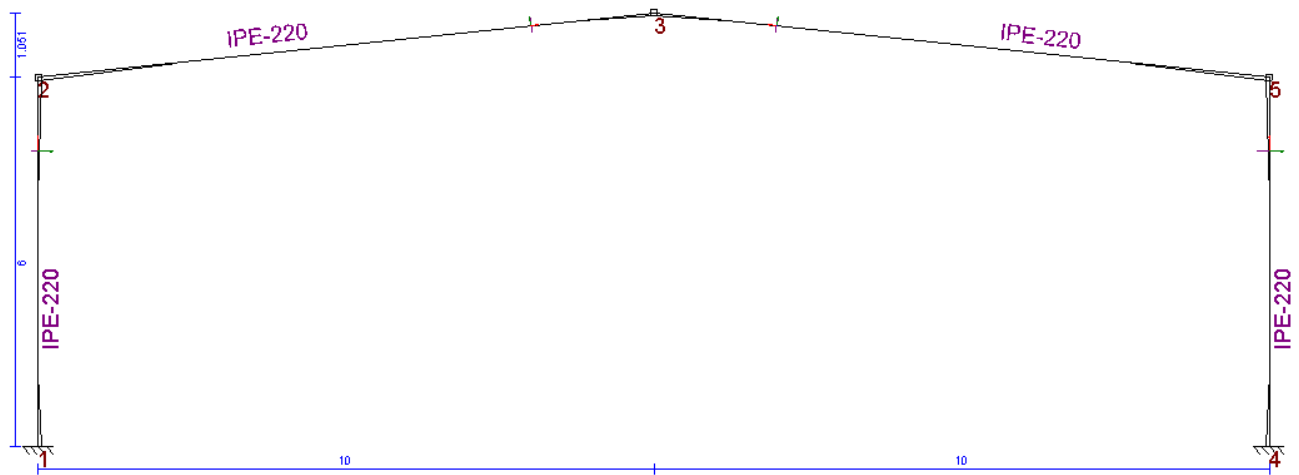


Interpretación real del pórtico

Este pórtico tiene 20 metros de luz y se ha realizado con perfil IPE de 220 milímetros de alma, para poder bajar el perfil lo máximo posible, ha sido necesaria la colocación de refuerzos “cartelas” en todos sus nudos. Estas cartelas se construyen con el mismo perfil utilizado en el pórtico pero cortado a la mitad en ángulo y colocándolas como aparecen en la imagen superior. La longitud de las cartelas superiores e inferiores son de 2,00 metros y 1,20 metros respectivamente, las cuales son relativamente grandes, pero que ha sido necesario al ser el pilar de una sección tan pequeña.

Las vigas que conforman el dintel del pórtico también son IPE de 220 milímetros de alma. Estas vigas también han sido reforzadas en sus nudos con cartelas. La cartela de la cumbrera tiene una longitud de 1,20 metros y la que se encuentra junto al pilar tiene 2,25 metros. El diagrama de tensiones es similar a las luces estudiadas anteriormente, con la salvedad de que las zonas de aprovechamiento son mayores.

En la imagen que podemos apreciar más abajo, aparece a modo de esquema los perfiles utilizados en el pórtico, las cotas y la numeración de los nudos del mismo.



Esquema de nudos, cotas y tipo de perfil.

2. Descripción de valores aportados por Cype

A continuación aparecen unos listados con todos los datos de mediciones, tensiones, peso, reacciones, etc... que nos ha aportado Cype, junto con algunas aclaraciones para su mejor comprensión.

2.1 - Nudos

Nudos	Coordenadas (m)			Vínculos
	X	Y	Z	
1	0.000	0.000	0.000	Empotrado
2	0.000	0.000	6.000	Empotrado
3	0.000	10.000	7.051	Empotrado
4	0.000	20.000	0.000	Empotrado
5	0.000	20.000	6.000	Empotrado

2.2 - Barras: Características Mecánicas

Descripción	Inerc.Tor. cm4	Inerc.y cm4	Inerc.z cm4	Sección cm2
Acero, IPE-220, Simple con cartelas (IPE)	9.150	2770.000	205.000	33.400





2.3.- Barras: Materiales Utilizados

Material	Mód.elást. (GPa)	Mód.el.trans. (GPa)	Lím.elás.\Fck (MPa)	Co.dilat. (m/m°C)	Peso espec. (KN/m3)
Acero (S275)	206.01	79.23	275.00	1.2e-005	77.01

2.4.- Barras: Descripción

Barras	Material	Perfil	Peso (Kp)	Volumen (m3)	Longitud (m)
1/2	Acero (S275)	IPE-220 (IPE) + carts. sup. 1.200 m y 2.000 m	197.66	0.025	6.00
2/3	Acero (S275)	IPE-220 (IPE) + carts. inf. 2.250 m y 1.200 m	307.17	0.039	10.06
5/3	Acero (S275)	IPE-220 (IPE) + carts. inf. 2.250 m y 1.200 m	307.17	0.039	10.06
4/5	Acero (S275)	IPE-220 (IPE) + carts. inf. 1.200 m y 2.000 m	197.66	0.025	6.00

En esta tabla podemos apreciar las longitudes de las cartelas junto con la longitud de los perfiles utilizados y el peso de los mismos.

2.5.- Barras: Resumen Medición (Acero)

Descripción			Peso (Kp)			Longitud (m)		
			Perfil	Serie	Acero	Perfil	Serie	Acero
Acero (S275)	IPE	IPE-220, Simple con c...	1009.66	1009.66		32.12	32.12	
					1009.66			32.12
					1009.66			32.12
					1009.66			32.12

El peso total de la estructura como podemos apreciar en la tabla es de 1009,66 kg. Este peso es el más alto de entre todos los diseños estudiados como veremos más adelante, pero es de los más utilizados en la realidad.

2.6.- Cargas (Barras)

Barras	Hipót.	Tipo	Cargas				Dirección		
			P1	P2	L1 (m)	L2 (m)	X	Y	Z
2/3	1 (PP 1)	Trapez.	0.427 KN/m	0.381 KN/m	0.000	1.125	0.000	0.000	-1.000
2/3	1 (PP 1)	Trapez.	0.381 KN/m	0.335 KN/m	1.125	2.250	0.000	0.000	-1.000
2/3	1 (PP 1)	Faja	0.257 KN/m	-	2.250	8.855	0.000	0.000	-1.000
2/3	1 (PP 1)	Trapez.	0.335 KN/m	0.381 KN/m	8.855	9.455	0.000	0.000	-1.000
2/3	1 (PP 1)	Trapez.	0.381 KN/m	0.427 KN/m	9.455	10.055	0.000	0.000	-1.000
2/3	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000



Pórtico IPE 20 Metros de Luz

5/3	1 (PP 1)	Trapez.	0.427 KN/m	0.381 KN/m	0.000	1.125	0.000	0.000	-1.000
5/3	1 (PP 1)	Trapez.	0.381 KN/m	0.335 KN/m	1.125	2.250	0.000	0.000	-1.000
5/3	1 (PP 1)	Faja	0.257 KN/m	-	2.250	8.855	0.000	0.000	-1.000
5/3	1 (PP 1)	Trapez.	0.335 KN/m	0.381 KN/m	8.855	9.455	0.000	0.000	-1.000
5/3	1 (PP 1)	Trapez.	0.381 KN/m	0.427 KN/m	9.455	10.055	0.000	0.000	-1.000
5/3	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Trapez.	0.427 KN/m	0.381 KN/m	0.000	0.600	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Trapez.	0.381 KN/m	0.335 KN/m	0.600	1.200	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Faja	0.257 KN/m	-	1.200	4.000	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Trapez.	0.335 KN/m	0.381 KN/m	4.000	5.000	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Trapez.	0.381 KN/m	0.427 KN/m	5.000	6.000	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Uniforme	2.340 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
4/5	1 (PP 1)	Trapez.	0.427 KN/m	0.381 KN/m	0.000	0.600	0.000	0.000	-1.000
4/5	1 (PP 1)	Trapez.	0.381 KN/m	0.335 KN/m	0.600	1.200	0.000	0.000	-1.000
4/5	1 (PP 1)	Faja	0.257 KN/m	-	1.200	4.000	0.000	0.000	-1.000
4/5	1 (PP 1)	Trapez.	0.335 KN/m	0.381 KN/m	4.000	5.000	0.000	0.000	-1.000
4/5	1 (PP 1)	Trapez.	0.381 KN/m	0.427 KN/m	5.000	6.000	0.000	0.000	-1.000
4/5	1 (PP 1)	Uniforme	1.020 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000

2.7.- Desplazamientos

Nudos	Descripción	DESPLAZAMIENTOS (EJES GENERALES)					
		DX (m)	DY (m)	DZ (m)	GX (rad)	GY (rad)	GZ (rad)
1	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	-0.0023	0.0003	-0.0112	0.0000	0.0000
		0.0000	-0.0023	0.0003	-0.0112	0.0000	0.0000
3	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0154	-0.1733	0.0017	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0154	-0.1733	0.0017	0.0000	0.0000
4	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
5	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0334	0.0001	0.0060	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0334	0.0001	0.0060	0.0000	0.0000

El desplazamiento que se produce en la cumbrera como podemos ver en la tabla es de 17,33 cm. Este desplazamiento se debe a la flexión que se produce en las vigas.

2.8.- Reacciones

Nudos	Descripción	REACCIONES (EJES GENERALES)					
		RX (KN)	RY (KN)	RZ (KN)	MX (KN·m)	MY (KN·m)	MZ (KN·m)
1	Envolvente (Cim.equil.)	0.0000	19.6635	40.4989	-74.8196	0.0000	0.0000
		0.0000	29.4952	60.7483	-49.8797	0.0000	0.0000



1	Envolvente (Cim.tens.terr.)	0.0000	19.6635	40.4989	-49.8797	0.0000	0.0000
		0.0000	19.6635	40.4989	-49.8797	0.0000	0.0000
4	Envolvente (Cim.equil.)	0.0000	-59.7352	41.8023	97.3258	0.0000	0.0000
		0.0000	-39.8235	62.7034	145.9887	0.0000	0.0000
4	Envolvente (Cim.tens.terr.)	0.0000	-39.8235	41.8023	97.3258	0.0000	0.0000
		0.0000	-39.8235	41.8023	97.3258	0.0000	0.0000

2.9.- Tensiones

Barras	TENSION MÁXIMA								
	TENS. ()	APROV. (%)	Pos. (m)	N (KN)	Vy (KN)	Vz (KN)	Mt (KN·m)	My (KN·m)	Mz (KN·m)
2/3	0.8821	88.21	8.855	-45.8326	0.0000	-0.7830	0.0000	63.0732	0.0000
5/3	0.9611	96.11	2.250	-50.7831	0.0000	-35.1015	0.0000	-68.7180	0.0000
1/2	0.8760	87.60	4.000	-53.0841	0.0000	-39.1817	0.0000	62.6362	0.0000
4/5	0.9946	99.46	4.000	-54.8437	0.0000	48.2537	0.0000	-71.1131	0.0000

El pórtico que nos ocupa consta de cuatro barras, pero realmente a efectos de estudio solo vamos a describir la viga de la derecha y el pilar derecho ya que, según hemos aplicado la hipótesis de carga, son los que están soportando más tensión.

Como podemos apreciar en la tabla el grado de aprovechamiento del pilar y viga derecha es bastante alto 99,46% y 96,11% respectivamente, lo cual nos indica que el diseño utilizado es bastante bueno.

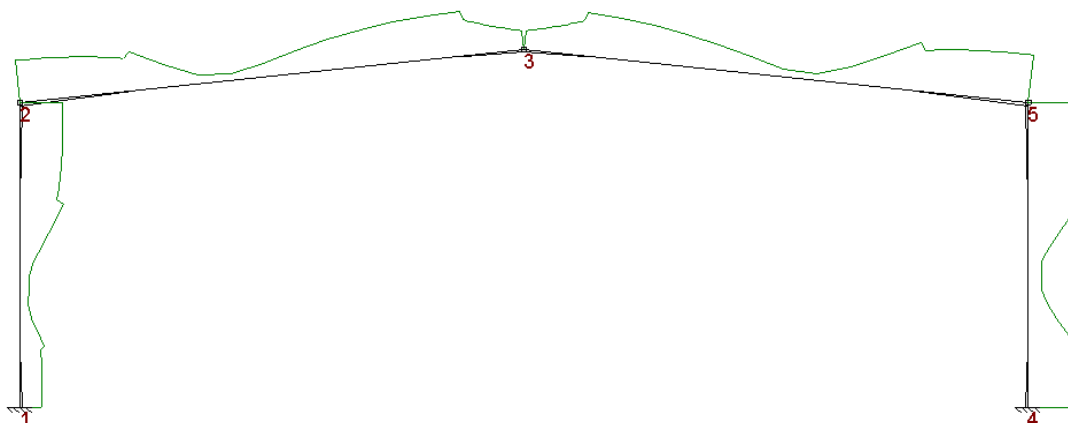


Diagrama de tensiones del pórtico.

Si nos fijamos ahora en el diagrama de tensiones vemos como este alto aprovechamiento de los perfiles se produce en las cercanías de los nudos, habiendo una zona tanto en el pilar como en la viga en la que este aprovechamiento disminuye considerablemente, pero al ser un perfil constante



esta zona no se puede aprovechar más. Utilizando otros diseños como sección variable veremos que esta zona se disminuye de manera considerable.

A continuación vamos a describir lo que le ocurre al pilar y viga derecho en cuanto al grado de aprovechamiento del perfil.

El pilar tiene tres zonas bien diferenciadas, la primera junto al suelo tiene una longitud de unos 1,5 metros en la que el reparto de tensiones es uniforme y bastante grande, debido a esto se ha colocado la cartela reforzando esta zona, con una longitud de 1,20 metros. El aprovechamiento en esta zona está en torno al 97,10% justo en el punto donde acaba la cartela. En la zona intermedia del pilar de unos 2,4 metros de longitud, el aprovechamiento medio está en torno al 50%, habiendo una pequeña zona donde dicho aprovechamiento es del 26,70%. Por último, en la zona junto a la viga, el aprovechamiento vuelve a subir hasta el 99,46% manteniéndose casi constante en un tramo de 2,30 metros de longitud. Debido al aumento de la tensión hasta tal punto, ha sido necesaria la colocación de la cartela de 2,00 metros de longitud para reforzar esta zona.

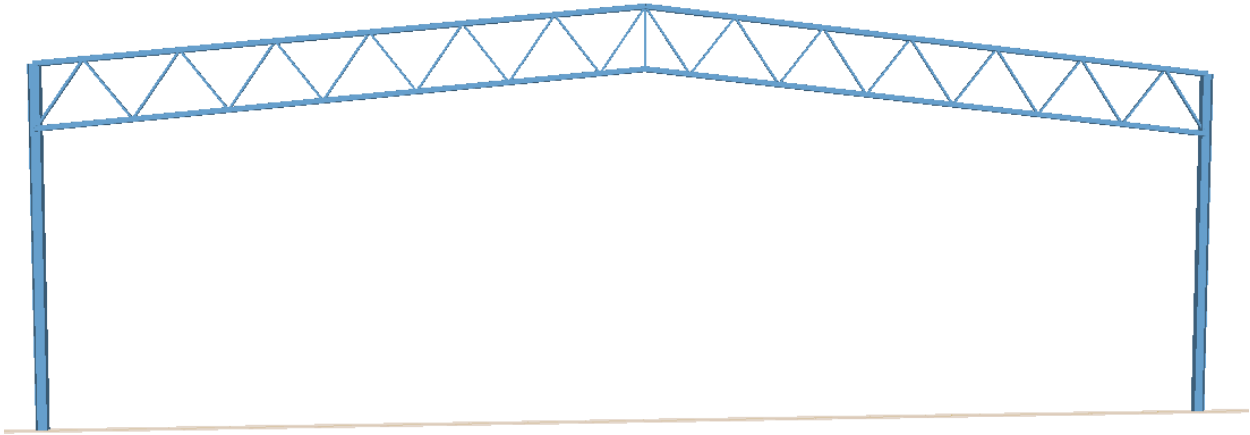
Para la viga la distribución de tensiones es bastante similar a la del pilar. La primera zona que está pegando a la cumbrera la tensión es ligeramente inferior a la que se produce junto al pilar, siendo el aprovechamiento para esta zona del 85,30%. La cartela colocada en dicha zona tiene una longitud de 1,20 metros, este refuerzo no le hace falta por cuestiones de tensión sino por reforzar una zona bastante delicada, debido a los desplazamientos que se producen en ella. La zona intermedia del perfil comprende unos 6 metros. En dicha zona la tensión que soporta el perfil es bastante inferior a la del resto del mismo, teniendo una pequeña zona con tan solo el 14,30% de aprovechamiento del perfil. El último tramo junto al pilar, el aprovechamiento como podemos apreciar es más alto y más uniforme a lo largo del perfil teniendo un valor de 96,10%. Por tanto ha sido necesaria la colocación de una cartela con una longitud de 2,25 metros.



PÓRTICO VIGA DE CELOSÍA

PÓRTICO VIGA DE CELOSÍA 20 METROS DE LUZ

1. Descripción general del pórtico:



Interpretación real del pórtico

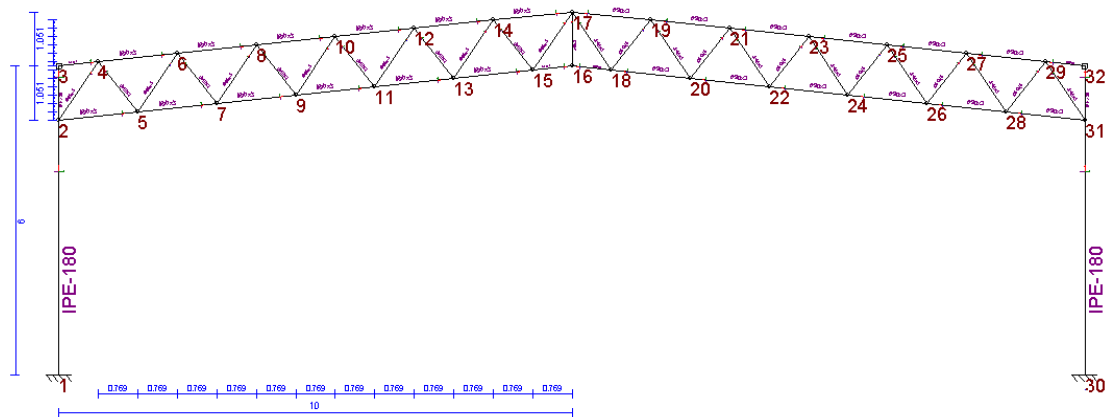
El pórtico que nos ocupa como ya sabemos tiene 20 metros de luz, sus pilares son IPE y la viga es una celosía como ya se ha descrito más arriba.

Para los pilares se ha utilizado una sección de IPE 180 mm. En este caso no ha sido necesario la colocación de cartelas inferiores ya que el diagrama de tensiones para el pilar ha cambiado ligeramente, equilibrándose la zona inferior con la superior del mismo. Esto quiere decir que el aprovechamiento de la parte inferior del perfil es muy similar al de la parte superior y como en la parte superior no colocamos cartelas por cuestiones de diseño en la parte inferior no son necesarias.

La viga como ya hemos comentado se ha solucionado con una celosía, ésta tiene una altura entre montantes de 1,051 m, dichos montantes están formados por perfiles cuadrados huecos de 90 mm de lado y 3 mm de espesor. Las diagonales están formadas por el mismo tipo de perfil pero con una sección inferior, 40 mm de lado y un espesor de 3 mm salvo la diagonal que está junto al pilar que tiene 45mm de lado y 3mm de espesor. La celosía está formada por un montante vertical en la cumbrera y veintiséis diagonales, las cuales forman un ángulo con el montante inferior de 46°.



Pórtico Viga Celosía 20 Metros de Luz



Esquema de nudos, cotas y tipo de perfil.

En la imagen superior como podemos apreciar aparecen los nudos, cotas y perfiles utilizados, los cuales se describen a continuación:

2. Descripción de valores aportados por Cype

2.1 - Nudos

Nudos	Coordenadas (m)			Vínculos
	X	Y	Z	
1	0.000	0.000	0.000	Empotrado
2	0.000	0.000	4.949	Articulado
3	0.000	0.000	6.000	Empotrado
4	0.000	0.772	6.081	Articulado
5	0.000	1.541	5.111	Articulado
6	0.000	2.310	6.243	Articulado
7	0.000	3.079	5.273	Articulado
8	0.000	3.848	6.404	Articulado
9	0.000	4.617	5.434	Articulado
10	0.000	5.386	6.566	Articulado
11	0.000	6.155	5.596	Articulado
12	0.000	6.924	6.728	Articulado
13	0.000	7.693	5.758	Articulado
14	0.000	8.462	6.889	Articulado
15	0.000	9.231	5.919	Articulado
16	0.000	10.000	6.000	Articulado
17	0.000	10.000	7.051	Articulado
18	0.000	10.769	5.919	Articulado
19	0.000	11.538	6.889	Articulado
20	0.000	12.307	5.758	Articulado
21	0.000	13.076	6.728	Articulado
22	0.000	13.845	5.596	Articulado
23	0.000	14.614	6.566	Articulado
24	0.000	15.383	5.434	Articulado
25	0.000	16.152	6.404	Articulado
26	0.000	16.921	5.273	Articulado
27	0.000	17.690	6.243	Articulado
28	0.000	18.459	5.111	Articulado
29	0.000	19.228	6.081	Articulado
30	0.000	20.000	0.000	Empotrado
31	0.000	20.000	4.949	Articulado
32	0.000	20.000	6.000	Empotrado

Hay un total de treinta y dos nudos, los cuales se han considerado todos articulados salvo las vinculaciones exteriores que son empotramientos y las uniones entre celosía y pilar que se han considerado nudos rígidos.



2.2 - Barras: Características Mecánicas

Descripción	Inerc.Tor. cm4	Inerc.y cm4	Inerc.z cm4	Sección cm2
Acero, IPE-180, Perfil simple (IPE)	5.060	1320.000	101.000	23.900
Acero, #40x3, Perfil simple (Huecos cuadrados)	15.619	8.817	8.817	4.097
Acero, #45x3, Perfil simple (Huecos cuadrados)	22.893	13.145	13.145	4.697
Acero, #90x3, Perfil simple (Huecos cuadrados)	202.347	124.873	124.873	10.097

2.3.- Barras: Materiales Utilizados

Material	Mód.elást. (GPa)	Mód.el.trans. (GPa)	Lím.elás.\Fck (MPa)	Co.dilat. (m/m°C)	Peso espec. (KN/m3)
Acero (S275)	206.01	79.23	275.00	1.2e-005	77.01

2.4.- Barras: Descripción

Barras	Material	Perfil	Peso (Kp)	Volumen (m3)	Longitud (m)
1/2	Acero (S275)	IPE-180 (IPE)	92.85	0.012	4.95
2/3	Acero (S275)	IPE-180 (IPE)	19.72	0.003	1.05
2/4	Acero (S275)	#45x3 (Huecos cuadrados)	5.05	0.001	1.37
2/5	Acero (S275)	#90x3 (Huecos cuadrados)	12.28	0.002	1.55
3/4	Acero (S275)	#90x3 (Huecos cuadrados)	6.15	0.001	0.78
5/4	Acero (S275)	#40x3 (Huecos cuadrados)	3.98	0.001	1.24
4/6	Acero (S275)	#90x3 (Huecos cuadrados)	12.26	0.002	1.55
5/6	Acero (S275)	#40x3 (Huecos cuadrados)	4.40	0.001	1.37
5/7	Acero (S275)	#90x3 (Huecos cuadrados)	12.26	0.002	1.55
7/6	Acero (S275)	#40x3 (Huecos cuadrados)	3.98	0.001	1.24
6/8	Acero (S275)	#90x3 (Huecos cuadrados)	12.26	0.002	1.55
7/8	Acero (S275)	#40x3 (Huecos cuadrados)	4.40	0.001	1.37
7/9	Acero (S275)	#90x3 (Huecos cuadrados)	12.26	0.002	1.55
9/8	Acero (S275)	#40x3 (Huecos cuadrados)	3.98	0.001	1.24
8/10	Acero (S275)	#90x3 (Huecos cuadrados)	12.26	0.002	1.55
9/10	Acero (S275)	#40x3 (Huecos cuadrados)	4.40	0.001	1.37
9/11	Acero (S275)	#90x3 (Huecos cuadrados)	12.26	0.002	1.55
11/10	Acero (S275)	#40x3 (Huecos cuadrados)	3.98	0.001	1.24
10/12	Acero (S275)	#90x3 (Huecos cuadrados)	12.26	0.002	1.55
11/12	Acero (S275)	#40x3 (Huecos cuadrados)	4.40	0.001	1.37
11/13	Acero (S275)	#90x3 (Huecos cuadrados)	12.26	0.002	1.55
13/12	Acero (S275)	#40x3 (Huecos cuadrados)	3.98	0.001	1.24
12/14	Acero (S275)	#90x3 (Huecos cuadrados)	12.26	0.002	1.55
13/14	Acero (S275)	#40x3 (Huecos cuadrados)	4.40	0.001	1.37
13/15	Acero (S275)	#90x3 (Huecos cuadrados)	12.26	0.002	1.55
15/14	Acero (S275)	#40x3 (Huecos cuadrados)	3.98	0.001	1.24
14/17	Acero (S275)	#90x3 (Huecos cuadrados)	12.26	0.002	1.55
15/16	Acero (S275)	#90x3 (Huecos cuadrados)	6.13	0.001	0.77
15/17	Acero (S275)	#40x3 (Huecos cuadrados)	4.40	0.001	1.37
16/17	Acero (S275)	#40x3 (Huecos cuadrados)	3.38	0.000	1.05
18/16	Acero (S275)	#90x3 (Huecos cuadrados)	6.13	0.001	0.77
18/17	Acero (S275)	#40x3 (Huecos cuadrados)	4.40	0.001	1.37



Pórtico Viga Celosía 20 Metros de Luz

19/17	Acero (S275)	#90x3 (Huecos cuadrados)	12.26	0.002	1.55
18/19	Acero (S275)	#40x3 (Huecos cuadrados)	3.98	0.001	1.24
20/18	Acero (S275)	#90x3 (Huecos cuadrados)	12.26	0.002	1.55
20/19	Acero (S275)	#40x3 (Huecos cuadrados)	4.40	0.001	1.37
21/19	Acero (S275)	#90x3 (Huecos cuadrados)	12.26	0.002	1.55
20/21	Acero (S275)	#40x3 (Huecos cuadrados)	3.98	0.001	1.24
22/20	Acero (S275)	#90x3 (Huecos cuadrados)	12.26	0.002	1.55
22/21	Acero (S275)	#40x3 (Huecos cuadrados)	4.40	0.001	1.37
23/21	Acero (S275)	#90x3 (Huecos cuadrados)	12.26	0.002	1.55
22/23	Acero (S275)	#40x3 (Huecos cuadrados)	3.98	0.001	1.24
24/22	Acero (S275)	#90x3 (Huecos cuadrados)	12.26	0.002	1.55
24/23	Acero (S275)	#40x3 (Huecos cuadrados)	4.40	0.001	1.37
25/23	Acero (S275)	#90x3 (Huecos cuadrados)	12.26	0.002	1.55
24/25	Acero (S275)	#40x3 (Huecos cuadrados)	3.98	0.001	1.24
26/24	Acero (S275)	#90x3 (Huecos cuadrados)	12.26	0.002	1.55
26/25	Acero (S275)	#40x3 (Huecos cuadrados)	4.40	0.001	1.37
27/25	Acero (S275)	#90x3 (Huecos cuadrados)	12.26	0.002	1.55
26/27	Acero (S275)	#40x3 (Huecos cuadrados)	3.98	0.001	1.24
28/26	Acero (S275)	#90x3 (Huecos cuadrados)	12.26	0.002	1.55
28/27	Acero (S275)	#40x3 (Huecos cuadrados)	4.40	0.001	1.37
29/27	Acero (S275)	#90x3 (Huecos cuadrados)	12.26	0.002	1.55
28/29	Acero (S275)	#40x3 (Huecos cuadrados)	3.98	0.001	1.24
31/28	Acero (S275)	#90x3 (Huecos cuadrados)	12.28	0.002	1.55
31/29	Acero (S275)	#45x3 (Huecos cuadrados)	5.05	0.001	1.37
32/29	Acero (S275)	#90x3 (Huecos cuadrados)	6.15	0.001	0.78
30/31	Acero (S275)	IPE-180 (IPE)	92.85	0.012	4.95
31/32	Acero (S275)	IPE-180 (IPE)	19.72	0.003	1.05

2.5.- Barras: Resumen Medición (Acero)

Descripción			Peso (Kp)			Longitud (m)		
			Perfil	Serie	Acero	Perfil	Serie	Acero
Acero (S275)	IPE	IPE-180, Perfil simple	225.14	225.14		12.00	12.00	
		#40x3, Perfil simple	103.94			32.37		
		#45x3, Perfil simple	10.10			2.74		
		#90x3, Perfil simple	318.84			40.30		
	Huecos cuadrados			432.88	658.02		75.41	87.41

Como podemos apreciar en la tabla, el peso total de la estructura es de 658,02 Kg, dicho peso es el menor de entre todas las tipologías estudiadas. Esta reducción de peso se debe en gran medida al uso de la viga de celosía obteniendo así un pórtico más ligero.



2.6.- Cargas (Nudos)

Nudos	Hipót.	Tipo	Cargas				Dirección		
			P1	P2	L1 (m)	L2 (m)	X	Y	Z
3	1 (PP 1)	Puntual	2.570 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
4	1 (PP 1)	Puntual	5.140 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
6	1 (PP 1)	Puntual	5.140 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
8	1 (PP 1)	Puntual	5.140 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
10	1 (PP 1)	Puntual	5.140 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
12	1 (PP 1)	Puntual	5.140 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
14	1 (PP 1)	Puntual	5.140 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
17	1 (PP 1)	Puntual	5.140 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
19	1 (PP 1)	Puntual	5.140 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
21	1 (PP 1)	Puntual	5.140 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
23	1 (PP 1)	Puntual	5.140 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
25	1 (PP 1)	Puntual	5.140 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
27	1 (PP 1)	Puntual	5.140 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
29	1 (PP 1)	Puntual	5.140 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
32	1 (PP 1)	Puntual	2.570 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000

En la tabla superior podemos apreciar como se ha distribuido la carga calculada al principio en la celosía y en la tabla que hay a continuación se detalla las cargas debidas al peso propio de la estructura que nos ha generado el programa.

2.7.- Cargas (Barras)

Barras	Hipót.	Tipo	Cargas				Dirección		
			P1	P2	L1 (m)	L2 (m)	X	Y	Z
2/3	1 (PP 1)	Uniforme	0.184 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
2/3	1 (PP 1)	Uniforme	2.340 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
30/31	1 (PP 1)	Uniforme	0.184 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
30/31	1 (PP 1)	Uniforme	1.020 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
1/2	1 (PP 1)	Uniforme	0.184 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Uniforme	2.340 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
31/32	1 (PP 1)	Uniforme	0.184 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
31/32	1 (PP 1)	Uniforme	1.020 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
16/17	1 (PP 1)	Uniforme	0.032 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
18/17	1 (PP 1)	Uniforme	0.032 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
15/17	1 (PP 1)	Uniforme	0.032 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
18/19	1 (PP 1)	Uniforme	0.032 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
15/14	1 (PP 1)	Uniforme	0.032 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
20/19	1 (PP 1)	Uniforme	0.032 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
13/14	1 (PP 1)	Uniforme	0.032 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
20/21	1 (PP 1)	Uniforme	0.032 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
13/12	1 (PP 1)	Uniforme	0.032 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
22/21	1 (PP 1)	Uniforme	0.032 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
11/12	1 (PP 1)	Uniforme	0.032 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
22/23	1 (PP 1)	Uniforme	0.032 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
11/10	1 (PP 1)	Uniforme	0.032 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000



Pórtico Viga Celosía 20 Metros de Luz

24/23	1 (PP 1)	Uniforme	0.032 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
9/10	1 (PP 1)	Uniforme	0.032 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
24/25	1 (PP 1)	Uniforme	0.032 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
9/8	1 (PP 1)	Uniforme	0.032 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
26/25	1 (PP 1)	Uniforme	0.032 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
7/8	1 (PP 1)	Uniforme	0.032 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
26/27	1 (PP 1)	Uniforme	0.032 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
7/6	1 (PP 1)	Uniforme	0.032 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
28/27	1 (PP 1)	Uniforme	0.032 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
5/6	1 (PP 1)	Uniforme	0.032 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
28/29	1 (PP 1)	Uniforme	0.032 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
5/4	1 (PP 1)	Uniforme	0.032 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
31/29	1 (PP 1)	Uniforme	0.036 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
2/4	1 (PP 1)	Uniforme	0.036 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
15/16	1 (PP 1)	Uniforme	0.078 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
14/17	1 (PP 1)	Uniforme	0.078 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
18/16	1 (PP 1)	Uniforme	0.078 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
13/15	1 (PP 1)	Uniforme	0.078 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
19/17	1 (PP 1)	Uniforme	0.078 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
12/14	1 (PP 1)	Uniforme	0.078 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
20/18	1 (PP 1)	Uniforme	0.078 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
11/13	1 (PP 1)	Uniforme	0.078 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
21/19	1 (PP 1)	Uniforme	0.078 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
10/12	1 (PP 1)	Uniforme	0.078 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
22/20	1 (PP 1)	Uniforme	0.078 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
9/11	1 (PP 1)	Uniforme	0.078 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
23/21	1 (PP 1)	Uniforme	0.078 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
8/10	1 (PP 1)	Uniforme	0.078 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
24/22	1 (PP 1)	Uniforme	0.078 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
7/9	1 (PP 1)	Uniforme	0.078 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
25/23	1 (PP 1)	Uniforme	0.078 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
6/8	1 (PP 1)	Uniforme	0.078 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
26/24	1 (PP 1)	Uniforme	0.078 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
5/7	1 (PP 1)	Uniforme	0.078 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
27/25	1 (PP 1)	Uniforme	0.078 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
4/6	1 (PP 1)	Uniforme	0.078 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
28/26	1 (PP 1)	Uniforme	0.078 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
3/4	1 (PP 1)	Uniforme	0.078 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
29/27	1 (PP 1)	Uniforme	0.078 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
2/5	1 (PP 1)	Uniforme	0.078 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
31/28	1 (PP 1)	Uniforme	0.078 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
32/29	1 (PP 1)	Uniforme	0.078 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000

2.8.- Desplazamientos

Los desplazamientos que se producen normalmente en una celosía son muy pequeños y no va a ser este caso una excepción. En los demás pórticos estudiados los desplazamientos que se producen en la cumbrera son bastante mayores que en el caso que nos ocupa, siendo este de 5,90 cm.



2.9.- Reacciones

Nudos	Descripción	REACCIONES (EJES GENERALES)					
		RX (KN)	RY (KN)	RZ (KN)	MX (KN-m)	MY (KN-m)	MZ (KN-m)
1	Envolvente (Cim.equil.)	0.0000	-8.3944	38.0937	8.1995	0.0000	0.0000
		0.0000	-5.5963	57.1406	12.2993	0.0000	0.0000
1	Envolvente (Cim.tens.terr.)	0.0000	-5.5963	38.0937	8.1995	0.0000	0.0000
		0.0000	-5.5963	38.0937	8.1995	0.0000	0.0000
30	Envolvente (Cim.equil.)	0.0000	-21.8456	40.3215	30.0031	0.0000	0.0000
		0.0000	-14.5637	60.4822	45.0047	0.0000	0.0000
30	Envolvente (Cim.tens.terr.)	0.0000	-14.5637	40.3215	30.0031	0.0000	0.0000
		0.0000	-14.5637	40.3215	30.0031	0.0000	0.0000

2.10.-Tensiones

Barras	TENSION MÁXIMA								
	TENS. ()	APROV. (%)	Pos. (m)	N (KN)	Vy (KN)	Vz (KN)	Mt (KN-m)	My (KN-m)	Mz (KN-m)
2/3	0.2973	29.73	0.000	-4.0731	0.0000	12.6717	0.0000	12.3657	0.0000
30/31	0.9737	97.37	0.000	-54.4340	0.0000	19.6610	0.0000	40.5043	0.0000
1/2	0.2973	29.73	4.949	-50.1969	0.0000	-8.0789	0.0000	12.3657	0.0000
31/32	0.9600	96.00	0.000	0.6947	0.0000	-37.5239	0.0000	-39.9349	0.0000
16/17	0.3832	38.32	1.051	39.2551	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
18/17	0.1128	11.28	0.684	-6.1232	0.0000	0.0000	0.0000	0.0056	0.0000
15/17	0.0435	4.35	0.684	-2.2339	0.0000	0.0000	0.0000	0.0056	0.0000
18/19	0.0532	5.32	1.238	5.4459	0.0000	0.0164	0.0000	0.0000	0.0000
15/14	0.0187	1.87	1.238	1.9141	0.0000	0.0164	0.0000	0.0000	0.0000
20/19	0.2655	26.55	0.684	-14.6813	0.0000	0.0000	0.0000	0.0056	0.0000
13/14	0.1959	19.59	0.684	-10.7789	0.0000	0.0000	0.0000	0.0056	0.0000
20/21	0.1303	13.03	1.238	13.3499	0.0000	0.0164	0.0000	0.0000	0.0000
13/12	0.0959	9.59	1.238	9.8253	0.0000	0.0164	0.0000	0.0000	0.0000
22/21	0.4343	43.43	0.684	-24.1829	0.0000	0.0000	0.0000	0.0056	0.0000
11/12	0.3651	36.51	0.684	-20.2835	0.0000	0.0000	0.0000	0.0056	0.0000
22/23	0.2165	21.65	1.238	22.1794	0.0000	0.0164	0.0000	0.0000	0.0000
11/10	0.1821	18.21	1.238	18.6504	0.0000	0.0164	0.0000	0.0000	0.0000
24/23	0.6039	60.39	0.684	-33.7467	0.0000	0.0000	0.0000	0.0056	0.0000
9/10	0.5349	53.49	0.684	-29.8595	0.0000	0.0000	0.0000	0.0056	0.0000
24/25	0.3006	30.06	1.238	30.7925	0.0000	0.0164	0.0000	0.0000	0.0000
9/8	0.2663	26.63	1.238	27.2738	0.0000	0.0164	0.0000	0.0000	0.0000
26/25	0.7738	77.38	0.684	-43.3274	0.0000	0.0000	0.0000	0.0056	0.0000
7/8	0.7039	70.39	0.684	-39.3849	0.0000	0.0000	0.0000	0.0056	0.0000
26/27	0.3847	38.47	1.238	39.4015	0.0000	0.0164	0.0000	0.0000	0.0000
7/6	0.3500	35.00	1.238	35.8471	0.0000	0.0164	0.0000	0.0000	0.0000
28/27	0.9415	94.15	0.684	-52.7881	0.0000	0.0000	0.0000	0.0056	0.0000
5/6	0.8756	87.56	0.684	-49.0711	0.0000	0.0000	0.0000	0.0056	0.0000
28/29	0.4702	47.02	1.238	48.1693	0.0000	0.0164	0.0000	0.0000	0.0000
5/4	0.4367	43.67	1.238	44.7348	0.0000	0.0164	0.0000	0.0000	0.0000
31/29	0.8551	85.51	0.685	-63.2078	0.0000	0.0000	0.0000	0.0065	0.0000
2/4	0.7725	77.25	0.685	-57.0703	0.0000	0.0000	0.0000	0.0065	0.0000
15/16	0.7267	72.67	0.773	183.4539	0.0000	0.4391	0.0000	0.0000	0.0000
14/17	0.9714	97.14	0.000	-193.5766	0.0000	0.2911	0.0000	0.5750	0.0000
18/16	0.7267	72.67	0.773	183.4525	0.0000	0.4253	0.0000	0.0000	0.0000



Pórtico Viga Celosía 20 Metros de Luz

13/15	0.7170	71.70	1.546	180.9834	0.0000	0.1953	0.0000	0.3083	0.0000
19/17	0.9598	95.98	0.000	-191.3795	0.0000	0.2848	0.0000	0.5652	0.0000
12/14	0.9389	93.89	1.546	-186.3368	0.0000	-0.0300	0.0000	0.5750	0.0000
20/18	0.6995	69.95	1.546	176.5793	0.0000	0.1927	0.0000	0.2977	0.0000
11/13	0.6685	66.85	1.546	168.7504	0.0000	0.0232	0.0000	0.4856	0.0000
21/19	0.9074	90.74	1.546	-179.7286	0.0000	-0.0374	0.0000	0.5652	0.0000
10/12	0.8335	83.35	0.967	-168.7470	0.0000	0.0076	0.0000	0.4257	0.0000
22/20	0.6336	63.36	1.546	159.9392	0.0000	0.0154	0.0000	0.4708	0.0000
9/11	0.5770	57.70	1.546	145.6544	0.0000	0.0418	0.0000	0.3965	0.0000
23/21	0.7798	77.98	0.967	-157.7336	0.0000	0.0030	0.0000	0.4019	0.0000
8/10	0.6965	69.65	1.160	-140.2397	0.0000	-0.0103	0.0000	0.3881	0.0000
24/22	0.5246	52.46	1.546	132.4357	0.0000	0.0350	0.0000	0.3698	0.0000
7/9	0.4427	44.27	1.546	111.7575	0.0000	0.0264	0.0000	0.3363	0.0000
25/23	0.6198	61.98	1.353	-124.8245	0.0000	-0.0050	0.0000	0.3569	0.0000
6/8	0.5014	50.14	1.546	-100.9620	0.0000	-0.0127	0.0000	0.3060	0.0000
26/24	0.3729	37.29	1.546	94.1446	0.0000	0.0212	0.0000	0.2991	0.0000
5/7	0.2659	26.59	1.546	67.1192	0.0000	-0.0267	0.0000	0.2523	0.0000
27/25	0.4024	40.24	1.353	-81.1212	0.0000	-0.0071	0.0000	0.2551	0.0000
4/6	0.2579	25.79	0.580	-50.8540	0.0000	0.0042	0.0000	0.2144	0.0000
28/26	0.1785	17.85	1.546	45.0573	0.0000	-0.0424	0.0000	0.2072	0.0000
3/4	0.0930	9.30	0.000	9.2646	0.0000	-1.3181	0.0000	-0.7925	0.0000
29/27	0.1391	13.91	1.546	-26.6969	0.0000	-0.0308	0.0000	0.1499	0.0000
2/5	0.0454	4.54	1.549	11.4672	0.0000	0.0253	0.0000	0.0862	0.0000
31/28	0.0716	7.16	0.968	-14.8404	0.0000	0.0094	0.0000	0.0399	0.0000
32/29	0.1554	15.54	0.776	39.2287	0.0000	0.4088	0.0000	-0.0226	0.0000

Como podemos apreciar en el pórtico de la imagen, los montantes tanto superior como inferior, son los que más tensión están soportando. En el montante superior el aprovechamiento máximo se produce en la cumbrera siendo este del 97,10%, conforme nos vamos acercando al pilar la tensión a la que está sometido el perfil va disminuyendo hasta tener el 25,80% de aprovechamiento del mismo. En el montante inferior la distribución de tensiones es similar al montante superior. En este caso el aprovechamiento máximo es del 72,70%.

El aprovechamiento de las diagonales de la celosía es bastante diverso aunque este se distribuye de manera uniforme.



Pórtico Viga Celosía 20 Metros de Luz

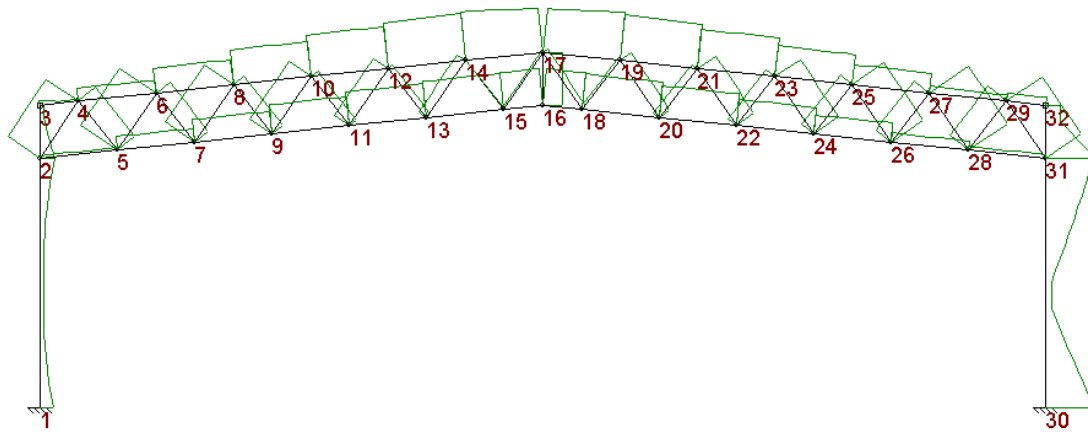


Diagrama de tensiones del pórtico.

La diagonal (2-4) y su simétrica tienen un aprovechamiento del 85,50%, el perfil utilizado para esta barra como ya se ha comentado más arriba es ligeramente superior al utilizado en las demás diagonales porque uno igual no aguantaba la tensión. Las diagonales (5-6), (7-8), (9-10) y las simétricas son las mejor aprovechadas con un 77,40%. Para las demás diagonales se ha utilizado el mismo perfil ya que no existe en la serie otro más pequeño y debido a esto el aprovechamiento del mismo disminuye bastante, estando entre el 43,40% y el 11,30%, conforme vallamos aumentando la luz del pórtico veremos como el aprovechamiento de estos perfiles irán aumentando.

A continuación vamos a describir lo que le ocurre al pilar derecho en cuanto a las tensiones. Si nos fijamos en la imagen anterior el pilar tiene dos zonas bien diferenciadas: inferior y superior. En la zona inferior el diagrama de tensiones tiene forma de triángulo recto, teniendo en la base del pilar un aprovechamiento de 97,40% y disminuyendo éste hasta el 16,90% justo a la mitad del pilar. En la parte superior del pilar la distribución de tensiones es exactamente igual pero a la inversa, partiendo a la mitad del pilar con un aprovechamiento del 16,90% y llegando en la parte superior del mismo al 96% de aprovechamiento. Como hemos podido apreciar la distribución de tensiones no es constante a lo largo del perfil, esto es debido a que el perfil utilizado como pilar no está reforzado en los nudos y teniendo así una zona donde el aprovechamiento es muy bajo.

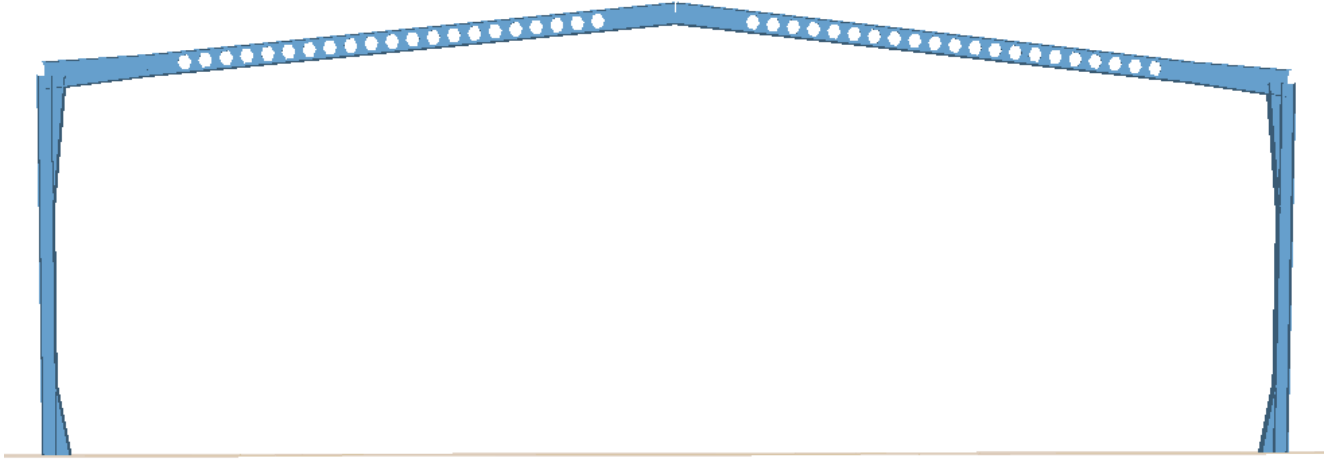


PÓRTICO VIGA VOID



PÓRTICO VIGA VOID 20 METROS DE LUZ

1. Descripción general del pórtico:

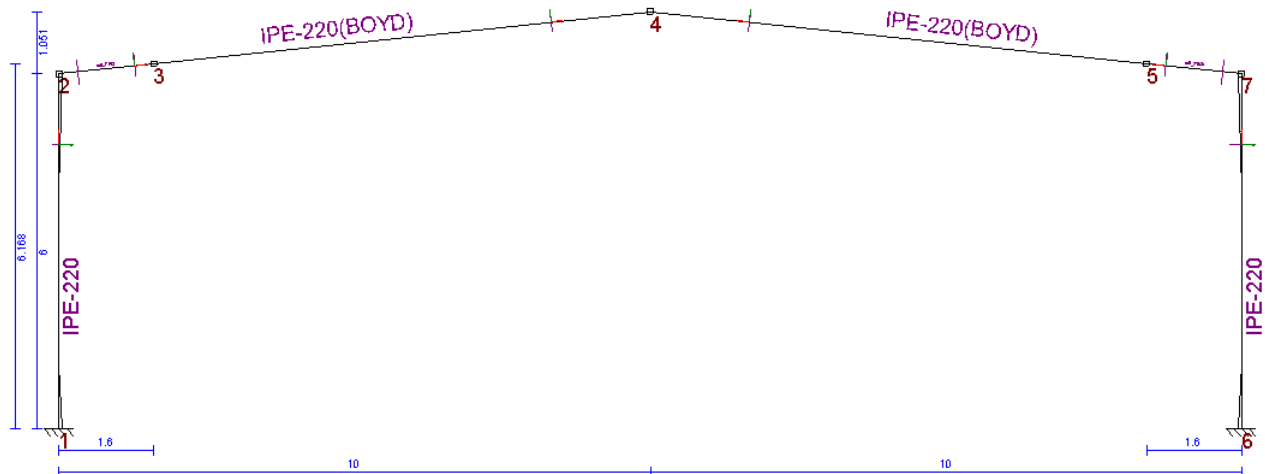


Interpretación real del pórtico

El pórtico que nos ocupa tiene 20 metros de luz y está formado por perfiles IPE de 220 mm. de alma, cuyo dintel es de tipo VOID también con perfil IPE de 220 mm. Los pilares están reforzados en su parte inferior y superior por cartelas. Las cartelas inferiores tienen una longitud de 1,10 metros y las superiores 2,00 metros. El hecho de colocar unas cartelas tan grandes es para conseguir un mayor aprovechamiento del perfil utilizando una sección de perfil menor.

El diseño del dintel empezando de izquierda a derecha es el siguiente: empezamos colocando un perfil de sección variable, seguido de viga VOID con perfil IPE y el otro agua igual, viga VOID y último tramo con sección variable. Los tramos de sección variable los describimos a continuación: la unión con el pilar tiene un canto de 430 mm y junto a la viga de 320 mm que coincide con el alma de la viga utilizada posteriormente para que se pueda unir a ella con la mayor facilidad. El alma tiene un espesor de 6 mm. y el ala tiene 9 mm. de espesor. Este espesor se ha elegido lo más próximo al perfil IPE que se ha utilizado en la viga, debido a que nos tenemos que regir por espesores comerciales. La longitud de dicho perfil es de 1,61 metros. Los tramos VOID para esta luz se han diseñado de la siguiente manera: el perfil que se ha utilizado como ya hemos dicho es un IPE 220 mm., el cual se convierte al hacerlo VOID en un perfil que tiene 320 mm. de alma. Para este pórtico se le han rellenado un hueco en origen y tres más en la cumbrera de cada viga, adecuándonos de esta manera a lo solicitado en el diagrama de tensiones que se comentará más adelante.

A continuación mostramos un esquema del pórtico donde se detallan los nudos, perfiles utilizados y las cotas del mismo.



Esquema de nudos, cotas y tipo de perfil.

2. Descripción de valores aportados por Cype

Ahora se detallan los datos que nos aporta el programa en forma de tablas que describiremos a continuación:

2.1 - Nudos

Nudos	Coordenadas (m)			Vínculos
	X	Y	Z	
1	0.000	0.000	0.000	Empotrado
2	0.000	0.000	6.000	Empotrado
3	0.000	1.600	6.168	Empotrado
4	0.000	10.000	7.051	Empotrado
5	0.000	18.400	6.168	Empotrado
6	0.000	20.000	0.000	Empotrado
7	0.000	20.000	6.000	Empotrado

2.2 - Barras: Características Mecánicas

Descripción	Inerc.Tor. cm4	Inerc.y cm4	Inerc.z cm4	Sección cm2
Acero, Sección Variable, Perfil simple + Separación 412/312 mm	7.466	8566.956	150.652	39.720
Acero, IPE-220, Simple con cartelas (IPE)	9.150	2770.000	205.000	33.400
Acero, IPE-220, Boyd (alma aligerada) (IPE) H: 330.0 mm, S: 330.0 mm, macizados (1, 3)	9.150	6290.031	204.243	33.400



2.3.- Barras: Materiales Utilizados

Material	Mód.elást. (GPa)	Mód.el.trans. (GPa)	Lím.elás.\Fck (MPa)	Co.dilat. (m/m°C)	Peso espec. (KN/m3)
Acero (S275)	206.01	79.23	275.00	1.2e-005	77.01

2.4.- Barras: Descripción

Barras	Material	Perfil	Peso (Kp)	Volumen (m3)	Longitud (m)
1/2	Acero	IPE-220 (IPE) + carts. sup. 1.100 m y 2.000 m	196.39	0.025	6.00
2/3	Acero	Sección Variable + Separación 412/312 mm	50.17	0.006	1.61
3/4	Acero	IPE-220(BOYD) (IPE) H: 330.0 mm, S: 330.0 mm,	226.77	0.029	8.45
5/4	Acero	IPE-220(BOYD) (IPE) H: 330.0 mm, S: 330.0 mm,	226.77	0.029	8.45
7/5	Acero	Sección Variable + Separación 412/312 mm	50.17	0.006	1.61
6/7	Acero	IPE-220 (IPE) + carts. inf. 1.100 m y 2.000 m	196.39	0.025	6.00

2.5.- Barras: Resumen Medición (Acero)

Descripción			Peso (Kp)			Longitud (m)		
			Perfil	Serie	Acero	Perfil	Serie	Acero
Acero (S275)	Sección	Sección Variable, Perfil	100.34			3.22		
		IPE-220, Simple con c...	392.78	100.34		12.00	3.22	
	IPE	IPE-220, Simple con c...		392.78			12.00	
		IPE-220, Boyd (alma a...	453.54			16.90		
	IPE			453.54			16.90	
					946.66			32.12
					946.66			32.12

Como podemos apreciar en la tabla, el utilizar la viga VOID hace que se aligere bastante la estructura teniendo un peso total de la misma de 946,66 Kg.

2.6.- Cargas (Barras)

Barras	Hipót.	Tipo	Cargas				Dirección		
			P1	P2	L1 (m)	L2 (m)	X	Y	Z
2/3	1 (PP 1)	Trapez.	0.329 KN/m	0.283 KN/m	0.000	1.609	0.000	0.000	-1.000
2/3	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
7/5	1 (PP 1)	Trapez.	0.329 KN/m	0.283 KN/m	0.000	1.609	0.000	0.000	-1.000
7/5	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Trapez.	0.427 KN/m	0.381 KN/m	0.000	0.550	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Trapez.	0.381 KN/m	0.335 KN/m	0.550	1.100	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Faja	0.257 KN/m	-	1.100	4.000	0.000	0.000	-1.000



Pórtico Viga Void 20 Metros de Luz

1/2	1 (PP 1)	Trapez.	0.335 KN/m	0.381 KN/m	4.000	5.000	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Trapez.	0.381 KN/m	0.427 KN/m	5.000	6.000	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Uniforme	2.340 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
6/7	1 (PP 1)	Trapez.	0.427 KN/m	0.381 KN/m	0.000	0.550	0.000	0.000	-1.000
6/7	1 (PP 1)	Trapez.	0.381 KN/m	0.335 KN/m	0.550	1.100	0.000	0.000	-1.000
6/7	1 (PP 1)	Faja	0.257 KN/m	-	1.100	4.000	0.000	0.000	-1.000
6/7	1 (PP 1)	Trapez.	0.335 KN/m	0.381 KN/m	4.000	5.000	0.000	0.000	-1.000
6/7	1 (PP 1)	Trapez.	0.381 KN/m	0.427 KN/m	5.000	6.000	0.000	0.000	-1.000
6/7	1 (PP 1)	Uniforme	1.020 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
3/4	1 (PP 1)	Faja	0.297 KN/m	-	0.000	0.318	0.000	0.000	-1.000
3/4	1 (PP 1)	Faja	0.257 KN/m	-	0.318	7.468	0.000	0.000	-1.000
3/4	1 (PP 1)	Faja	0.297 KN/m	-	7.468	8.446	0.000	0.000	-1.000
3/4	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
5/4	1 (PP 1)	Faja	0.297 KN/m	-	0.000	0.318	0.000	0.000	-1.000
5/4	1 (PP 1)	Faja	0.257 KN/m	-	0.318	7.468	0.000	0.000	-1.000
5/4	1 (PP 1)	Faja	0.297 KN/m	-	7.468	8.446	0.000	0.000	-1.000
5/4	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000

2.7.- Desplazamientos

Nudos	Descripción	DESPLAZAMIENTOS (EJES GENERALES)					
		DX (m)	DY (m)	DZ (m)	GX (rad)	GY (rad)	GZ (rad)
1	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	-0.0006	0.0002	-0.0103	0.0000	0.0000
		0.0000	-0.0006	0.0002	-0.0103	0.0000	0.0000
3	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0016	-0.0219	-0.0167	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0016	-0.0219	-0.0167	0.0000	0.0000
4	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0134	-0.1373	0.0010	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0134	-0.1373	0.0010	0.0000	0.0000
5	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0256	-0.0172	0.0144	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0256	-0.0172	0.0144	0.0000	0.0000
6	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
7	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0273	0.0001	0.0066	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0273	0.0001	0.0066	0.0000	0.0000

El desplazamiento vertical que se produce en la cumbrera es de 13,73 cm, como podemos apreciar en la tabla.



2.8.- Reacciones

Nudos	Descripción	REACCIONES (EJES GENERALES)					
		RX (KN)	RY (KN)	RZ (KN)	MX (KN·m)	MY (KN·m)	MZ (KN·m)
1	Envolvente (Cim.equil.)	0.0000	16.2022	40.0623	-61.5857	0.0000	0.0000
		0.0000	24.3032	60.0935	-41.0571	0.0000	0.0000
1	Envolvente (Cim.tens.terr.)	0.0000	16.2022	40.0623	-41.0571	0.0000	0.0000
		0.0000	16.2022	40.0623	-41.0571	0.0000	0.0000
6	Envolvente (Cim.equil.)	0.0000	-54.5432	41.6213	85.9475	0.0000	0.0000
		0.0000	-36.3622	62.4319	128.9213	0.0000	0.0000
6	Envolvente (Cim.tens.terr.)	0.0000	-36.3622	41.6213	85.9475	0.0000	0.0000
		0.0000	-36.3622	41.6213	85.9475	0.0000	0.0000

2.9.-Tensiones

Barras	TENSIÓN MÁXIMA								
	TENS. ()	APROV. (%)	Pos. (m)	N (KN)	Vy (KN)	Vz (KN)	Mt (KN·m)	My (KN·m)	Mz (KN·m)
2/3	0.8369	83.69	0.000	-45.9799	0.0000	-46.9381	0.0000	-132.5410	0.0000
7/5	0.9697	96.97	0.000	-46.1996	0.0000	-49.0312	0.0000	-153.5869	0.0000
1/2	0.7814	78.14	4.000	-52.5115	0.0000	-34.5089	0.0000	55.8733	0.0000
6/7	0.9481	94.81	4.000	-54.6161	0.0000	43.5809	0.0000	-67.7911	0.0000
3/4	0.8711	87.11	6.753	-41.4205	0.0000	-3.5064	0.0000	77.9419	0.0000
5/4	0.9883	98.83	0.318	-45.1436	0.0000	-38.9244	0.0000	-68.8574	0.0000

La descripción de las tensiones para este pórtico se reduce a la descripción del pilar y viga derecha del mismo, ya que en estas zonas es donde se producen las mayores tensiones. Vamos a empezar comentando el pilar: como ya sabemos, dicho pilar está formado por IPE 220mm reforzado con cartela inferior de 1,1 metros de longitud y cartela superior de 2,00 metros de longitud. Las tensiones en el pilar están distribuidas de manera que quedan tres zonas bien diferenciadas. En la primera zona junto al suelo las tensiones son bastante altas y por eso el hecho de colocar cartelas para que el perfil sea capaz de aguantar dicha tensión quedando éste aprovechado en un 90,00%. La zona intermedia tiene una longitud aproximada de 2,00 metros, en la cual el aprovechamiento medio del perfil es del 40%, esta zona se ha reducido en longitud comparada con las luces estudiadas anteriormente. Por último, en el pilar tenemos una zona junto a la viga en la que el aprovechamiento es el mayor de todo el pilar, alcanzando éste el 94,80%. Como podemos apreciar en el diagrama de tensiones, en esta zona la distribución de tensiones es bastante uniforme cubriendo una zona muy amplia, debido a esto se ha elegido la cartela correspondiente, la cual se ha descrito anteriormente.



Pórtico Viga Void 20 Metros de Luz

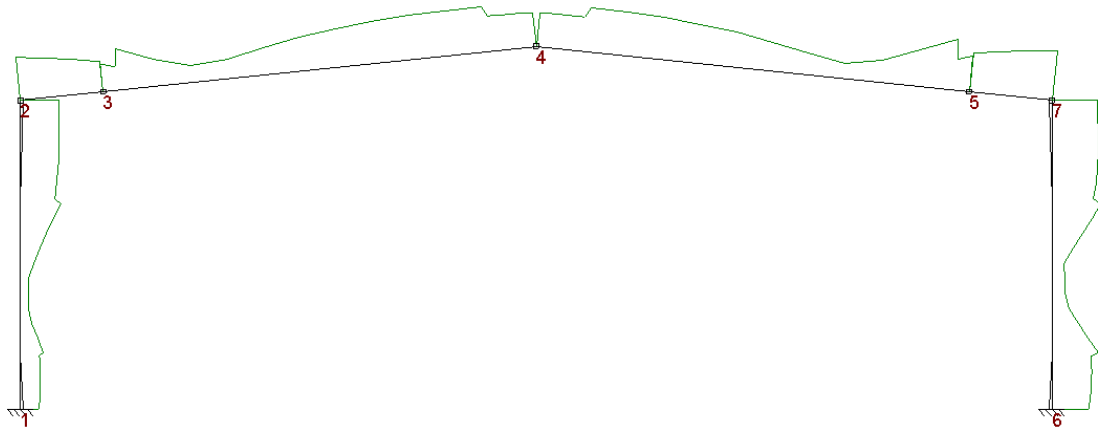


Diagrama de tensiones del pórtico.

En cuanto a la viga, podemos apreciar como el reparto de tensiones es bastante uniforme a lo largo de la misma. En este tipo de pórticos me he visto obligado a colocar un pequeño tramo de perfil de sección variable (5/7), debido a que el IPE tipo Void utilizado como viga no era capaz de aguantar la tensión en esta zona ni aún rellenado los huecos hexagonales de dicho perfil, tenía que aumentar el perfil y ya no sería una solución viable económicamente. Dicho tramo (5/7) está aprovechado en un 97,00% lo cual es una cifra bastante buena. La continuación de esta viga se ha realizado como ya sabemos con IPE 220 Void al cual se le ha rellenado tres huecos en la cumbrera y uno junto al tramo de sección variable para que la sección utilizada no fallara por cuestiones de tensión, debido a esto se produce el salto que podemos ver en el diagrama de tensiones. El aprovechamiento máximo de dicho tramo (4/5) es del 98,80%. La viga también tiene una zona intermedia en la que el aprovechamiento del perfil disminuye, pero si comparamos con las luces estudiadas anteriormente, vemos como este aprovechamiento ha aumentado considerablemente. En la última zona junto a la cumbrera, el aprovechamiento del perfil disminuye un poco respecto a la primera zona antes comentada estando ésta en 85,30%.

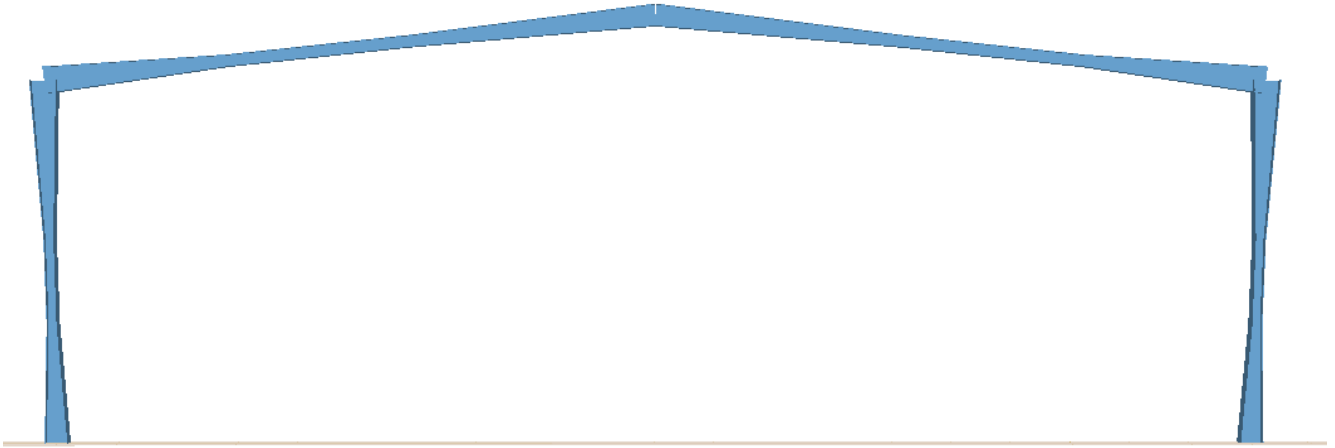


PÓRTICO SECCIÓN VARIABLE



PÓRTICO SECCIÓN VARIABLE DE 20 METROS DE LUZ

1. Descripción general del pórtico:



Interpretación real del pórtico

El pórtico que vamos a describir a continuación tiene 20 metros de luz y está formado en su totalidad por perfiles de sección variable. Con este tipo de diseño lo que intentamos conseguir es minimizar la cantidad de acero a utilizar en el pórtico para así poder reducir los costes del mismo, disminuyendo o aumentando el canto y espesor del perfil según nos vaya haciendo falta realmente.

Para el diseño del pórtico hemos creado 13 nudos, de los cuales dos son empotramientos y los demás nudos rígidos, por tanto tenemos doce barras. El espesor utilizado en los perfiles es el siguiente: el alma tiene un espesor de 6mm. y las alas tienen 9mm. de espesor.

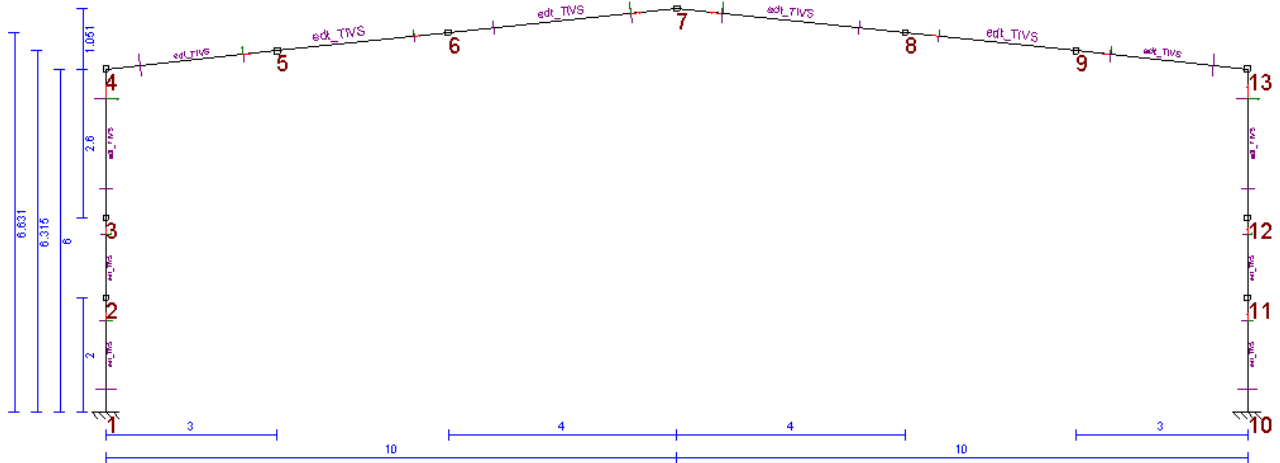
El pilar lo he dividido en tres partes teniendo así tres barras diferentes. La primera barra (1-2), tiene una longitud de 2,00 metros con un canto inicial de 380mm y final de 165mm. La segunda barra (2-3) es de sección constante debido a que en esta zona las tensiones sobre el perfil son pequeñas y se mantienen a lo largo de esta barra, el canto de dicha barra es de 165mm y la longitud de la misma es de 1,40 metros. La tercera barra (3-4), vuelve a ser de sección variable con una longitud de 2,6 metros, teniendo un canto inicial de 165mm y final de 435mm.

En la viga también tenemos tres barras diferentes, continuando con la tercera del pilar, seguimos con la primera de la viga (4-5), la cual tiene una longitud de 3,02 metros con un canto inicial igual al del pilar de 435mm y final de 190mm. La segunda barra (5-6) al igual que ocurre en el pilar, es de sección constante pero en este caso tiene 190mm de canto y una longitud de 3,02



metros. Por último la tercera barra (6-7) tiene una longitud de 4,02 metros, el canto inicial es de 190mm y el final 350mm.

A continuación mostramos un esquema del pórtico donde se detallan los nudos y las cotas del mismo.



Esquema de nudos, cotas y tipo de perfil.

2. Descripción de valores aportados por Cype

Ahora se detallan los datos que nos aporta el programa en forma de tablas en las cuales podemos apreciar nudos, cargas, tensiones, pesos, cotas, etc., que describiremos a continuación:

2.1 - Nudos

Nudos	Coordenadas (m)			Vínculos
	X	Y	Z	
1	0.000	0.000	0.000	Empotrado
2	0.000	0.000	2.000	Empotrado
3	0.000	0.000	3.400	Empotrado
4	0.000	0.000	6.000	Empotrado
5	0.000	3.000	6.315	Empotrado
6	0.000	6.000	6.631	Empotrado
7	0.000	10.000	7.051	Empotrado
8	0.000	14.000	6.631	Empotrado
9	0.000	17.000	6.315	Empotrado
10	0.000	20.000	0.000	Empotrado
11	0.000	20.000	2.000	Empotrado
12	0.000	20.000	3.400	Empotrado
13	0.000	20.000	6.000	Empotrado



2.2 - Barras: Características Mecánicas

Descripción	Inerc.Tor. cm ⁴	Inerc.y cm ⁴	Inerc.z cm ⁴	Sección cm ²
Acero, Sección Variable, Perfil simple + Separación 147/147 mm	6.404	1364.795	199.915	28.620
Acero, Sección Variable, Perfil simple + Separación 172/172 mm	6.584	1877.428	199.960	30.120
Acero, Sección Variable, Perfil simple + Separación 172/332 mm	7.160	4173.476	200.104	34.920
Acero, Sección Variable, Perfil simple + Separación 362/147 mm	7.178	4262.434	200.108	35.070
Acero, Sección Variable, Perfil simple + Separación 147/417 mm	7.376	5314.334	200.158	36.720
Acero, Sección Variable, Perfil simple + Separación 417/172 mm	7.466	5837.996	200.180	37.470

2.3.- Barras: Materiales Utilizados

Material	Mód.elást. (GPa)	Mód.el.trans. (GPa)	Lím.elás.\Fck (MPa)	Co.dilat. (m/m°C)	Peso espec. (KN/m ³)
Acero (S275)	206.01	79.23	275.00	1.2e-005	77.01

2.4.- Barras: Descripción

Barras	Material	Perfil	Peso (Kp)	Volumen (m ³)	Longitud (m)
1/2	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 362/147 mm	55.08	0.007	2.00
2/3	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 147/147 mm	31.45	0.004	1.40
3/4	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 147/417 mm	74.92	0.010	2.60
4/5	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 417/172 mm	88.75	0.011	3.02
5/6	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 172/172 mm	71.33	0.009	3.02
6/7	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 172/332 mm	110.22	0.014	4.02
8/7	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 172/332 mm	110.22	0.014	4.02
9/8	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 172/172 mm	71.33	0.009	3.02
13/9	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 417/172 mm	88.75	0.011	3.02
10/11	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 362/147 mm	55.08	0.007	2.00
11/12	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 147/147 mm	31.45	0.004	1.40
12/13	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 147/417 mm	74.92	0.010	2.60

2.5.- Barras: Resumen Medición (Acero)

Descripción			Peso (Kp)			Longitud (m)		
			Perfil	Serie	Acero	Perfil	Serie	Acero
Acero (S275)	Sección	Sección Variable, Perfil	863.50	863.50	863.50	32.12	32.12	32.12
					863.50			32.12
					863.50			32.12

El peso total del pórtico como podemos apreciar en la tabla es de 863,50 Kg., éste es inferior al pórtico Void y al de IPE como veremos más adelante.



2.6.- Cargas (Barras)

Barras	Hipót.	Tipo	Cargas				Dirección		
			P1	P2	L1 (m)	L2 (m)	X	Y	Z
6/7	1 (PP 1)	Trapez.	0.232 KN/m	0.306 KN/m	0.000	4.022	0.000	0.000	-1.000
6/7	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
8/7	1 (PP 1)	Trapez.	0.232 KN/m	0.306 KN/m	0.000	4.022	0.000	0.000	-1.000
8/7	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
5/6	1 (PP 1)	Uniforme	0.232 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
5/6	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
9/8	1 (PP 1)	Uniforme	0.232 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
9/8	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
4/5	1 (PP 1)	Trapez.	0.345 KN/m	0.232 KN/m	0.000	3.016	0.000	0.000	-1.000
4/5	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
13/9	1 (PP 1)	Trapez.	0.345 KN/m	0.232 KN/m	0.000	3.016	0.000	0.000	-1.000
13/9	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
3/4	1 (PP 1)	Trapez.	0.220 KN/m	0.345 KN/m	0.000	2.600	0.000	0.000	-1.000
3/4	1 (PP 1)	Uniforme	2.340 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
10/11	1 (PP 1)	Trapez.	0.320 KN/m	0.220 KN/m	0.000	2.000	0.000	0.000	-1.000
10/11	1 (PP 1)	Uniforme	1.020 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
2/3	1 (PP 1)	Uniforme	0.220 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
2/3	1 (PP 1)	Uniforme	2.340 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
11/12	1 (PP 1)	Uniforme	0.220 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
11/12	1 (PP 1)	Uniforme	1.020 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
1/2	1 (PP 1)	Trapez.	0.320 KN/m	0.220 KN/m	0.000	2.000	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Uniforme	2.340 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
12/13	1 (PP 1)	Trapez.	0.220 KN/m	0.345 KN/m	0.000	2.600	0.000	0.000	-1.000
12/13	1 (PP 1)	Uniforme	1.020 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000

2.7.- Desplazamientos

Nudos	Descripción	DESPLAZAMIENTOS (EJES GENERALES)					
		DX (m)	DY (m)	DZ (m)	GX (rad)	GY (rad)	GZ (rad)
1	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	-0.0069	-0.0001	0.0067	0.0000	0.0000
		0.0000	-0.0069	-0.0001	0.0067	0.0000	0.0000
3	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	-0.0158	-0.0002	0.0023	0.0000	0.0000
		0.0000	-0.0158	-0.0002	0.0023	0.0000	0.0000
4	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0013	-0.0003	-0.0138	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0013	-0.0003	-0.0138	0.0000	0.0000
5	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0078	-0.0631	-0.0280	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0078	-0.0631	-0.0280	0.0000	0.0000
6	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0164	-0.1465	-0.0204	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0164	-0.1465	-0.0204	0.0000	0.0000
7	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0193	-0.1759	0.0022	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0193	-0.1759	0.0022	0.0000	0.0000
8	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0239	-0.1306	0.0231	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0239	-0.1306	0.0231	0.0000	0.0000



Pórtico Sección Variable 20 Metros de Luz

9	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0325	-0.0472	0.0248	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0325	-0.0472	0.0248	0.0000	0.0000
10	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
11	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0132	-0.0001	-0.0134	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0132	-0.0001	-0.0134	0.0000	0.0000
12	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0343	-0.0002	-0.0113	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0343	-0.0002	-0.0113	0.0000	0.0000
13	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0372	-0.0003	0.0072	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0372	-0.0003	0.0072	0.0000	0.0000

El desplazamiento vertical que se produce debido a la flexión en el nudo 7 es de 17,59 cm. Éste valor es muy importante tenerlo en cuenta a la hora del diseño del pórtico, porque este desplazamiento no puede ser excesivo.

2.8.- Reacciones

Nudos	Descripción	REACCIONES (EJES GENERALES)					
		RX (KN)	RY (KN)	RZ (KN)	MX (KN·m)	MY (KN·m)	MZ (KN·m)
1	Envolvente (Cim.equil.)	0.0000	19.0428	39.7463	-76.7351	0.0000	0.0000
		0.0000	28.5643	59.6195	-51.1567	0.0000	0.0000
1	Envolvente (Cim.tens.terr.)	0.0000	19.0428	39.7463	-51.1567	0.0000	0.0000
		0.0000	19.0428	39.7463	-51.1567	0.0000	0.0000
10	Envolvente (Cim.equil.)	0.0000	-58.8043	41.1214	97.8857	0.0000	0.0000
		0.0000	-39.2028	61.6821	146.8286	0.0000	0.0000
10	Envolvente (Cim.tens.terr.)	0.0000	-39.2028	41.1214	97.8857	0.0000	0.0000
		0.0000	-39.2028	41.1214	97.8857	0.0000	0.0000

2.9.-Tensiones

Barras	TENSION MÁXIMA								
	TENS. ()	APROV. (%)	Pos. (m)	N (KN)	Vy (KN)	Vz (KN)	Mt (KN·m)	My (KN·m)	Mz (KN·m)
6/7	0.8044	80.44	0.603	-46.1880	0.0000	-12.1968	0.0000	52.4012	0.0000
8/7	0.7172	71.72	1.005	-46.1638	0.0000	-11.9658	0.0000	51.3200	0.0000
5/6	0.7891	78.91	3.017	-46.5195	0.0000	-15.2898	0.0000	44.1048	0.0000
9/8	0.6874	68.74	0.000	-48.3486	0.0000	-32.6554	0.0000	-38.4210	0.0000
4/5	0.8324	83.24	0.000	-49.7976	0.0000	-46.5737	0.0000	-142.0475	0.0000
13/9	0.9412	94.12	0.000	-49.9915	0.0000	-48.4200	0.0000	-160.6114	0.0000
3/4	0.8509	85.09	1.300	-52.0703	0.0000	-40.5551	0.0000	86.6565	0.0000
10/11	0.9374	93.74	0.000	-55.5139	0.0000	52.9238	0.0000	132.1457	0.0000
2/3	0.7836	78.36	1.400	-52.5118	0.0000	-36.4484	0.0000	36.6041	0.0000
11/12	0.8528	85.28	1.400	-54.3682	0.0000	48.2420	0.0000	-39.8363	0.0000
1/2	0.4913	49.13	0.250	-53.5517	0.0000	-26.4976	0.0000	-62.5359	0.0000
12/13	0.9961	99.61	1.207	-53.9618	0.0000	46.5798	0.0000	-97.0681	0.0000

La descripción de las tensiones para este pórtico se reduce a la descripción del pilar y viga derecha del mismo, ya que en estos es donde se produce las mayores tensiones. Vamos a empezar comentando el pilar: si echamos un vistazo al diagrama de tensiones podemos ver como el reparto de



tensiones en el pilar es uniforme a lo largo del mismo exceptuando la zona intermedia, pero siendo esta última un tramo muy corto de tan solo 1,00 metro del longitud. El valor de aprovechamiento de los perfiles es el siguiente: el que se encuentra junto al suelo (10-11) tiene un aprovechamiento del 93,74%, totalmente uniforme y constante en dicha barra. En la barra intermedia (11-12) el aprovechamiento medio es del 50% pero como hemos dicho anteriormente es una barra muy corta. Por último, la barra que se encuentra junto a la viga (12-13) vuelve a tener un aprovechamiento del 99,60%, siendo este valor uniforme y constante en toda la barra.

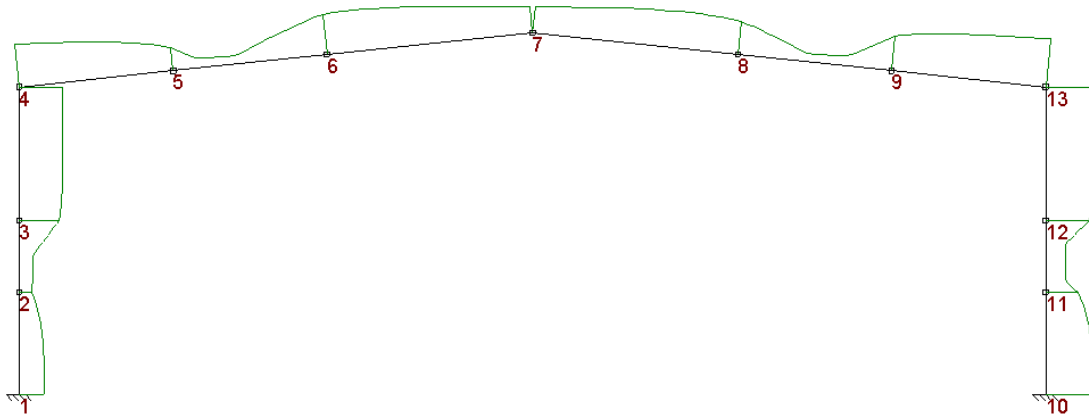


Diagrama de tensiones del pórtico.

La viga como ya sabemos consta de tres tramos. El tramo (9-13) está aprovechado de manera uniforme y constante al 94,12%. En la barra intermedia (8-9) existe una variación en el aprovechamiento del perfil, oscilando entre un 68,60% de máximo y el 19,80% de mínimo. Por último en la barra (7-8), como podemos apreciar en el diagrama de tensiones, el nudo 8 tiene un aprovechamiento del perfil de 65,60% y que dicho aprovechamiento va disminuyendo conforme nos acercamos a la cumbrera, siendo éste de 50,70%. Ésta disminución de aprovechamiento a lo largo del perfil se produce porque conforme nos acercamos a la cumbrera, el canto del perfil utilizado va siendo mayor. Es verdad que podríamos haber disminuido dicho canto para poder aprovecharlo mejor, pero si lo hubiéramos hecho el desplazamiento vertical que se produce en el nudo 7 sería demasiado grande y no lo podríamos permitir.



RESUMEN PARA 20 METROS DE LUZ



RESUMEN DEL ESTUDIO REALIZADO PARA 20 METROS

A continuación vamos a hacer una comparación entre los cuatro tipos de diseños descritos anteriormente para 20 metros de luz, eligiendo en base al estudio realizado la solución más aconsejable.

En la tabla que vemos justo debajo aparece a modo de resumen los datos más significativos de cada uno de los pórticos. Estos datos a los que hacemos referencia son: las tensiones o grado de aprovechamiento del perfil, el desplazamiento que se produce en el punto más alto de los pórticos (cubrerera) y por último, siendo éste el más importante, el peso total de la estructura. Decimos que es el más importante porque la finalidad de este estudio es conseguir la solución estructural más económica de entre las posibles y esto está relacionado directamente con el peso de la estructura.

(+Peso → +Coste)

Tabla 1. Resumen de los datos más significativos de los diseños estudiados

TIPO DE PÓRTICO	(APROVECHAMIENTO) TENSIONES %		DESPL. VERTICAL CUMBRERA (CM)	PESO PROPIO (KP)
	DINTEL DERECHO	PILAR DERECHO		
IPE 220	96,11%	99,46%	17,33cm	1009,66
VIGA VOID 220	96,97%	94,81%	13,73cm	946,66
SECCIÓN VARIABLE*	94,12%	99,61%	17,59 cm	863,50
VIGA CELOSÍA*		97,37%	5,90 cm	658,02

SECCIÓN VARIABLE* Es el único pórtico en el que el pilar no es un IPE, siendo éste de sección variable.

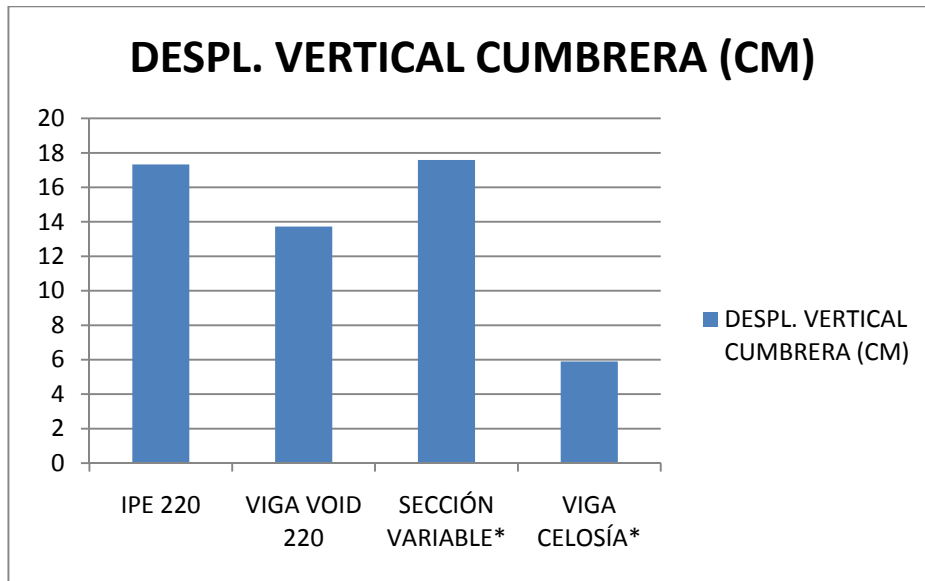
VIGA CELOSÍA* Debido a que la celosía tiene tantas barras, el aprovechamiento de las mismas es muy diverso, no teniendo muy claro el aprovechamiento medio de la misma.

En la tabla podemos ver cómo se van produciendo ya algunas diferencias significativas sobre todo en desplazamiento en cubrerera y el peso total de la estructura.

En cuanto a las tensiones o grado de aprovechamiento del perfil, se ha intentado que en cada uno de los pórticos estos valores sean máximos, por tanto la diferencia entre los mismos es muy pequeña. Atendiendo a la tabla, el tipo de pórtico que tiene un grado de aprovechamiento más alto en general es el diseño IPE.

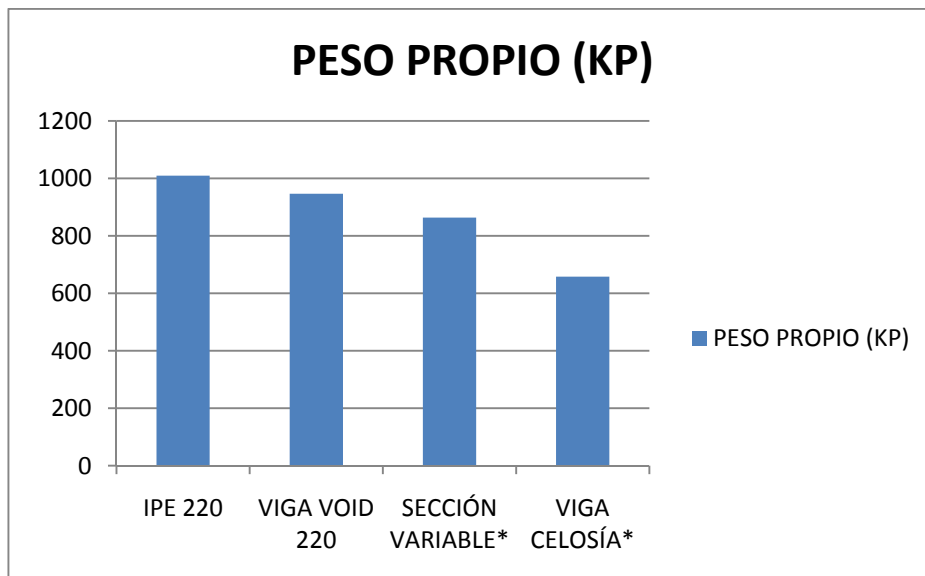


Gráfica 1. Desplazamiento vertical en función del tipo de pórtico



El desplazamiento vertical producido en la cumbrera para el pórtico en Celosía es de 5,90 cm, es en el que se produce menos deformación. Los demás pórticos tienen desplazamientos bastante superiores a la Celosía pero son muy parecidos entre ellos, variando solo entre 13cm y 17cm, como podemos apreciar en la tabla.

Gráfica 2. Kilos de acero en función del tipo de pórtico



El pórtico IPE como podemos apreciar en la tabla es el más pesado de todos con 1009,66 Kg., le sigue de cerca el diseño VOID con 946,66 Kg y justo después está el de sección variable con 863,50 Kg. Como podemos apreciar la diferencia que existe entre ellos es muy poca, apenas 150 Kg. Estos valores



nos dan una pista sobre la solución más adecuada, ya que de entre estas tres posibilidades la más económica es el diseño IPE aunque éste sea el más pesado, debido a que los costes de fabricación que tienen VOID y Variable son muy superiores al del IPE y atendiendo a que la diferencia de peso entre ellos es tan poca. Como podemos apreciar en la tabla el pórtico más ligero de todos es el de Celosía con un peso de 658,02 Kp.

Tras lo comentado anteriormente vemos como la diferencia de peso con respecto al pórtico de Celosía cada vez es mayor y es hora de plantearnos si esta solución es la más adecuada. Descartadas ya las opciones de Sección Variable y VOID, nos centramos en los pórticos IPE y Celosía. La diferencia de peso entre ambos es de aproximadamente 350 Kg. También es de valorar a la hora de decidirnos por la solución más acertada, los tiempos de fabricación de ambos pórticos. Como ya hemos comentado anteriormente el pórtico IPE es el que menos tiempo de fabricación en taller tiene, ya que se monta casi in situ en la obra. Por el contrario la Celosía tiene unos costes de fabricación muy superiores al IPE, pero en este caso la diferencia de peso entre pórticos contrarresta este valor.

En este caso tanto la solución IPE como la Celosía podrían ser la solución elegida, pero como hay que elegir una de ellas me voy a inclinar por el diseño Celosía ya que el grado de aprovechamiento de los perfiles es inferior al del IPE y los desplazamientos que se producen en la cumbrera también son menores, quedándonos así por el lado de la seguridad.



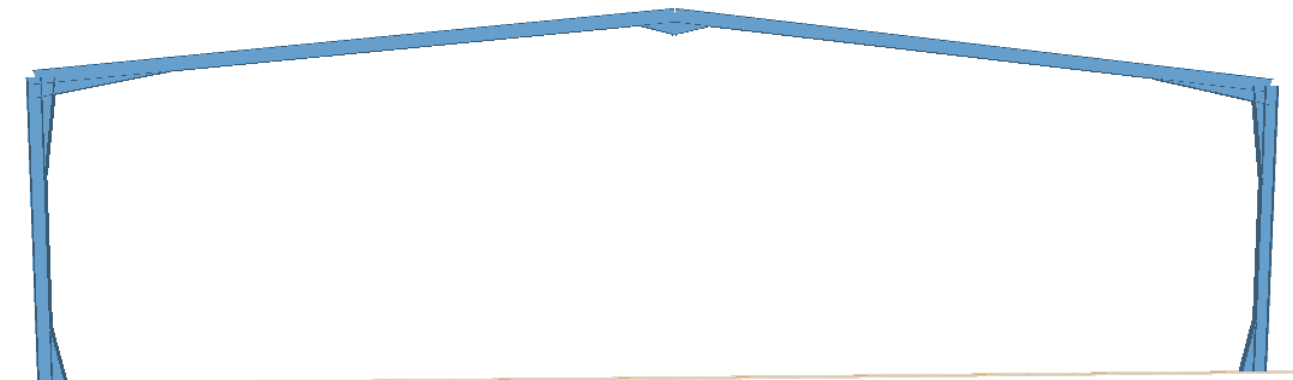
PÓRTICOS PARA 25 METROS DE LUZ



PÓRTICO PERFILES IPE

PÓRTICO IPE 25 METROS DE LUZ

1. Descripción general del pórtico:

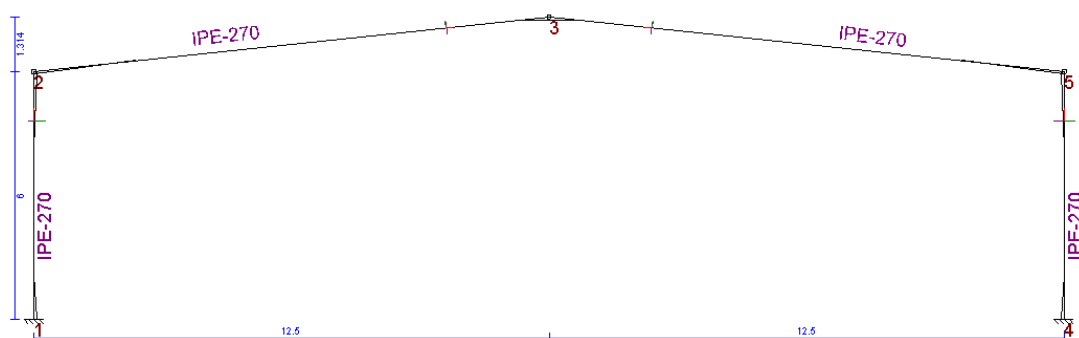


Interpretación real del pórtico

Este pórtico tiene 25 metros de luz y se ha realizado con perfil IPE de 270 milímetros de alma, para poder bajar el perfil lo máximo posible, ha sido necesaria la colocación de refuerzos “cartelas” en todos sus nudos. Estas cartelas se construyen con el mismo perfil utilizado en el pórtico pero cortado a la mitad en ángulo y colocándolas como aparecen en la imagen superior. La longitud de las cartelas superiores e inferiores del pilar son de 1,90 metros y 1,10 metros respectivamente, las cuales son relativamente grandes, pero que ha sido necesario colocar al ser el pilar de una sección tan pequeña.

Las vigas que conforman el dintel del pórtico también son IPE de 270 milímetros de alma. Estas vigas también han sido reforzadas en sus nudos con cartelas. La cartela de la cumbrera tiene una longitud de 0,70 metros y la que se encuentra junto al pilar tiene 2,50 metros. El diagrama de tensiones es similar a las luces estudiadas anteriormente, con la salvedad de que las zonas de aprovechamiento son mayores.

En la imagen que podemos apreciar más abajo, aparece a modo de esquema los perfiles utilizados en el pórtico, las cotas y la numeración de los nudos del mismo.



Esquema de nudos, cotas y tipo de perfil.



2. Descripción de valores aportados por Cype

A continuación aparecen unos listados con todos los datos de mediciones, tensiones, peso, reacciones, etc... que nos ha aportado Cype, junto con algunas aclaraciones para su mejor comprensión.

2.1 - Nudos

Nudos	Coordenadas (m)			Vínculos
	X	Y	Z	
1	0.000	0.000	0.000	Empotrado
2	0.000	0.000	6.000	Empotrado
3	0.000	12.500	7.314	Empotrado
4	0.000	25.000	0.000	Empotrado
5	0.000	25.000	6.000	Empotrado

2.2 - Barras: Características Mecánicas

Descripción	Inerc.Tor. cm ⁴	Inerc.y cm ⁴	Inerc.z cm ⁴	Sección cm ²
Acero, IPE-270, Simple con cartelas (IPE)	15.400	5790.000	420.000	45.900

2.3.- Barras: Materiales Utilizados

Material	Mód.elást. (GPa)	Mód.el.trans. (GPa)	Lím.elás.\Fck (MPa)	Co.dilat. (m/m°C)	Peso espec. (KN/m ³)
Acero (S275)	206.01	79.23	275.00	1.2e-005	77.01

2.4.- Barras: Descripción

Barras	Material	Perfil	Peso (Kp)	Volumen (m ³)	Longitud (m)
1/2	Acero (S275)	IPE-270 (IPE) + carts. sup. 1.100 m y 1.900 m	267.99	0.034	6.00
2/3	Acero (S275)	IPE-270 (IPE) + carts. inf. 2.500 m y 0.700 m	508.21	0.065	12.57
5/3	Acero (S275)	IPE-270 (IPE) + carts. inf. 2.500 m y 0.700 m	508.21	0.065	12.57
4/5	Acero (S275)	IPE-270 (IPE) + carts. inf. 1.100 m y 1.900 m	267.99	0.034	6.00



En esta tabla podemos apreciar las longitudes de las cartelas junto con la longitud de los perfiles utilizados y el peso de los mismos.

2.5.- Barras: Resumen Medición (Acero)

Descripción			Peso (Kp)			Longitud (m)		
			Perfil	Serie	Acero	Perfil	Serie	Acero
Acero (S275)	IPE	IPE-270, Simple con c...	1552.40	1552.40	1552.40	37.14	37.14	37.14
					1552.40			37.14
					1552.40			37.14
					1552.40			37.14

El peso total de la estructura como podemos apreciar en la tabla es de 1552,40 kg. Este peso es el más alto de entre todos los diseños estudiados como veremos más adelante, pero es de los más utilizados en la realidad.

2.6.- Cargas (Barras)

Barras	Hipót.	Tipo	Cargas				Dirección		
			P1	P2	L1 (m)	L2 (m)	X	Y	Z
2/3	1 (PP 1)	Trapez.	0.586 KN/m	0.523 KN/m	0.000	1.250	0.000	0.000	-1.000
2/3	1 (PP 1)	Trapez.	0.523 KN/m	0.460 KN/m	1.250	2.500	0.000	0.000	-1.000
2/3	1 (PP 1)	Faja	0.353 KN/m	-	2.500	11.869	0.000	0.000	-1.000
2/3	1 (PP 1)	Trapez.	0.353 KN/m	0.523 KN/m	11.869	12.219	0.000	0.000	-1.000
2/3	1 (PP 1)	Trapez.	0.523 KN/m	0.586 KN/m	12.219	12.569	0.000	0.000	-1.000
2/3	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
5/3	1 (PP 1)	Trapez.	0.586 KN/m	0.523 KN/m	0.000	1.250	0.000	0.000	-1.000
5/3	1 (PP 1)	Trapez.	0.523 KN/m	0.460 KN/m	1.250	2.500	0.000	0.000	-1.000
5/3	1 (PP 1)	Faja	0.353 KN/m	-	2.500	11.869	0.000	0.000	-1.000
5/3	1 (PP 1)	Trapez.	0.353 KN/m	0.523 KN/m	11.869	12.219	0.000	0.000	-1.000
5/3	1 (PP 1)	Trapez.	0.523 KN/m	0.586 KN/m	12.219	12.569	0.000	0.000	-1.000
5/3	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Trapez.	0.586 KN/m	0.523 KN/m	0.000	0.550	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Trapez.	0.523 KN/m	0.460 KN/m	0.550	1.100	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Faja	0.353 KN/m	-	1.100	4.100	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Trapez.	0.460 KN/m	0.523 KN/m	4.100	5.050	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Trapez.	0.523 KN/m	0.586 KN/m	5.050	6.000	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Uniforme	2.340 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
4/5	1 (PP 1)	Trapez.	0.586 KN/m	0.523 KN/m	0.000	0.550	0.000	0.000	-1.000
4/5	1 (PP 1)	Trapez.	0.523 KN/m	0.460 KN/m	0.550	1.100	0.000	0.000	-1.000
4/5	1 (PP 1)	Faja	0.353 KN/m	-	1.100	4.100	0.000	0.000	-1.000
4/5	1 (PP 1)	Trapez.	0.460 KN/m	0.523 KN/m	4.100	5.050	0.000	0.000	-1.000
4/5	1 (PP 1)	Trapez.	0.523 KN/m	0.586 KN/m	5.050	6.000	0.000	0.000	-1.000
4/5	1 (PP 1)	Uniforme	1.020 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000



2.7.- Desplazamientos

Nudos	Descripción	DESPLAZAMIENTOS (EJES GENERALES)					
		DX (m)	DY (m)	DZ (m)	GX (rad)	GY (rad)	GZ (rad)
1	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	-0.0122	0.0002	-0.0067	0.0000	0.0000
		0.0000	-0.0122	0.0002	-0.0067	0.0000	0.0000
3	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0084	-0.1958	0.0010	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0084	-0.1958	0.0010	0.0000	0.0000
4	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
5	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0292	0.0000	0.0038	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0292	0.0000	0.0038	0.0000	0.0000

El desplazamiento que se produce en la cumbrera como podemos ver en la tabla es de 19,58 cm. Este desplazamiento se debe a la flexión que se produce en las vigas.

2.8.- Reacciones

Nudos	Descripción	REACCIONES (EJES GENERALES)					
		RX (KN)	RY (KN)	RZ (KN)	MX (KN·m)	MY (KN·m)	MZ (KN·m)
1	Envolvente (Cim.equil.)	0.0000	39.4520	52.3658	-151.8683	0.0000	0.0000
		0.0000	59.1780	78.5487	-101.2455	0.0000	0.0000
1	Envolvente (Cim.tens.terr.)	0.0000	39.4520	52.3658	-101.2455	0.0000	0.0000
		0.0000	39.4520	52.3658	-101.2455	0.0000	0.0000
4	Envolvente (Cim.equil.)	0.0000	-89.4180	53.3215	149.7792	0.0000	0.0000
		0.0000	-59.6120	79.9822	224.6687	0.0000	0.0000
4	Envolvente (Cim.tens.terr.)	0.0000	-59.6120	53.3215	149.7792	0.0000	0.0000
		0.0000	-59.6120	53.3215	149.7792	0.0000	0.0000

2.9.- Tensiones

Barras	TENSION MÁXIMA								
	TENS. ()	APROV. (%)	Pos. (m)	N (KN)	Vy (KN)	Vz (KN)	Mt (KN·m)	My (KN·m)	Mz (KN·m)
2/3	0.8779	87.79	2.500	-78.9773	0.0000	-42.5541	0.0000	-106.2282	0.0000
5/3	0.9847	98.47	2.500	-79.1586	0.0000	-43.8315	0.0000	-119.1436	0.0000
1/2	0.8753	87.53	4.100	-68.4857	0.0000	-66.2121	0.0000	105.9137	0.0000
4/5	0.9659	96.59	1.100	-64.4811	0.0000	84.5435	0.0000	116.8759	0.0000



El pórtico que nos ocupa consta de cuatro barras, pero realmente a efectos de estudio solo vamos a describir la viga de la derecha y el pilar derecho ya que, según hemos aplicado la hipótesis de carga, son los que están soportando más tensión.

Como podemos apreciar en la tabla el grado de aprovechamiento del pilar y viga derecha es bastante alto 96,59% y 98,47% respectivamente, lo cual nos indica que el diseño utilizado es bastante bueno.

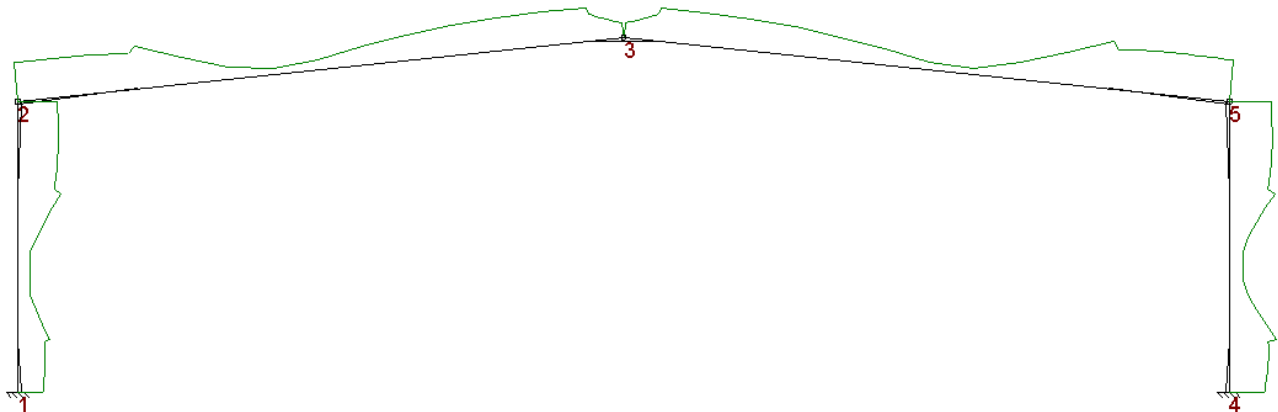


Diagrama de tensiones del pórtico.

Si nos fijamos ahora en el diagrama de tensiones vemos como este alto aprovechamiento de los perfiles se produce en las cercanías de los nudos, habiendo una zona tanto en el pilar como en la viga en la que este aprovechamiento disminuye considerablemente, pero al ser un perfil constante esta zona no se puede aprovechar más. Utilizando otros diseños como sección variable veremos que esta zona se disminuye de manera considerable.

A continuación vamos a describir lo que le ocurre al pilar y viga derecho en cuanto al grado de aprovechamiento del perfil.

El pilar tiene tres zonas bien diferenciadas, la primera junto al suelo tiene una longitud de unos 1,4 metros en la que el reparto de tensiones es uniforme y bastante grande, debido a esto se ha colocado la cartela reforzando esta zona, con una longitud de 1,10 metros. El aprovechamiento en esta zona está en torno al 96,60% justo en el punto donde acaba la cartela. En la zona intermedia del pilar de unos 2,8 metros de longitud, el aprovechamiento medio está en torno al 55%, habiendo una pequeña zona donde dicho aprovechamiento es del 29,90%. Por último, en la zona junto a la viga, el aprovechamiento vuelve a subir hasta el 94,10% manteniéndose casi constante en un tramo de 2,10 metros de longitud. Debido al aumento de la tensión hasta tal punto, ha sido necesaria la colocación de la cartela de 1,90 metros de longitud para reforzar esta zona.



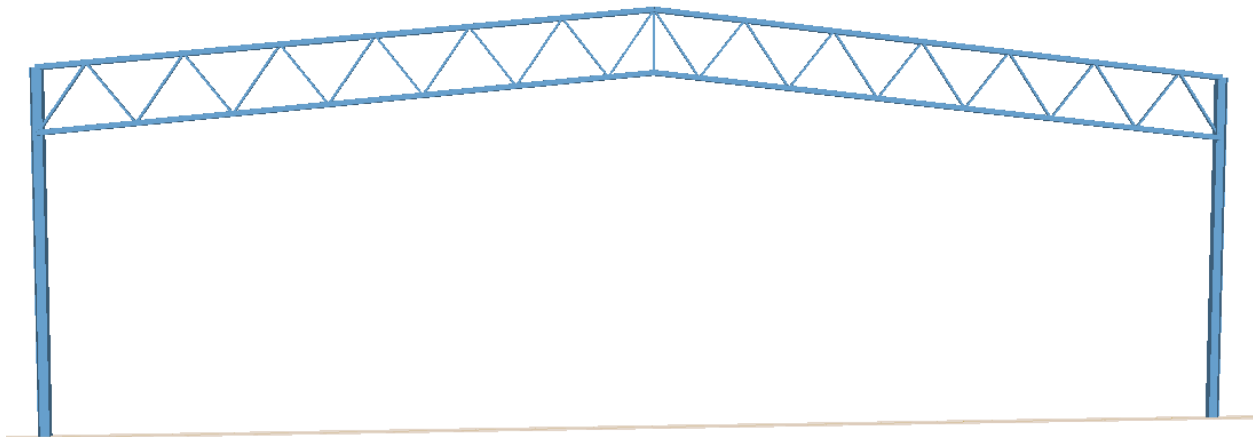
Para la viga la distribución de tensiones es bastante similar a la del pilar. La primera zona que está pegando a la cumbrera, la tensión es inferior a la que se produce junto al pilar, si atendemos al estudio realizado en las luces anteriores para este diseño vemos que conforme aumenta la luz el aprovechamiento del perfil en la zona de la cumbrera va disminuyendo considerablemente, siendo el aprovechamiento para esta zona del 69%. La cartela colocada en dicha zona tiene una longitud de 0,70 metros, este refuerzo no le hace falta por cuestiones de tensión sino por reforzar una zona bastante delicada, debido a los desplazamientos que se producen en ella. La zona intermedia del perfil comprende unos 8,50 metros. En dicha zona la tensión que soporta el perfil es bastante inferior a la del resto del mismo, teniendo una pequeña zona con tan solo el 13,20% de aprovechamiento del perfil. El último tramo junto al pilar, el aprovechamiento como podemos apreciar es más alto y más uniforme a lo largo del perfil teniendo un valor de 98,50%. Por tanto ha sido necesaria la colocación de una cartela con una longitud de 2,50 metros.



PÓRTICO VIGA DE CELOSÍA

PÓRTICO VIGA DE CELOSÍA 25 METROS DE LUZ

1. Descripción general del pórtico:



Interpretación real del pórtico

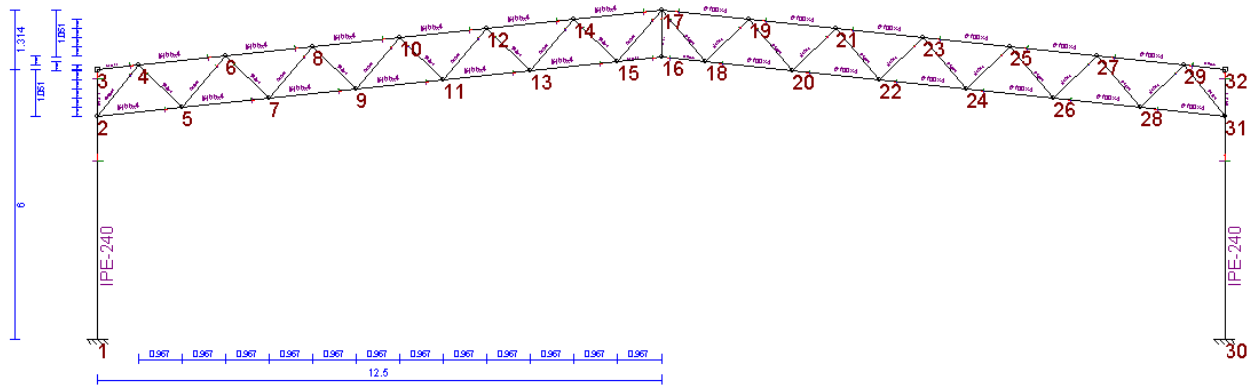
El pórtico que nos ocupa como ya sabemos tiene 25 metros de luz, sus pilares son IPE y la viga es una celosía cuyo diseño es el mismo de las estudiadas anteriormente.

Para los pilares se ha utilizado una sección de IPE 240 mm. En este caso no ha sido necesaria la colocación de cartelas inferiores ya que el diagrama de tensiones para el pilar ha cambiado ligeramente, equilibrándose la zona inferior con la superior del mismo. Esto quiere decir que el aprovechamiento de la parte inferior del perfil es muy similar al de la parte superior y como en la parte superior no colocamos cartelas por cuestiones de diseño en la parte inferior no son necesarias.

La viga como ya hemos comentado se ha solucionado con una celosía, ésta tiene una altura entre montantes de 1,051 m, dichos montantes están formados por perfiles cuadrados huecos de 100 mm de lado y 4 mm de espesor. Las diagonales están formadas por el mismo tipo de perfil pero con una sección inferior, teniendo 40 mm de lado y un espesor de 4 mm salvo la diagonal que está junto al pilar (2-4) y la (5-6) que tiene 45mm de lado y 4mm de espesor. La celosía está formada por un montante vertical en la cumbrera y veintiséis diagonales, las cuales forman un ángulo con el montante inferior de 46°.



Pórtico Viga Celosía 25 Metros de Luz



Esquema de nudos, cotas y tipo de perfil.

En la imagen superior como podemos apreciar aparecen los nudos, cotas y perfiles utilizados, los cuales se describen a continuación:

2. Descripción de valores aportados por Cype

2.1 - Nudos

Nudos	Coordenadas (m)			Vínculos
	X	Y	Z	
1	0.000	0.000	0.000	Empotrado
2	0.000	0.000	4.949	Articulado
3	0.000	0.000	6.000	Empotrado
4	0.000	0.896	6.094	Articulado
5	0.000	1.863	5.145	Articulado
6	0.000	2.830	6.297	Articulado
7	0.000	3.797	5.348	Articulado
8	0.000	4.764	6.501	Articulado
9	0.000	5.731	5.551	Articulado
10	0.000	6.698	6.704	Articulado
11	0.000	7.665	5.755	Articulado
12	0.000	8.632	6.907	Articulado
13	0.000	9.599	5.958	Articulado
14	0.000	10.566	7.111	Articulado
15	0.000	11.533	6.161	Articulado
16	0.000	12.500	6.263	Articulado

Nudos	Coordenadas (m)			Vínculos
	X	Y	Z	
17	0.000	12.500	7.314	Articulado
18	0.000	13.467	6.161	Articulado
19	0.000	14.434	7.111	Articulado
20	0.000	15.401	5.958	Articulado
21	0.000	16.368	6.907	Articulado
22	0.000	17.335	5.755	Articulado
23	0.000	18.302	6.704	Articulado
24	0.000	19.269	5.551	Articulado
25	0.000	20.236	6.501	Articulado
26	0.000	21.203	5.348	Articulado
27	0.000	22.170	6.297	Articulado
28	0.000	23.137	5.145	Articulado
29	0.000	24.104	6.094	Articulado
30	0.000	25.000	0.000	Empotrado
31	0.000	25.000	4.949	Articulado
32	0.000	25.000	6.000	Empotrado

H

Hay un total de treinta y dos nudos, los cuales se han considerado todos articulados salvo las vinculaciones exteriores que son empotramientos y las uniones entre celosía y pilar que se han considerado nudos rígidos.



2.2 - Barras: Características Mecánicas

Descripción	Inerc.Tor. cm4	Inerc.y cm4	Inerc.z cm4	Sección cm2
Acero, IPE-240, Perfil simple (IPE)	12.000	3890.000	284.000	39.100
Acero, #40x4, Perfil simple (Huecos cuadrados)	19.017	10.347	10.347	5.198
Acero, #45x4, Perfil simple (Huecos cuadrados)	28.276	15.702	15.702	5.998
Acero, #100x4, Perfil simple (Huecos cuadrados)	363.161	222.211	222.211	14.798

2.3.- Barras: Materiales Utilizados

Material	Mód.elást. (GPa)	Mód.el.trans. (GPa)	Lím.elás.\Fck (MPa)	Co.dilat. (m/m°C)	Peso espec. (KN/m3)
Acero (S275)	206.01	79.23	275.00	1.2e-005	77.01

2.4.- Barras: Descripción

Barras	Material	Perfil	Peso (Kp)	Volumen (m3)	Longitud (m)
1/2	Acero (S275)	IPE-240 (IPE)	151.90	0.019	4.95
2/3	Acero (S275)	IPE-240 (IPE)	32.26	0.004	1.05
2/4	Acero (S275)	#45x4 (Huecos cuadrados)	6.85	0.001	1.45
2/5	Acero (S275)	#100x4 (Huecos cuadrados)	21.76	0.003	1.87
3/4	Acero (S275)	#100x4 (Huecos cuadrados)	10.47	0.001	0.90
5/4	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	5.53	0.001	1.36
4/6	Acero (S275)	#100x4 (Huecos cuadrados)	22.59	0.003	1.94
5/6	Acero (S275)	#45x4 (Huecos cuadrados)	7.08	0.001	1.50
5/7	Acero (S275)	#100x4 (Huecos cuadrados)	22.59	0.003	1.94
7/6	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	5.53	0.001	1.36
6/8	Acero (S275)	#100x4 (Huecos cuadrados)	22.59	0.003	1.94
7/8	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	6.14	0.001	1.50
7/9	Acero (S275)	#100x4 (Huecos cuadrados)	22.59	0.003	1.94
9/8	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	5.53	0.001	1.36
8/10	Acero (S275)	#100x4 (Huecos cuadrados)	22.59	0.003	1.94
9/10	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	6.14	0.001	1.50
9/11	Acero (S275)	#100x4 (Huecos cuadrados)	22.59	0.003	1.94
11/10	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	5.53	0.001	1.36
10/12	Acero (S275)	#100x4 (Huecos cuadrados)	22.59	0.003	1.94
11/12	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	6.14	0.001	1.50
11/13	Acero (S275)	#100x4 (Huecos cuadrados)	22.59	0.003	1.94
13/12	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	5.53	0.001	1.36
12/14	Acero (S275)	#100x4 (Huecos cuadrados)	22.59	0.003	1.94
13/14	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	6.14	0.001	1.50
13/15	Acero (S275)	#100x4 (Huecos cuadrados)	22.59	0.003	1.94
15/14	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	5.53	0.001	1.36
14/17	Acero (S275)	#100x4 (Huecos cuadrados)	22.59	0.003	1.94
15/16	Acero (S275)	#100x4 (Huecos cuadrados)	11.29	0.001	0.97
15/17	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	6.14	0.001	1.50
16/17	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	4.29	0.001	1.05



Pórtico Viga Celosía 25 Metros de Luz

18/16	Acero (S275)	#100x4 (Huecos cuadrados)	11.29	0.001	0.97
18/17	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	6.14	0.001	1.50
19/17	Acero (S275)	#100x4 (Huecos cuadrados)	22.59	0.003	1.94
18/19	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	5.53	0.001	1.36
20/18	Acero (S275)	#100x4 (Huecos cuadrados)	22.59	0.003	1.94
20/19	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	6.14	0.001	1.50
21/19	Acero (S275)	#100x4 (Huecos cuadrados)	22.59	0.003	1.94
20/21	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	5.53	0.001	1.36
22/20	Acero (S275)	#100x4 (Huecos cuadrados)	22.59	0.003	1.94
22/21	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	6.14	0.001	1.50
23/21	Acero (S275)	#100x4 (Huecos cuadrados)	22.59	0.003	1.94
22/23	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	5.53	0.001	1.36
24/22	Acero (S275)	#100x4 (Huecos cuadrados)	22.59	0.003	1.94
24/23	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	6.14	0.001	1.50
25/23	Acero (S275)	#100x4 (Huecos cuadrados)	22.59	0.003	1.94
24/25	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	5.53	0.001	1.36
26/24	Acero (S275)	#100x4 (Huecos cuadrados)	22.59	0.003	1.94
26/25	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	6.14	0.001	1.50
27/25	Acero (S275)	#100x4 (Huecos cuadrados)	22.59	0.003	1.94
26/27	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	5.53	0.001	1.36
28/26	Acero (S275)	#100x4 (Huecos cuadrados)	22.59	0.003	1.94
28/27	Acero (S275)	#45x4 (Huecos cuadrados)	7.08	0.001	1.50
29/27	Acero (S275)	#100x4 (Huecos cuadrados)	22.59	0.003	1.94
28/29	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	5.53	0.001	1.36
31/28	Acero (S275)	#100x4 (Huecos cuadrados)	21.76	0.003	1.87
31/29	Acero (S275)	#45x4 (Huecos cuadrados)	6.85	0.001	1.45
32/29	Acero (S275)	#100x4 (Huecos cuadrados)	10.47	0.001	0.90
30/31	Acero (S275)	IPE-240 (IPE)	151.90	0.019	4.95
31/32	Acero (S275)	IPE-240 (IPE)	32.26	0.004	1.05

2.5.- Barras: Resumen Medición (Acero)

Descripción			Peso (Kp)			Longitud (m)		
			Perfil	Serie	Acero	Perfil	Serie	Acero
Acero (S275)	IPE	IPE-240, Perfil simple	368.32	368.32		12.00	12.00	
		#40x4, Perfil simple	132.05			32.37		
		#45x4, Perfil simple	27.86			5.90		
		#100x4, Perfil simple	584.02			50.16		
	Huecos cuadrados			743.93	1112.25		88.43	
								100.43
								100.43

Como podemos apreciar en la tabla, el peso total de la estructura es de 1112,25 Kg, dicho peso es el menor de entre todas las tipologías estudiadas. Esta reducción de peso se debe al uso de la viga de celosía obteniendo así un pórtico más ligero.



2.6.- Cargas (Nudos)

Nudos	Hipót.	Tipo	Cargas				Dirección		
			P1	P2	L1 (m)	L2 (m)	X	Y	Z
3	1 (PP 1)	Puntual	3.210 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
4	1 (PP 1)	Puntual	6.430 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
6	1 (PP 1)	Puntual	6.430 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
8	1 (PP 1)	Puntual	6.430 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
10	1 (PP 1)	Puntual	6.430 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
12	1 (PP 1)	Puntual	6.430 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
14	1 (PP 1)	Puntual	6.430 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
17	1 (PP 1)	Puntual	6.430 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
19	1 (PP 1)	Puntual	6.430 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
21	1 (PP 1)	Puntual	6.430 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
23	1 (PP 1)	Puntual	6.430 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
25	1 (PP 1)	Puntual	6.430 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
27	1 (PP 1)	Puntual	6.430 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
29	1 (PP 1)	Puntual	6.430 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
32	1 (PP 1)	Puntual	3.210 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000

En la tabla superior podemos apreciar como se ha distribuido la carga calculada al principio en la celosía y en la tabla que hay a continuación se detalla las cargas debidas al peso propio de la estructura que nos ha generado el programa.

2.7.- Cargas (Barras)

Barras	Hipót.	Tipo	Cargas				Dirección		
			P1	P2	L1 (m)	L2 (m)	X	Y	Z
2/3	1 (PP 1)	Uniforme	0.301 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
2/3	1 (PP 1)	Uniforme	2.340 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
30/31	1 (PP 1)	Uniforme	0.301 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
30/31	1 (PP 1)	Uniforme	1.020 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
1/2	1 (PP 1)	Uniforme	0.301 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Uniforme	2.340 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
31/32	1 (PP 1)	Uniforme	0.301 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
31/32	1 (PP 1)	Uniforme	1.020 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
16/17	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
18/17	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
15/17	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
18/19	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
15/14	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
20/19	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
13/14	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
20/21	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
13/12	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
22/21	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
11/12	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
22/23	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000



Pórtico Viga Celosía 25 Metros de Luz

11/10	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
24/23	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
9/10	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
24/25	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
9/8	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
26/25	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
7/8	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
26/27	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
7/6	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
28/29	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
5/4	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
5/6	1 (PP 1)	Uniforme	0.046 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
28/27	1 (PP 1)	Uniforme	0.046 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
31/29	1 (PP 1)	Uniforme	0.046 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
2/4	1 (PP 1)	Uniforme	0.046 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
15/16	1 (PP 1)	Uniforme	0.114 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
14/17	1 (PP 1)	Uniforme	0.114 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
18/16	1 (PP 1)	Uniforme	0.114 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
13/15	1 (PP 1)	Uniforme	0.114 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
19/17	1 (PP 1)	Uniforme	0.114 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
12/14	1 (PP 1)	Uniforme	0.114 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
20/18	1 (PP 1)	Uniforme	0.114 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
11/13	1 (PP 1)	Uniforme	0.114 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
21/19	1 (PP 1)	Uniforme	0.114 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
10/12	1 (PP 1)	Uniforme	0.114 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
22/20	1 (PP 1)	Uniforme	0.114 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
9/11	1 (PP 1)	Uniforme	0.114 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
23/21	1 (PP 1)	Uniforme	0.114 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
8/10	1 (PP 1)	Uniforme	0.114 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
24/22	1 (PP 1)	Uniforme	0.114 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
7/9	1 (PP 1)	Uniforme	0.114 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
25/23	1 (PP 1)	Uniforme	0.114 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
6/8	1 (PP 1)	Uniforme	0.114 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
26/24	1 (PP 1)	Uniforme	0.114 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
5/7	1 (PP 1)	Uniforme	0.114 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
27/25	1 (PP 1)	Uniforme	0.114 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
4/6	1 (PP 1)	Uniforme	0.114 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
28/26	1 (PP 1)	Uniforme	0.114 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
3/4	1 (PP 1)	Uniforme	0.114 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
29/27	1 (PP 1)	Uniforme	0.114 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
2/5	1 (PP 1)	Uniforme	0.114 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
31/28	1 (PP 1)	Uniforme	0.114 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
32/29	1 (PP 1)	Uniforme	0.114 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000

2.8.- Desplazamientos

Los desplazamientos que se producen normalmente en una celosía son muy pequeños y no va a ser este caso una excepción. En los demás pórticos estudiados para esta luz, los desplazamientos que se producen en la cumbrera son bastante mayores que en el caso que nos ocupa, siendo este de 7,79 cm.



2.9.- Reacciones

Nudos	Descripción	REACCIONES (EJES GENERALES)					
		RX (KN)	RY (KN)	RZ (KN)	MX (KN·m)	MY (KN·m)	MZ (KN·m)
1	Envolvente (Cim.equil.)	0.0000	7.1415	49.5958	-26.3876	0.0000	0.0000
		0.0000	10.7123	74.3937	-17.5917	0.0000	0.0000
1	Envolvente (Cim.tens.terr.)	0.0000	7.1415	49.5958	-17.5917	0.0000	0.0000
		0.0000	7.1415	49.5958	-17.5917	0.0000	0.0000
30	Envolvente (Cim.equil.)	0.0000	-40.9523	51.3251	56.4551	0.0000	0.0000
		0.0000	-27.3015	76.9877	84.6826	0.0000	0.0000
30	Envolvente (Cim.tens.terr.)	0.0000	-27.3015	51.3251	56.4551	0.0000	0.0000
		0.0000	-27.3015	51.3251	56.4551	0.0000	0.0000

2.10.-Tensiones

Barras	TENSION MÁXIMA								
	TENS. ()	APROV. (%)	Pos. (m)	N (KN)	Vy (KN)	Vz (KN)	Mt (KN·m)	My (KN·m)	Mz (KN·m)
2/3	0.6847	68.47	0.000	-0.4128	0.0000	60.1066	0.0000	62.6508	0.0000
30/31	0.9763	97.63	4.949	-67.2772	0.0000	30.0423	0.0000	-89.3280	0.0000
1/2	0.6847	68.47	4.949	-64.9426	0.0000	-25.2749	0.0000	62.6508	0.0000
31/32	0.9763	97.63	0.000	3.0092	0.0000	-83.3927	0.0000	-89.3280	0.0000
16/17	0.3810	38.10	1.051	49.5032	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
18/17	0.0972	9.72	0.752	-5.4953	0.0000	0.0000	0.0000	0.0098	0.0000
15/17	0.0416	4.16	0.752	-2.1787	0.0000	0.0000	0.0000	0.0098	0.0000
18/19	0.0360	3.60	1.355	4.6811	0.0000	0.0261	0.0000	0.0000	0.0000
15/14	0.0130	1.30	1.355	1.6831	0.0000	0.0261	0.0000	0.0000	0.0000
20/19	0.2948	29.48	0.752	-17.2803	0.0000	0.0000	0.0000	0.0098	0.0000
13/14	0.2391	23.91	0.752	-13.9523	0.0000	0.0000	0.0000	0.0098	0.0000
20/21	0.1224	12.24	1.355	15.9046	0.0000	0.0261	0.0000	0.0000	0.0000
13/12	0.0994	9.94	1.355	12.9121	0.0000	0.0261	0.0000	0.0000	0.0000
22/21	0.5189	51.89	0.752	-30.7582	0.0000	0.0000	0.0000	0.0098	0.0000
11/12	0.4637	46.37	0.752	-27.4346	0.0000	0.0000	0.0000	0.0098	0.0000
22/23	0.2171	21.71	1.355	28.2170	0.0000	0.0261	0.0000	0.0000	0.0000
11/10	0.1941	19.41	1.355	25.2230	0.0000	0.0261	0.0000	0.0000	0.0000
24/23	0.7424	74.24	0.752	-44.1990	0.0000	0.0000	0.0000	0.0098	0.0000
9/10	0.6872	68.72	0.752	-40.8780	0.0000	0.0000	0.0000	0.0098	0.0000
24/25	0.3099	30.99	1.355	40.2633	0.0000	0.0261	0.0000	0.0000	0.0000
9/8	0.2868	28.68	1.355	37.2699	0.0000	0.0261	0.0000	0.0000	0.0000
26/25	0.9639	96.39	0.752	-57.5265	0.0000	0.0000	0.0000	0.0098	0.0000
7/8	0.9085	90.85	0.752	-54.1904	0.0000	0.0000	0.0000	0.0098	0.0000
26/27	0.4022	40.22	1.355	52.2632	0.0000	0.0261	0.0000	0.0000	0.0000
7/6	0.3792	37.92	1.355	49.2739	0.0000	0.0261	0.0000	0.0000	0.0000
28/29	0.4993	49.93	1.355	64.8851	0.0000	0.0261	0.0000	0.0000	0.0000
5/4	0.4761	47.61	1.355	61.8633	0.0000	0.0261	0.0000	0.0000	0.0000
5/6	0.8265	82.65	0.752	-67.9216	0.0000	0.0000	0.0000	0.0113	0.0000
28/27	0.8659	86.59	0.752	-71.1867	0.0000	0.0000	0.0000	0.0113	0.0000
31/29	0.9405	94.05	0.727	-80.5399	0.0000	0.0000	0.0000	0.0102	0.0000
2/4	0.8947	89.47	0.727	-76.5920	0.0000	0.0000	0.0000	0.0102	0.0000
15/16	0.6220	62.20	0.972	230.1085	0.0000	0.6763	0.0000	0.0000	0.0000



Pórtico Viga Celosía 25 Metros de Luz

14/17	0.9161	91.61	0.000	-257.3500	0.0000	0.3049	0.0000	0.8823	0.0000
18/16	0.6220	62.20	0.972	230.1073	0.0000	0.6647	0.0000	0.0000	0.0000
13/15	0.6149	61.49	1.945	227.4629	0.0000	0.2155	0.0000	0.5853	0.0000
19/17	0.9080	90.80	0.000	-255.2073	0.0000	0.2989	0.0000	0.8705	0.0000
12/14	0.8837	88.37	1.945	-247.1750	0.0000	0.0097	0.0000	0.8823	0.0000
20/18	0.6032	60.32	1.945	223.1680	0.0000	0.2123	0.0000	0.5740	0.0000
11/13	0.5655	56.55	1.945	209.1864	0.0000	0.0879	0.0000	0.7151	0.0000
21/19	0.8619	86.19	1.945	-240.7305	0.0000	0.0031	0.0000	0.8705	0.0000
10/12	0.7736	77.36	1.215	-220.1989	0.0000	0.0104	0.0000	0.6601	0.0000
22/20	0.5422	54.22	1.945	200.5933	0.0000	0.0809	0.0000	0.6975	0.0000
9/11	0.4687	46.87	1.945	173.3772	0.0000	0.0896	0.0000	0.5968	0.0000
23/21	0.7362	73.62	1.215	-209.4593	0.0000	0.0046	0.0000	0.6312	0.0000
8/10	0.6215	62.15	1.458	-175.7024	0.0000	0.0036	0.0000	0.5796	0.0000
24/22	0.4338	43.38	1.945	160.4880	0.0000	0.0831	0.0000	0.5655	0.0000
7/9	0.3250	32.50	1.945	120.2312	0.0000	0.0441	0.0000	0.4818	0.0000
25/23	0.5678	56.78	1.458	-160.6685	0.0000	-0.0046	0.0000	0.5397	0.0000
6/8	0.4030	40.30	1.945	-113.9594	0.0000	-0.0099	0.0000	0.4221	0.0000
26/24	0.2786	27.86	1.945	103.0482	0.0000	0.0394	0.0000	0.4378	0.0000
5/7	0.1348	13.48	1.945	49.8701	0.0000	0.0093	0.0000	0.2784	0.0000
27/25	0.3351	33.51	1.945	-94.6208	0.0000	-0.0092	0.0000	0.3703	0.0000
4/6	0.1277	12.77	0.729	-34.7281	0.0000	-0.0096	0.0000	0.2150	0.0000
28/26	0.0767	7.67	1.945	28.3849	0.0000	-0.0074	0.0000	0.2250	0.0000
3/4	0.1539	15.39	0.901	56.9444	0.0000	-1.4747	0.0000	0.1673	0.0000
29/27	0.0449	4.49	0.972	-11.1345	0.0000	-0.0092	0.0000	0.1264	0.0000
2/5	0.1265	12.65	0.937	-38.3958	0.0000	-0.0038	0.0000	0.0707	0.0000
31/28	0.2086	20.86	1.873	-64.1376	0.0000	0.1853	0.0000	-0.0786	0.0000
32/29	0.2303	23.03	0.901	85.2018	0.0000	-1.0044	0.0000	0.0451	0.0000

Como podemos apreciar en el pórtico de la imagen, los montantes tanto superior como inferior, son los que más tensión están soportando. En el montante superior el aprovechamiento máximo se produce en la cumbre, siendo este del 91,60%, conforme nos vamos acercando al pilar la tensión a la que está sometido el perfil va disminuyendo hasta tener el 23% de aprovechamiento del mismo. En el montante inferior la distribución de tensiones es similar al montante superior pero con un aprovechamiento del perfil ligeramente inferior. En este caso el aprovechamiento máximo es del 62,20%.

El aprovechamiento de las diagonales de la celosía es bastante diverso aunque este se distribuye de manera uniforme.



Pórtico Viga Celosía 25 Metros de Luz

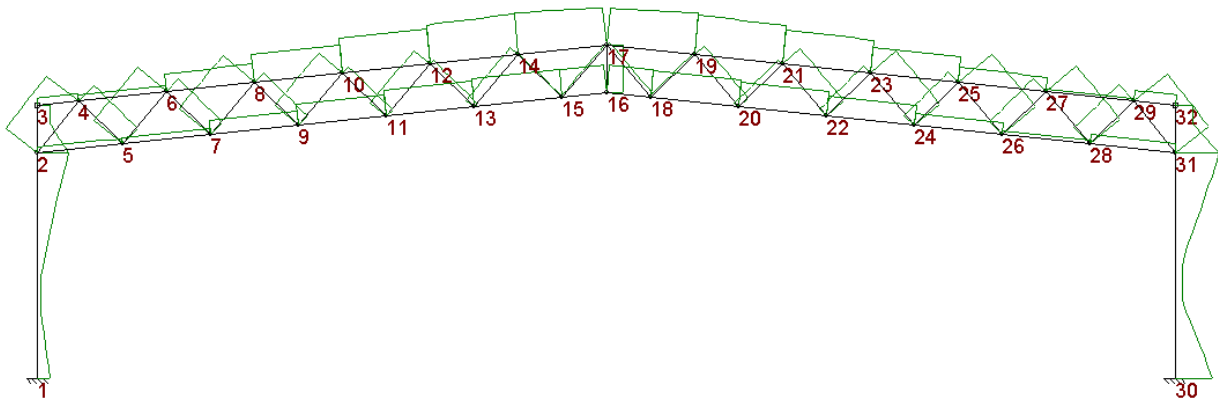


Diagrama de tensiones del pórtico.

Las diagonales (29-31) y (27-28) tienen un aprovechamiento del 94,10% y 86,60%, el perfil utilizado para esta barra como ya se ha comentado más arriba es ligeramente superior al utilizado en las demás diagonales porque uno igual no aguantaba la tensión. Las diagonales (21-22), (23-24), (25-26) tienen un aprovechamiento medio del 74,20%. Para las demás diagonales se ha utilizado el mismo perfil ya que no existe en la serie otro más pequeño con 4 mm de espesor y debido a esto el aprovechamiento del mismo disminuye bastante, estando entre el 49,90% y el 12,20%, conforme vallamos aumentando la luz del pórtico veremos como el aprovechamiento de estos perfiles irán aumentando.

A continuación vamos a describir lo que le ocurre al pilar derecho en cuanto a las tensiones. Si nos fijamos en la imagen anterior el pilar tiene dos zonas bien diferenciadas: inferior y superior. En la zona inferior el diagrama de tensiones tiene forma de triángulo recto, teniendo en la base del pilar un aprovechamiento de 83,30% y disminuyendo éste hasta el 15,80% justo a la mitad del pilar. En la parte superior del pilar la distribución de tensiones es exactamente igual pero a la inversa, partiendo a la mitad del pilar con un aprovechamiento del 15,80% y llegando en la parte superior del mismo al 96,30% de aprovechamiento. Como hemos podido apreciar la distribución de tensiones no es constante a lo largo del perfil, esto es debido a que el perfil utilizado como pilar no está reforzado en los nudos y teniendo así una zona bastante amplia donde el aprovechamiento es muy bajo.

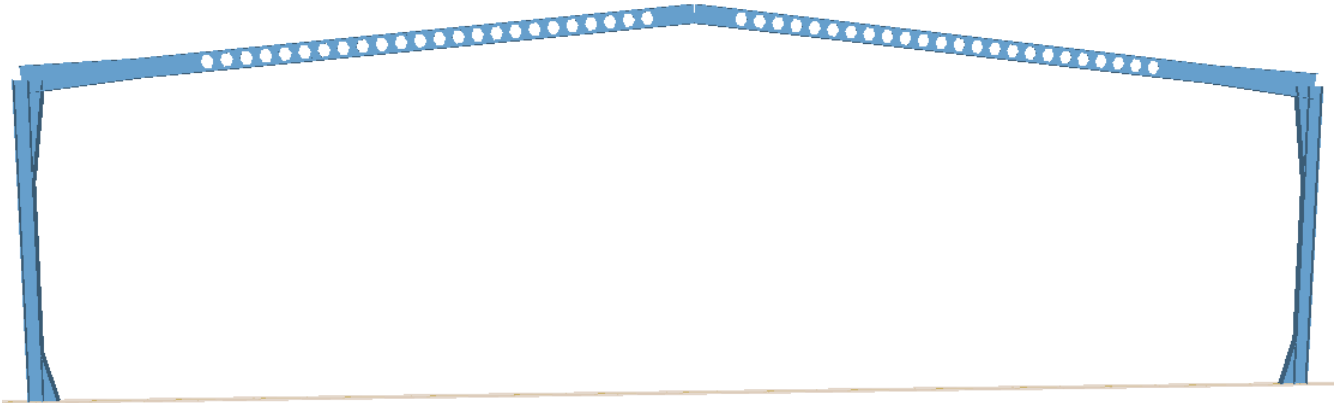


PÓRTICO VIGA VOID



PÓRTICO VIGA VOID 25 METROS DE LUZ

1. Descripción general del pórtico:



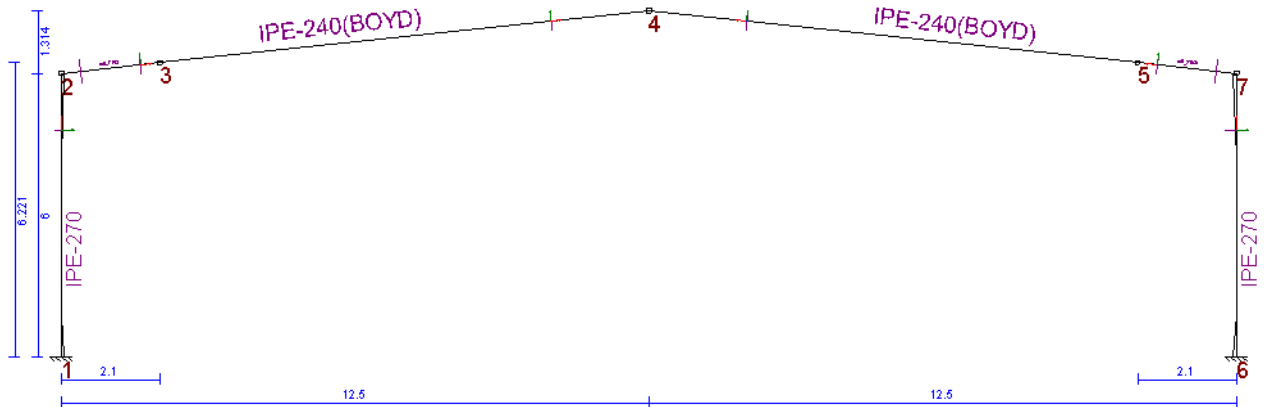
Interpretación real del pórtico

El pórtico que nos ocupa tiene 25 metros de luz y está formado por perfiles IPE, cuya viga es de tipo VOID con perfil IPE de 240 mm. Los pilares son IPE 270, están reforzados en su parte inferior y superior por cartelas. Las cartelas inferiores tienen una longitud de 0,90 metros y las superiores 1,85 metros. El hecho de colocar unas cartelas tan grandes es para conseguir un mayor aprovechamiento del perfil utilizando una sección de perfil menor.

El diseño de la viga empezando de izquierda a derecha es el siguiente: empezamos colocando un perfil de sección variable, seguido de viga VOID con perfil IPE y el otro agua igual, viga VOID y último tramo con sección variable. Los tramos de sección variable los describimos a continuación: la unión con el pilar tiene un canto de 510 mm y junto a la viga de 360 mm que coincide con el alma de la viga utilizada posteriormente para que se pueda unir a ella con la mayor facilidad. Como podemos apreciar el canto de la viga de Sección Variable es bastante grande y según el CTE hay que comprobar que el perfil no falle por abolladura del alma, dado el caso que el perfil falle, se realizará un cálculo de rigidizadores. En este caso es necesario colocar rigidizadores y las comprobaciones y el cálculo de los mismos se encuentran al final de éste pórtico. El alma tiene un espesor de 7 mm. y el ala de 10 mm. Este espesor se ha elegido lo más próximo al perfil IPE que se ha utilizado en la viga, debido a que nos tenemos que regir por espesores comerciales. La longitud de dicho perfil es de 2,11 metros. Los tramos VOID para esta luz se han diseñado de la siguiente manera: el perfil que se ha utilizado como ya hemos dicho es un IPE 240 mm., el cual se convierte al hacerlo VOID en un perfil que tiene 360 mm. de alma. Para este pórtico se le han rellenado tres huecos en origen y dos más en la cumbrera de cada viga, adecuándonos de esta manera a lo solicitado en el diagrama de tensiones que se comentará más adelante.



A continuación mostramos un esquema del pórtico donde se detallan los nudos, perfiles utilizados y las cotas del mismo.



Esquema de nudos, cotas y tipo de perfil.

2. Descripción de valores aportados por Cype

Ahora se detallan los datos que nos aporta el programa en forma de tablas que describiremos a continuación:

2.1 - Nudos

Nudos	Coordenadas (m)			Vínculos
	X	Y	Z	
1	0.000	0.000	0.000	Empotrado
2	0.000	0.000	6.000	Empotrado
3	0.000	2.100	6.221	Empotrado
4	0.000	12.500	7.314	Empotrado
5	0.000	22.900	6.221	Empotrado
6	0.000	25.000	0.000	Empotrado
7	0.000	25.000	6.000	Empotrado

2.2 - Barras: Características Mecánicas

Descripción	Inerc.Tor. cm4	Inerc.y cm4	Inerc.z cm4	Sección cm2
Acero, Sección Variable, Perfil simple + Separación 490/340 mm	12.745	15008.780	289.186	53.050
Acero, IPE-270, Simple con cartelas (IPE)	15.400	5790.000	420.000	45.900
Acero, IPE-240, Boyd (alma aligerada) (IPE) H: 360.0 mm, S: 360.0 mm, macizados (3, 2)	12.000	8755.792	282.439	39.100



2.3.- Barras: Materiales Utilizados

Material	Mód.elást. (GPa)	Mód.el.trans. (GPa)	Lím.elás.\Fck (MPa)	Co.dilat. (m/m°C)	Peso espec. (KN/m3)
Acero (S275)	206.01	79.23	275.00	1.2e-005	77.01

2.4.- Barras: Descripción

Barras	Material	Perfil	Peso (Kp)	Volumen (m3)	Longitud (m)
1/2	Acero (S275)	IPE-270 (IPE) + carts. sup. 0.900 m y 1.850 m	263.67	0.034	6.00
2/3	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 490/340 mm	87.96	0.011	2.11
3/4	Acero (S275)	IPE-240(BOYD) (IPE) H: 360.0 mm, S: 360.0 mm, macizados (3, 2)	327.81	0.042	10.46
5/4	Acero (S275)	IPE-240(BOYD) (IPE) H: 360.0 mm, S: 360.0 mm, macizados (3, 2)	327.81	0.042	10.46
7/5	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 490/340 mm	87.96	0.011	2.11
6/7	Acero (S275)	IPE-270 (IPE) + carts. inf. 0.900 m y 1.850 m	263.67	0.034	6.00

2.5.- Barras: Resumen Medición (Acero)

Descripción			Peso (Kp)			Longitud (m)		
			Perfil	Serie	Acero	Perfil	Serie	Acero
Acero (S275)	Sección	Sección Variable, Perfil	175.92			4.22		
		IPE-270, Simple con c...	527.34	175.92		12.00	4.22	
	IPE	IPE-240, Boyd (alma a...	655.62	527.34		20.92	12.00	
				655.62		20.92	20.92	
	IPE				1358.88			37.14
					1358.88			37.14

Como podemos apreciar en la tabla, el utilizar la viga VOID hace que se aligere bastante la estructura como veremos más adelante, teniendo un peso total de la misma de 1358,88 Kg.

2.6.- Cargas (Barras)

Barras	Hipót.	Tipo	Cargas				Dirección		
			P1	P2	L1 (m)	L2 (m)	X	Y	Z
2/3	1 (PP 1)	Trapez.	0.449 KN/m	0.368 KN/m	0.000	2.112	0.000	0.000	-1.000
2/3	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
7/5	1 (PP 1)	Trapez.	0.449 KN/m	0.368 KN/m	0.000	2.112	0.000	0.000	-1.000
7/5	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Trapez.	0.586 KN/m	0.523 KN/m	0.000	0.450	0.000	0.000	-1.000



Pórtico Viga Void 25 Metros de Luz

1/2	1 (PP 1)	Trapez.	0.523 KN/m	0.460 KN/m	0.450	0.900	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Faja	0.353 KN/m	-	0.900	4.150	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Trapez.	0.460 KN/m	0.523 KN/m	4.150	5.075	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Trapez.	0.523 KN/m	0.586 KN/m	5.075	6.000	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Uniforme	2.340 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
6/7	1 (PP 1)	Trapez.	0.586 KN/m	0.523 KN/m	0.000	0.450	0.000	0.000	-1.000
6/7	1 (PP 1)	Trapez.	0.523 KN/m	0.460 KN/m	0.450	0.900	0.000	0.000	-1.000
6/7	1 (PP 1)	Faja	0.353 KN/m	-	0.900	4.150	0.000	0.000	-1.000
6/7	1 (PP 1)	Trapez.	0.460 KN/m	0.523 KN/m	4.150	5.075	0.000	0.000	-1.000
6/7	1 (PP 1)	Trapez.	0.523 KN/m	0.586 KN/m	5.075	6.000	0.000	0.000	-1.000
6/7	1 (PP 1)	Uniforme	1.020 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
3/4	1 (PP 1)	Faja	0.344 KN/m	-	0.000	0.969	0.000	0.000	-1.000
3/4	1 (PP 1)	Faja	0.301 KN/m	-	0.969	9.849	0.000	0.000	-1.000
3/4	1 (PP 1)	Faja	0.344 KN/m	-	9.849	10.457	0.000	0.000	-1.000
3/4	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
5/4	1 (PP 1)	Faja	0.344 KN/m	-	0.000	0.969	0.000	0.000	-1.000
5/4	1 (PP 1)	Faja	0.301 KN/m	-	0.969	9.849	0.000	0.000	-1.000
5/4	1 (PP 1)	Faja	0.344 KN/m	-	9.849	10.457	0.000	0.000	-1.000
5/4	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000

2.7.- Desplazamientos

Nudos	Descripción	DESPLAZAMIENTOS (EJES GENERALES)					
		DX (m)	DY (m)	DZ (m)	GX (rad)	GY (rad)	GZ (rad)
1	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	-0.0098	0.0002	-0.0070	0.0000	0.0000
		0.0000	-0.0098	0.0002	-0.0070	0.0000	0.0000
3	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	-0.0074	-0.0238	-0.0154	0.0000	0.0000
		0.0000	-0.0074	-0.0238	-0.0154	0.0000	0.0000
4	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0083	-0.1786	0.0008	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0083	-0.1786	0.0008	0.0000	0.0000
5	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0244	-0.0192	0.0137	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0244	-0.0192	0.0137	0.0000	0.0000
6	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
7	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0263	0.0001	0.0044	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0263	0.0001	0.0044	0.0000	0.0000

El desplazamiento vertical que se produce en la cumbrera es de 17,86 cm, como podemos apreciar en la tabla.



2.8.- Reacciones

Nudos	Descripción	REACCIONES (EJES GENERALES)					
		RX (KN)	RY (KN)	RZ (KN)	MX (KN·m)	MY (KN·m)	MZ (KN·m)
1	Envolvente (Cim.equil.)	0.0000	35.4477	51.3652	-132.2789	0.0000	0.0000
		0.0000	53.1716	77.0478	-88.1859	0.0000	0.0000
1	Envolvente (Cim.tens.terr.)	0.0000	35.4477	51.3652	-88.1859	0.0000	0.0000
		0.0000	35.4477	51.3652	-88.1859	0.0000	0.0000
6	Envolvente (Cim.equil.)	0.0000	-83.4116	52.4614	134.9632	0.0000	0.0000
		0.0000	-55.6077	78.6921	202.4448	0.0000	0.0000
6	Envolvente (Cim.tens.terr.)	0.0000	-55.6077	52.4614	134.9632	0.0000	0.0000
		0.0000	-55.6077	52.4614	134.9632	0.0000	0.0000

2.9.-Tensiones

Barras	TENSIÓN MÁXIMA								
	TENS. ()	APROV. (%)	Pos. (m)	N (KN)	Vy (KN)	Vz (KN)	Mt (KN·m)	My (KN·m)	Mz (KN·m)
2/3	0.8811	88.11	0.000	-73.3334	0.0000	-58.4969	0.0000	-224.7311	0.0000
7/5	0.9537	95.37	0.000	-73.4883	0.0000	-59.9687	0.0000	-243.2298	0.0000
1/2	0.8634	86.34	4.150	-67.1568	0.0000	-60.9643	0.0000	104.4752	0.0000
6/7	0.9712	97.12	0.900	-62.4345	0.0000	80.4938	0.0000	117.5150	0.0000
3/4	0.8816	88.16	8.073	-67.6814	0.0000	-4.8059	0.0000	96.2374	0.0000
5/4	0.9830	98.30	0.969	-71.7466	0.0000	-43.4859	0.0000	-84.0327	0.0000

La descripción de las tensiones para este pórtico se reduce a la descripción del pilar y viga derecha del mismo, ya que en estas zonas es donde se producen las mayores tensiones. Vamos a empezar comentando el pilar: como ya sabemos, dicho pilar está formado por IPE 270mm reforzado con cartela inferior de 0,9 metros de longitud y cartela superior de 1,85 metros de longitud. Las tensiones en el pilar están distribuidas de manera que quedan tres zonas bien diferenciadas. En la primera zona junto al suelo las tensiones son bastante altas y por eso el hecho de colocar cartelas para que el perfil sea capaz de aguantar dicha tensión quedando éste aprovechado en un 97,10%. La zona intermedia tiene una longitud aproximada de 2,50 metros, en la cual el aprovechamiento medio del perfil es del 54,70%. Por último, en el pilar tenemos una zona junto a la viga en la que el aprovechamiento vuelve a ser bastante alto, alcanzando éste el 95,20%. Como podemos apreciar en el diagrama de tensiones, en esta zona la distribución de tensiones es bastante uniforme cubriendo una zona muy amplia, debido a esto se ha elegido la cartela correspondiente, la cual se ha descrito anteriormente.



Pórtico Viga Void 25 Metros de Luz

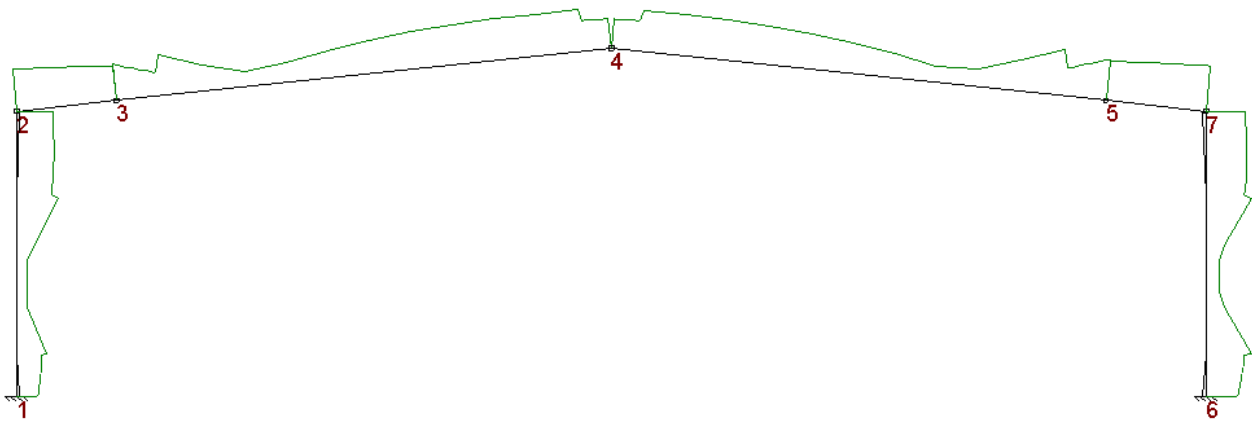


Diagrama de tensiones del pórtico.

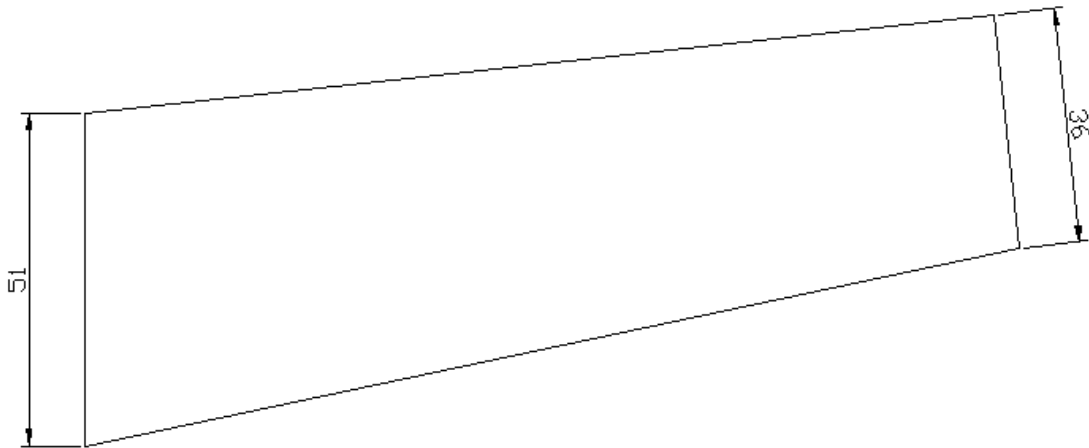
En cuanto a la viga, podemos apreciar como el reparto de tensiones es bastante uniforme a lo largo de la misma. En este tipo de pórticos me he visto obligado a colocar un pequeño tramo de perfil de sección variable (5/7), debido a que el IPE tipo Void utilizado como viga no era capaz de aguantar la tensión en esta zona ni aún rellenado los huecos hexagonales de dicho perfil, tenía que aumentar el perfil y ya no sería una solución viable económicamente. Dicho tramo (5/7) está aprovechado de manera uniforme en un 95,40%, lo cual es una cifra bastante buena. La continuación de esta viga se ha realizado como ya sabemos con IPE 240 Void al cual se le ha rellenado dos huecos en la cumbrera y tres junto al tramo de sección variable para que la sección utilizada no fallara por cuestiones de tensión, debido a esto se produce el salto que podemos ver en el diagrama de tensiones. El aprovechamiento máximo de dicho tramo (4/5) es del 98,30%. La viga también tiene una zona intermedia en la que el aprovechamiento del perfil disminuye, pero si comparamos con las luces estudiadas anteriormente, vemos como este aprovechamiento ha aumentado considerablemente. En la última zona junto a la cumbrera, el aprovechamiento del perfil disminuye un poco respecto a la primera zona antes comentada estando ésta en 86,70%.



3. Cálculo de rigidizadores

Según el CTE no es necesario colocar rigidizadores en perfiles laminados ya que éstos vienen diseñados de manera que no se produce abolladura del alma. En este caso, dado que hemos utilizado un pequeño tramo de Sección Variable, hay que hacer las comprobaciones que nos dice el CTE y ver si es necesario colocar rigidizadores del alma para corregir la abolladura del alma.

La pieza es comprobar es la que vemos a continuación:



1ª Comprobación sin rigidizadores:

$$\frac{d}{t} < 70 \times \varepsilon \quad \text{siendo } d \text{ y } t \text{ dimensiones del alma (altura y espesor)}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}} \quad \text{con } f_{ref} = 235 \text{ N/mm}^2 \quad \text{y con } f_y = 275 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{510}{7} < 70 \times 0,9244$$

72,85 < 64,708 No cumple.

Vamos a diseñarlo de manera que se cumpla que $a \geq d$

donde a = separación entre rigidizadores

$$\frac{L}{d} = \frac{2,11}{0,510} = 4,137 \quad R = 5$$

$$a = \frac{L}{R - 1} = \frac{2,11}{4} = 0,5275$$

$$a \geq d \quad ; \quad 0,5275 \geq 0,51$$



2ª Comprobación con Rigidizadores:

$$\frac{d}{t} < 30 \times \varepsilon \times \sqrt{K_t}$$

Según CTE para $a \geq d$:

$$K_t = 5,34 + \frac{4}{\left(\frac{a}{d}\right)^2} \quad ; \quad K_t = 5,34 + \frac{4}{\left(\frac{0,5275}{0,51}\right)^2} = 9,078$$

Los cálculos de la segunda comprobación son:

$$\frac{510}{7} < 30 \times 0,9244 \times \sqrt{9,078}$$

$$72,85 < 83,55 \quad \text{OK}$$

Hay que colocar 5 rigidizadores separados 527,5 mm.

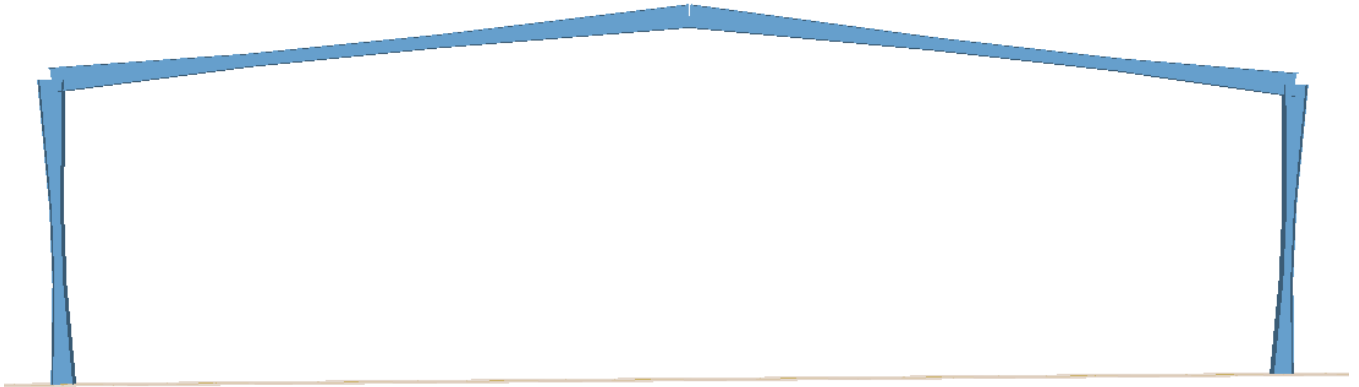


PÓRTICO DE SECCIÓN VARIABLE



PÓRTICO SECCIÓN VARIABLE DE 25 METROS DE LUZ

1. Descripción general del pórtico:



Interpretación real del pórtico

El pórtico que vamos a describir a continuación tiene 25 metros de luz y está formado en su totalidad por perfiles de sección variable. Con este tipo de diseño lo que intentamos conseguir es minimizar la cantidad de acero a utilizar en el pórtico para así poder reducir los costes del mismo, disminuyendo o aumentando el canto y espesor del perfil según nos vaya haciendo falta realmente.

Para el diseño del pórtico hemos creado 13 nudos, de los cuales dos son empotramientos y los demás nudos rígidos, por tanto tenemos doce barras. El espesor utilizado en los perfiles es el siguiente: el alma tiene un espesor de 7mm. y las alas de 10mm.

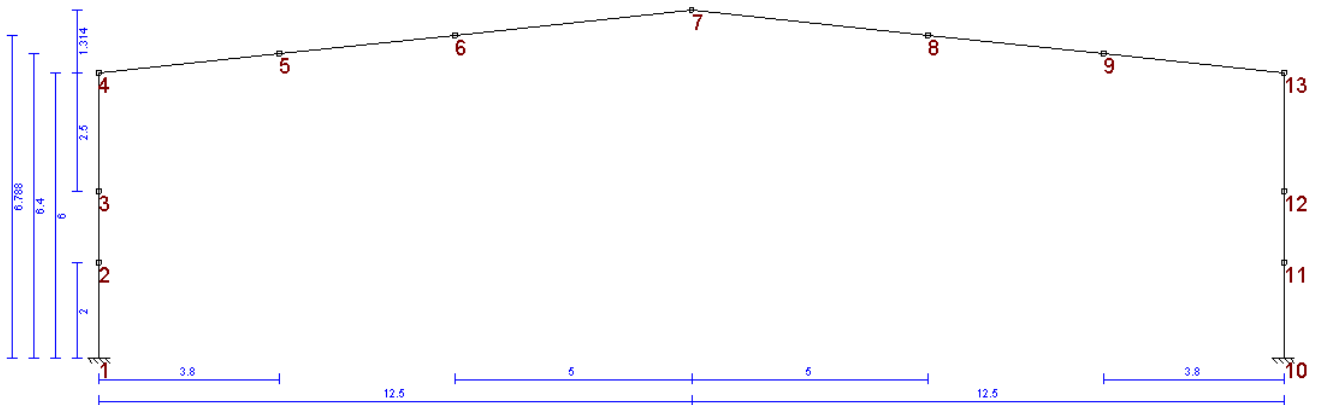
El pilar lo he dividido en tres partes teniendo así tres barras diferentes. La primera barra (1-2), tiene una longitud de 2,00 metros con un canto inicial de 425mm y final de 210mm. La segunda barra (2-3) es de sección constante debido a que en esta zona las tensiones sobre el perfil son pequeñas y se mantienen a lo largo de esta barra, el canto de dicha barra es de 210mm y la longitud de la misma es de 1,50 metros. La tercera barra (3-4), vuelve a ser de sección variable con una longitud de 2,5 metros, teniendo un canto inicial de 210mm y final de 475mm.

En la viga también tenemos tres barras diferentes, continuando con la tercera del pilar, seguimos con la primera de la viga (4-5), la cual tiene una longitud de 3,82 metros con un canto inicial igual al del pilar de 475mm y final de 250mm. La segunda barra (5-6) al igual que ocurre en el pilar, es de sección constante pero en este caso tiene 250mm de canto y una longitud de 3,72 metros. Por último la tercera barra (6-7) tiene una longitud de 5,03 metros, el canto inicial es de 250mm y el final 450mm.



Para este caso es necesario el uso de rigidizadores en las barras (9-13), (12-13) y sus simétricas ya que los cantos utilizados son muy grandes. El cálculo de los rigidizadores se detalla al final de este pórtico.

A continuación mostramos un esquema del pórtico donde se detallan los nudos y las cotas del mismo.



Esquema de nudos, cotas y tipo de perfil.

2. Descripción de valores aportados por Cype

Ahora se detallan los datos que nos aporta el programa en forma de tablas en las cuales podemos apreciar nudos, cargas, tensiones, pesos, cotas, etc., que describiremos a continuación:

2.1 - Nudos

Nudos	Coordenadas (m)			Vínculos
	X	Y	Z	
1	0.000	0.000	0.000	Empotrado
2	0.000	0.000	2.000	Empotrado
3	0.000	0.000	3.500	Empotrado
4	0.000	0.000	6.000	Empotrado
5	0.000	3.800	6.400	Empotrado
6	0.000	7.500	6.788	Empotrado
7	0.000	12.500	7.314	Empotrado
8	0.000	17.500	6.788	Empotrado
9	0.000	21.200	6.400	Empotrado
10	0.000	25.000	0.000	Empotrado
11	0.000	25.000	2.000	Empotrado
12	0.000	25.000	3.500	Empotrado
13	0.000	25.000	6.000	Empotrado



2.2 - Barras: Características Mecánicas

Descripción	Inerc.Tor. cm4	Inerc.y cm4	Inerc.z cm4	Sección cm2
Acero, Sección Variable, Perfil simple + Separación 190/190 mm	11.172	3102.358	410.606	40.300
Acero, Sección Variable, Perfil simple + Separación 230/230 mm	11.630	4599.992	410.720	43.100
Acero, Sección Variable, Perfil simple + Separación 405/190 mm	12.401	7920.749	410.913	47.825
Acero, Sección Variable, Perfil simple + Separación 190/455 mm	12.687	9421.414	410.984	49.575
Acero, Sección Variable, Perfil simple + Separación 230/430 mm	12.773	9901.575	411.006	50.100
Acero, Sección Variable, Perfil simple + Separación 455/230 mm	12.916	10733.228	411.041	50.975

2.3.- Barras: Materiales Utilizados

Material	Mód.elást. (GPa)	Mód.el.trans. (GPa)	Lím.elás.\Fck (MPa)	Co.dilat. (m/m°C)	Peso espec. (KN/m3)
Acero (S275)	206.01	79.23	275.00	1.2e-005	77.01

2.4.- Barras: Descripción

Barras	Material	Perfil	Peso (Kp)	Volumen (m3)	Longitud (m)
1/2	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 405/190 mm	75.10	0.010	2.00
2/3	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 190/190 mm	47.45	0.006	1.50
3/4	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 190/455 mm	97.26	0.012	2.50
4/5	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 455/230 mm	152.94	0.019	3.82
5/6	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 230/230 mm	125.87	0.016	3.72
6/7	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 230/430 mm	197.68	0.025	5.03
8/7	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 230/430 mm	197.68	0.025	5.03
9/8	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 230/230 mm	125.87	0.016	3.72
13/9	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 455/230 mm	152.94	0.019	3.82
10/11	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 405/190 mm	75.10	0.010	2.00
11/12	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 190/190 mm	47.45	0.006	1.50
12/13	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 190/455 mm	97.26	0.012	2.50

2.5.- Barras: Resumen Medición (Acero)

Descripción			Peso (Kp)			Longitud (m)		
			Perfil	Serie	Acero	Perfil	Serie	Acero
Acero (S275)	Sección	Sección Variable, Perfil	1392.60	1392.60	1392.60	37.14	37.14	37.14

El peso total del pórtico como podemos apreciar en la tabla es de 1392,60 Kg., éste es inferior al pórtico Void y al de IPE como veremos más adelante.



2.6.- Cargas (Barras)

Barras	Hipót.	Tipo	Cargas				Dirección		
			P1	P2	L1 (m)	L2 (m)	X	Y	Z
6/7	1 (PP 1)	Trapez.	0.332 KN/m	0.440 KN/m	0.000	5.028	0.000	0.000	-1.000
6/7	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
8/7	1 (PP 1)	Trapez.	0.332 KN/m	0.440 KN/m	0.000	5.028	0.000	0.000	-1.000
8/7	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
5/6	1 (PP 1)	Uniforme	0.332 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
5/6	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
9/8	1 (PP 1)	Uniforme	0.332 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
9/8	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
4/5	1 (PP 1)	Trapez.	0.453 KN/m	0.332 KN/m	0.000	3.821	0.000	0.000	-1.000
4/5	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
13/9	1 (PP 1)	Trapez.	0.453 KN/m	0.332 KN/m	0.000	3.821	0.000	0.000	-1.000
13/9	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
3/4	1 (PP 1)	Trapez.	0.310 KN/m	0.453 KN/m	0.000	2.500	0.000	0.000	-1.000
3/4	1 (PP 1)	Uniforme	2.340 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
10/11	1 (PP 1)	Trapez.	0.426 KN/m	0.310 KN/m	0.000	2.000	0.000	0.000	-1.000
10/11	1 (PP 1)	Uniforme	1.020 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
2/3	1 (PP 1)	Uniforme	0.310 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
2/3	1 (PP 1)	Uniforme	2.340 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
11/12	1 (PP 1)	Uniforme	0.310 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
11/12	1 (PP 1)	Uniforme	1.020 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
1/2	1 (PP 1)	Trapez.	0.426 KN/m	0.310 KN/m	0.000	2.000	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Uniforme	2.340 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
12/13	1 (PP 1)	Trapez.	0.310 KN/m	0.453 KN/m	0.000	2.500	0.000	0.000	-1.000
12/13	1 (PP 1)	Uniforme	1.020 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000

2.7.- Desplazamientos

Nudos	Descripción	DESPLAZAMIENTOS (EJES GENERALES)					
		DX (m)	DY (m)	DZ (m)	GX (rad)	GY (rad)	GZ (rad)
1	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	-0.0073	-0.0001	0.0068	0.0000	0.0000
		0.0000	-0.0073	-0.0001	0.0068	0.0000	0.0000
3	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	-0.0177	-0.0002	0.0036	0.0000	0.0000
		0.0000	-0.0177	-0.0002	0.0036	0.0000	0.0000
4	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	-0.0090	-0.0003	-0.0100	0.0000	0.0000
		0.0000	-0.0090	-0.0003	-0.0100	0.0000	0.0000
5	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	-0.0020	-0.0682	-0.0247	0.0000	0.0000
		0.0000	-0.0020	-0.0682	-0.0247	0.0000	0.0000
6	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0070	-0.1571	-0.0178	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0070	-0.1571	-0.0178	0.0000	0.0000
7	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0104	-0.1917	0.0011	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0104	-0.1917	0.0011	0.0000	0.0000
8	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0149	-0.1472	0.0191	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0149	-0.1472	0.0191	0.0000	0.0000



Pórtico Sección Variable 25 Metros de Luz

9	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0240	-0.0581	0.0232	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0240	-0.0581	0.0232	0.0000	0.0000
10	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
11	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0109	-0.0001	-0.0104	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0109	-0.0001	-0.0104	0.0000	0.0000
12	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0282	-0.0002	-0.0084	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0282	-0.0002	-0.0084	0.0000	0.0000
13	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0299	-0.0003	0.0064	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0299	-0.0003	0.0064	0.0000	0.0000

El desplazamiento vertical que se produce debido a la flexión en el nudo 7 (cubrrera) es de 19,17 cm. Éste valor es muy importante tenerlo en cuenta a la hora del diseño del pórtico, porque este desplazamiento no puede ser excesivo.

2.8.- Reacciones

Nudos	Descripción	REACCIONES (EJES GENERALES)					
		RX (KN)	RY (KN)	RZ (KN)	MX (KN·m)	MY (KN·m)	MZ (KN·m)
1	Envolvente (Cim.equil.)	0.0000	36.5042	51.5573	-143.9635	0.0000	0.0000
		0.0000	54.7563	77.3360	-95.9756	0.0000	0.0000
1	Envolvente (Cim.tens.terr.)	0.0000	36.5042	51.5573	-95.9756	0.0000	0.0000
		0.0000	36.5042	51.5573	-95.9756	0.0000	0.0000
10	Envolvente (Cim.equil.)	0.0000	-84.9962	52.6005	143.4157	0.0000	0.0000
		0.0000	-56.6642	78.9008	215.1236	0.0000	0.0000
10	Envolvente (Cim.tens.terr.)	0.0000	-56.6642	52.6005	143.4157	0.0000	0.0000
		0.0000	-56.6642	52.6005	143.4157	0.0000	0.0000

2.9.-Tensiones

Barras	TENSION MÁXIMA								
	TENS. ()	APROV. (%)	Pos. (m)	N (KN)	Vy (KN)	Vz (KN)	Mt (KN·m)	My (KN·m)	Mz (KN·m)
6/7	0.6980	69.80	0.754	-70.1971	0.0000	-15.0758	0.0000	84.2470	0.0000
8/7	0.6506	65.06	1.006	-70.2042	0.0000	-15.1430	0.0000	82.2360	0.0000
5/6	0.6853	68.53	3.720	-70.6105	0.0000	-19.0885	0.0000	71.3726	0.0000
9/8	0.6177	61.77	3.720	-70.7574	0.0000	-20.4891	0.0000	64.3310	0.0000
4/5	0.9009	90.09	0.000	-74.8412	0.0000	-59.1815	0.0000	-222.9787	0.0000
13/9	0.9720	97.20	0.000	-74.9887	0.0000	-60.5821	0.0000	-240.5826	0.0000
3/4	0.9025	90.25	2.083	-66.9393	0.0000	-66.9184	0.0000	194.8218	0.0000
10/11	0.9140	91.40	0.000	-71.0107	0.0000	76.4966	0.0000	193.6112	0.0000
2/3	0.7475	74.75	1.500	-67.9795	0.0000	-60.3371	0.0000	62.2640	0.0000
11/12	0.7887	78.87	1.500	-69.3878	0.0000	71.6771	0.0000	-65.6929	0.0000
1/2	0.6117	61.17	0.000	-69.6024	0.0000	-49.2806	0.0000	-129.5671	0.0000
12/13	0.9855	98.55	1.771	-68.5250	0.0000	69.2387	0.0000	-190.4621	0.0000



La descripción de las tensiones para este pórtico se reduce a la descripción del pilar y viga derecha del mismo, ya que en estos es donde se produce las mayores tensiones. Vamos a empezar comentando el pilar: si echamos un vistazo al diagrama de tensiones podemos ver como el reparto de tensiones en el pilar es uniforme a lo largo del mismo exceptuando la zona intermedia, pero siendo esta última un tramo muy corto de tan solo 1,20 metro del longitud. El valor de aprovechamiento de los perfiles es el siguiente: el que se encuentra junto al suelo (10-11) tiene un aprovechamiento del 91,40%, totalmente uniforme y constante en dicha barra. En la barra intermedia (11-12) el aprovechamiento medio es del 45% pero como hemos dicho anteriormente es una barra muy corta. Por último, la barra que se encuentra junto a la viga (12-13) vuelve a tener un aprovechamiento del 98,50%, siendo este valor uniforme y constante en toda la barra.

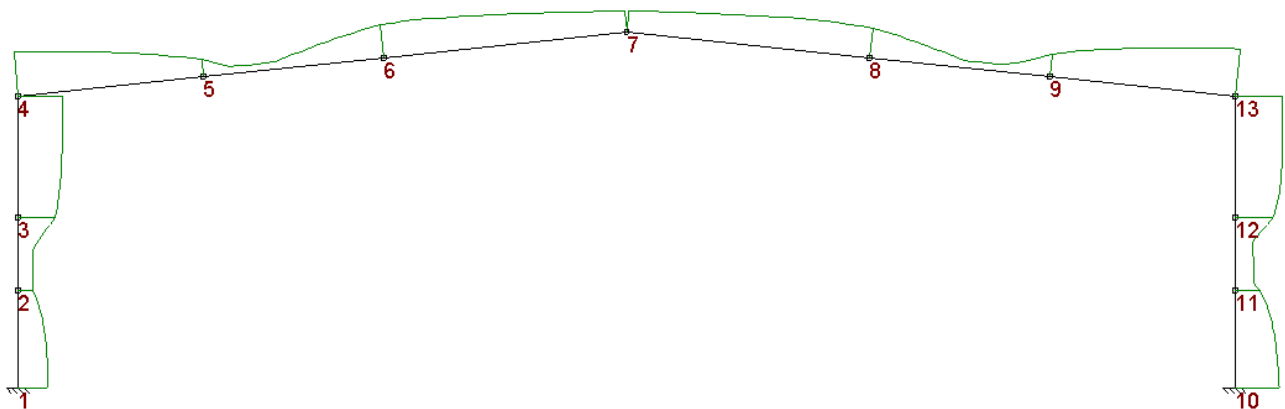


Diagrama de tensiones del pórtico.

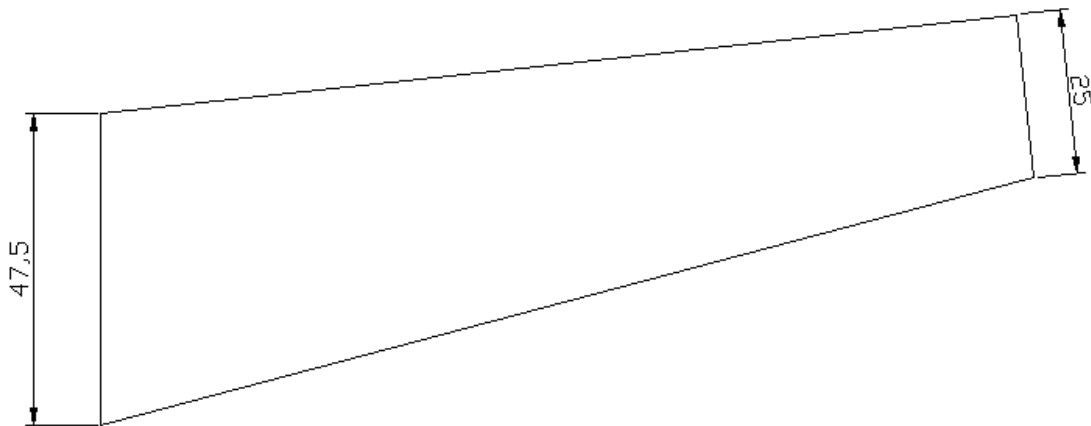
La viga como ya sabemos consta de tres tramos. El tramo (9-13) está aprovechado al 97,20% aunque disminuye dicho aprovechamiento conforme nos acercamos a la barra (8-9). En la barra intermedia (8-9) existe una variación en el aprovechamiento del perfil, oscilando entre un 61,80% de máximo y el 13,50% de mínimo. Por último en la barra (7-8), como podemos apreciar en el diagrama de tensiones, el nudo 8 tiene un aprovechamiento del perfil de 61,80% y que dicho aprovechamiento va disminuyendo conforme nos acercamos a la cumbrera, siendo éste de 43,50%. Ésta disminución de aprovechamiento a lo largo del perfil se produce porque conforme nos acercamos a la cumbrera, el canto del perfil utilizado va siendo mayor. Es verdad que podríamos haber disminuido dicho canto para poder aprovecharlo mejor, pero si lo hubiéramos hecho el desplazamiento vertical que se produce en el nudo 7 sería demasiado grande y no lo podríamos permitir.



3. Cálculo de rigidizadores

Según el CTE no es necesario colocar rigidizadores en perfiles laminados ya que éstos vienen diseñados de manera que no se produce abolladura del alma. En este caso, dado que todos los perfiles son de sección variable habría que comprobarlos todos, pero después de haber realizado una primera valoración, en este caso solo hay que colocar rigidizadores en las barras (9-13) perteneciente a la viga y (12-13) del pilar.

La pieza ha comprobar de la viga, (9-13), es la que vemos a continuación:



1ª Comprobación sin rigidizadores:

$$\frac{d}{t} < 70 \times \varepsilon \quad \text{siendo } d \text{ y } t \text{ dimensiones del alma (altura y espesor)}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}} \quad \text{con } f_{ref} = 235 \text{ N/mm}^2 \quad \text{y con } f_y = 275 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{475}{7} < 70 \times 0,9244$$

67,85 < 64,708 No cumple.

Vamos a diseñarlo de manera que se cumpla que $a \geq d$

donde a = separación entre rigidizadores

$$\frac{L}{d} = \frac{3,82}{0,475} = 8,042 \quad R = 8$$

$$a = \frac{L}{R - 1} = \frac{3,82}{7} = 0,5457$$



$$a \geq d \quad ; \quad 0,5457 \geq 0,475$$

2ª Comprobación con Rigidizadores:

$$\frac{d}{t} < 30 \times \varepsilon \times \sqrt{K_t}$$

Según CTE para $a \geq d$:

$$K_t = 5,34 + \frac{4}{\left(\frac{a}{d}\right)^2} \quad ; \quad K_t = 5,34 + \frac{4}{\left(\frac{0,5457}{0,475}\right)^2} = 8,37$$

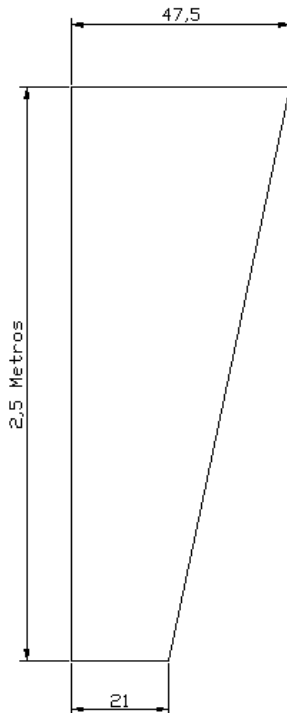
Los cálculos de la segunda comprobación son:

$$\frac{475}{7} < 30 \times 0,9244 \times \sqrt{8,37}$$

$$67,85 < 80,23 \quad \text{OK}$$

Hay que colocar 8 rigidizadores separados 545,7 mm.

La pieza (12-13), perteneciente al pilar es la siguiente:



1ª Comprobación sin rigidizadores:

$$\frac{d}{t} < 70 \times \varepsilon$$

Siendo d y t dimensiones del alma (altura y espesor)

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}} \quad \text{con} \quad f_{ref} = 235 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{y con} \quad f_y = 275 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{475}{7} < 70 \times 0,9244$$

$$67,85 < 64,708 \quad \text{No cumple.}$$

Vamos a diseñarlo de manera que se cumpla que

$$a \geq d$$

donde a = separación entre rigidizadores



$$\frac{L}{d} = \frac{2,5}{0,475} = 5,26 \quad R = 5$$

$$a = \frac{L}{R - 1} = \frac{2,5}{4} = 0,625$$

$$a \geq d \quad ; \quad 0,625 \geq 0,475$$

2ª Comprobación con Rigidizadores:

$$\frac{d}{t} < 30 \times \varepsilon \times \sqrt{K_t}$$

Según CTE para $a \geq d$:

$$K_t = 5,34 + \frac{4}{\left(\frac{a}{d}\right)^2} \quad ; \quad K_t = 5,34 + \frac{4}{\left(\frac{0,625}{0,475}\right)^2} = 7,65$$

Los cálculos de la segunda comprobación son:

$$\frac{475}{7} < 30 \times 0,9244 \times \sqrt{7,65}$$

$$67,85 < 76,70 \quad \text{OK}$$

Hay que colocar 5 rigidizadores separados 625 mm.



RESUMEN PARA 25 METROS DE LUZ



RESUMEN DEL ESTUDIO REALIZADO PARA 25 METROS

A continuación vamos a hacer una comparación entre los cuatro tipos de diseños descritos anteriormente para 25 metros de luz, eligiendo en base al estudio realizado la solución más aconsejable.

En la tabla que vemos justo debajo aparece a modo de resumen los datos más significativos de cada uno de los pórticos. Estos datos a los que hacemos referencia son: las tensiones o grado de aprovechamiento del perfil, el desplazamiento que se produce en el punto más alto de los pórticos (cumbreira) y por último, siendo éste el más importante, el peso total de la estructura. Decimos que es el más importante porque la finalidad de este estudio es conseguir la solución estructural más económica de entre las posibles y esto está relacionado directamente con el peso de la estructura.

(+Peso → +Coste)

Tabla 1. Resumen de los datos más significativos de los diseños estudiados

TIPO DE PÓRTICO	(APROVECHAMIENTO) TENSIONES %		DESPL. VERTICAL CUMBRERA (CM)	PESO PROPIO (KP)
	DINTEL DERECHO	PILAR DERECHO		
IPE 270	98,47%	96,59%	19,58cm	1552,40
VIGA VOID 240	98,30%	97,10%	17,86cm	1358,88
SECCIÓN VARIABLE*	97,20%	98,55%	19,17cm	1392,60
VIGA CELOSÍA*		96,30%	7,79 cm	1112,25

SECCIÓN VARIABLE* Es el único pórtico en el que el pilar no es un IPE, siendo éste de sección variable.

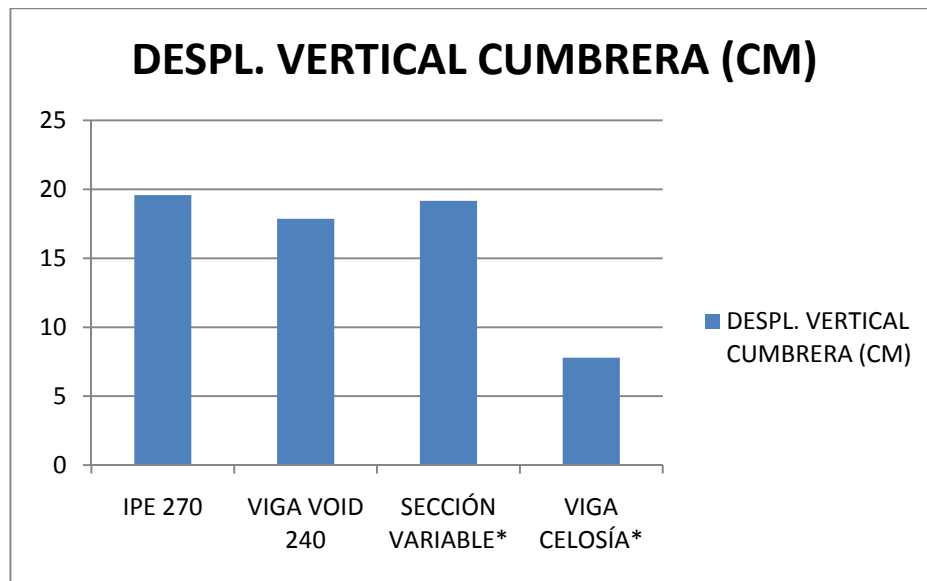
VIGA CELOSÍA* Debido a que la celosía tiene tantas barras, el aprovechamiento de las mismas es muy diverso, no teniendo muy claro el aprovechamiento medio de la misma.

En la tabla podemos ver cómo se van produciendo ya algunas diferencias sobre todo en desplazamiento en cumbreira y el peso total de la estructura.

En cuanto a las tensiones o grado de aprovechamiento del perfil, se ha intentado que en cada uno de los pórticos estos valores sean máximos, por tanto la diferencia entre los mismos es muy pequeña. Atendiendo a la tabla, el tipo de pórtico que tiene un grado de aprovechamiento más alto en general es el diseño VOID.

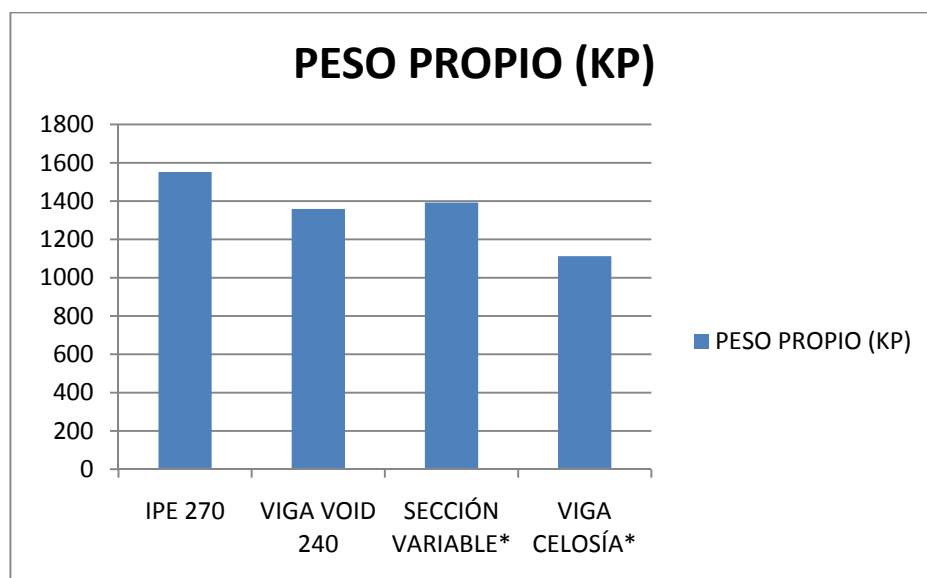


Gráfica 1. Desplazamiento vertical en función del tipo de pórtico



El desplazamiento vertical producido en la cumbre para el pórtico en Celosía es de 7,79 cm, es en el que se produce menos deformación. Los demás pórticos tienen desplazamientos bastante superiores a la Celosía pero son muy parecidos entre ellos, variando solo entre 17cm y 19cm, como podemos apreciar en la tabla.

Gráfica 2. Kilos de acero en función del tipo de pórtico



El pórtico IPE como podemos apreciar en la tabla es el más pesado de todos con 1552,40 Kg., justo después está Void y Sección Variable con 1358,88 Kg y 1392,60 Kg respectivamente. Como podemos apreciar la diferencia que existe entre Void y Variable es de 34 Kg, atendiendo a esto,



podemos descartar de inmediato la solución Void ya que como ya hemos comentado en otra ocasión sus costes de fabricación son muy elevados. A continuación valoraremos las soluciones Variable y IPE, ambas se comportan de manera muy similar, con desplazamientos en cumbrera casi idénticos y valores de tensiones muy parecidos. La diferencia que existe entre ellos es el peso, siendo este de 160 Kg y el coste de fabricación de los mismos, siendo muy superior el de sección variable sobre el IPE y más en este caso en el que el de sección Variable lleva incluso rigidizadores. Estos valores nos dan una pista sobre la solución más adecuada, ya que de entre estas dos posibilidades la más económica es el diseño IPE aunque éste sea el más pesado. Como podemos apreciar en la tabla el pórtico más ligero de todos es el de Celosía con un peso de 1112,25 Kp.

Tras lo comentado anteriormente vemos como la diferencia de peso con respecto al pórtico de Celosía cada vez es mayor. Descartadas ya las opciones de Sección Variable y VOID, nos centramos en los pórticos IPE y Celosía. La diferencia de peso entre ambos es de aproximadamente 440 Kg. También es de valorar a la hora de decidirnos por la solución más acertada, los tiempos de fabricación de ambos pórticos. Como ya hemos comentado anteriormente el pórtico IPE es el que menos tiempo de fabricación en taller tiene, ya que se monta casi in situ en la obra. Por el contrario la Celosía tiene unos costes de fabricación muy superiores al IPE, pero en este caso la diferencia de peso entre pórticos contrarresta este valor.

En este caso tanto la solución IPE como la Celosía podrían ser la solución elegida, pero como hay que elegir una de ellas me voy a inclinar por el diseño Celosía ya que el grado de aprovechamiento de los perfiles es inferior al del IPE y los desplazamientos que se producen en la cumbrera también son menores, quedándonos así por el lado de la seguridad.



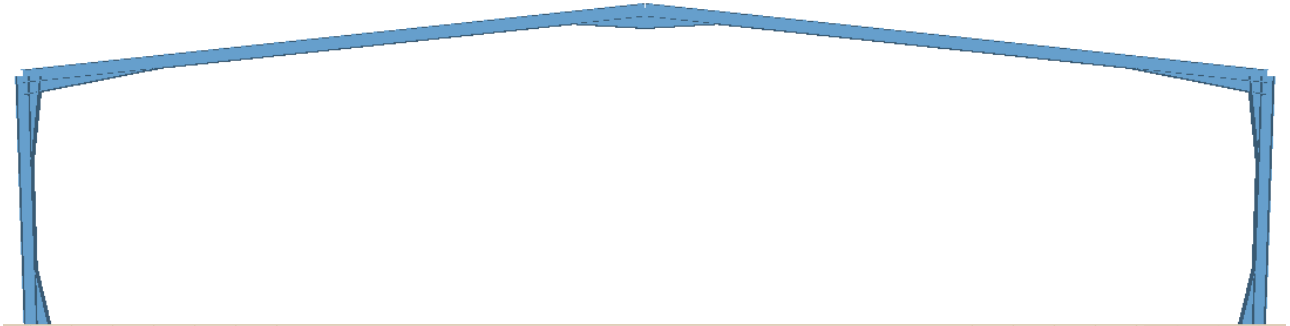
PÓRTICOS PARA 30 METROS DE LUZ



PÓRTICO PERFILES IPE

PÓRTICO IPE 30 METROS DE LUZ

1. Descripción general del pórtico:

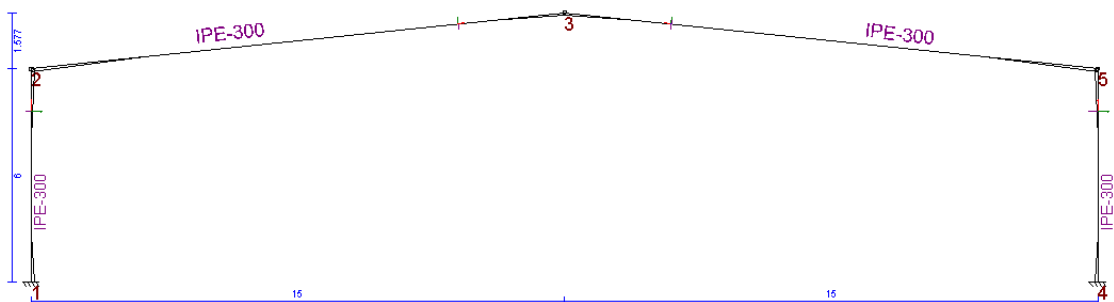


Interpretación real del pórtico

Este pórtico tiene 30 metros de luz y se ha realizado con perfil IPE de 300 milímetros de alma, para poder bajar el perfil lo máximo posible, ha sido necesaria la colocación de refuerzos “cartelas” en todos sus nudos. Estas cartelas se construyen con el mismo perfil utilizado en el pórtico pero cortado a la mitad en ángulo y colocándolas como aparecen en la imagen superior. La longitud de las cartelas superiores e inferiores del pilar son de 2,00 metros y 1,35 metros respectivamente, las cuales son relativamente grandes, pero que ha sido necesario colocar al ser el pilar de dicha sección.

Las vigas que conforman el dintel del pórtico también son IPE de 300 milímetros de alma. Estas vigas también han sido reforzadas en sus nudos con cartelas. La cartela de la cumbrera tiene una longitud de 1,70 metros y la que se encuentra junto al pilar tiene 3,20 metros. El diagrama de tensiones es similar a las luces estudiadas anteriormente, con la salvedad de que las zonas de aprovechamiento son mayores.

En la imagen que podemos apreciar más abajo, aparece a modo de esquema los perfiles utilizados en el pórtico, las cotas y la numeración de los nudos del mismo.



Esquema de nudos, cotas y tipo de perfil.



2. Descripción de valores aportados por Cype

A continuación aparecen unos listados con todos los datos de mediciones, tensiones, peso, reacciones, etc... que nos ha aportado Cype, junto con algunas aclaraciones para su mejor comprensión.

2.1 - Nudos

Nudos	Coordenadas (m)			Vínculos
	X	Y	Z	
1	0.000	0.000	0.000	Empotrado
2	0.000	0.000	6.000	Empotrado
3	0.000	15.000	7.577	Empotrado
4	0.000	30.000	0.000	Empotrado
5	0.000	30.000	6.000	Empotrado

2.2 - Barras: Características Mecánicas

Descripción	Inerc.Tor. cm4	Inerc.y cm4	Inerc.z cm4	Sección cm2
Acero, IPE-300, Simple con cartelas (IPE)	20.100	8360.000	604.000	53.800

2.3.- Barras: Materiales Utilizados

Material	Mód.elást. (GPa)	Mód.el.trans. (GPa)	Lím.elás.\Fck (MPa)	Co.dilat. (m/m°C)	Peso espec. (KN/m3)
Acero (S275)	206.01	79.23	275.00	1.2e-005	77.01

2.4.- Barras: Descripción

Barras	Material	Perfil	Peso (Kp)	Volumen (m3)	Longitud (m)
1/2	Acero (S275)	IPE-300 (IPE) + carts. sup. 1.350 m y 2.000 m	321.59	0.041	6.00
2/3	Acero (S275)	IPE-300 (IPE) + carts. inf. 3.200 m y 1.700 m	736.82	0.094	15.08
5/3	Acero (S275)	IPE-300 (IPE) + carts. inf. 3.200 m y 1.700 m	736.82	0.094	15.08
4/5	Acero (S275)	IPE-300 (IPE) + carts. inf. 1.350 m y 2.000 m	321.59	0.041	6.00



En esta tabla podemos apreciar las longitudes de las cartelas junto con la longitud de los perfiles utilizados y el peso de los mismos.

2.5.- Barras: Resumen Medición (Acero)

Descripción			Peso (Kp)			Longitud (m)		
			Perfil	Serie	Acero	Perfil	Serie	Acero
Acero (S275)	IPE	IPE-300, Simple con c...	2116.82	2116.82		42.16	42.16	
					2116.82			42.16
					2116.82			42.16

El peso total de la estructura como podemos apreciar en la tabla es de 2116,82 kg. Este peso es el más alto de entre todos los diseños estudiados como veremos más adelante, pero es de los más utilizados en la realidad.

2.6.- Cargas (Barras)

Barras	Hipót.	Tipo	Cargas				Dirección		
			P1	P2	L1 (m)	L2 (m)	X	Y	Z
2/3	1 (PP 1)	Trapez.	0.690 KN/m	0.614 KN/m	0.000	1.600	0.000	0.000	-1.000
2/3	1 (PP 1)	Trapez.	0.614 KN/m	0.538 KN/m	1.600	3.200	0.000	0.000	-1.000
2/3	1 (PP 1)	Faja	0.414 KN/m	-	3.200	13.383	0.000	0.000	-1.000
2/3	1 (PP 1)	Trapez.	0.538 KN/m	0.614 KN/m	13.383	14.233	0.000	0.000	-1.000
2/3	1 (PP 1)	Trapez.	0.614 KN/m	0.690 KN/m	14.233	15.083	0.000	0.000	-1.000
2/3	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
5/3	1 (PP 1)	Trapez.	0.690 KN/m	0.614 KN/m	0.000	1.600	0.000	0.000	-1.000
5/3	1 (PP 1)	Trapez.	0.614 KN/m	0.538 KN/m	1.600	3.200	0.000	0.000	-1.000
5/3	1 (PP 1)	Faja	0.414 KN/m	-	3.200	13.383	0.000	0.000	-1.000
5/3	1 (PP 1)	Trapez.	0.538 KN/m	0.614 KN/m	13.383	14.233	0.000	0.000	-1.000
5/3	1 (PP 1)	Trapez.	0.614 KN/m	0.690 KN/m	14.233	15.083	0.000	0.000	-1.000
5/3	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Trapez.	0.690 KN/m	0.614 KN/m	0.000	0.675	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Trapez.	0.614 KN/m	0.538 KN/m	0.675	1.350	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Faja	0.414 KN/m	-	1.350	4.000	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Trapez.	0.538 KN/m	0.614 KN/m	4.000	5.000	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Trapez.	0.614 KN/m	0.690 KN/m	5.000	6.000	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Uniforme	2.340 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
4/5	1 (PP 1)	Trapez.	0.690 KN/m	0.614 KN/m	0.000	0.675	0.000	0.000	-1.000
4/5	1 (PP 1)	Trapez.	0.614 KN/m	0.538 KN/m	0.675	1.350	0.000	0.000	-1.000
4/5	1 (PP 1)	Faja	0.414 KN/m	-	1.350	4.000	0.000	0.000	-1.000
4/5	1 (PP 1)	Trapez.	0.538 KN/m	0.614 KN/m	4.000	5.000	0.000	0.000	-1.000
4/5	1 (PP 1)	Trapez.	0.614 KN/m	0.690 KN/m	5.000	6.000	0.000	0.000	-1.000
4/5	1 (PP 1)	Uniforme	1.020 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000



2.7.- Desplazamientos

Nudos	Descripción	DESPLAZAMIENTOS (EJES GENERALES)					
		DX (m)	DY (m)	DZ (m)	GX (rad)	GY (rad)	GZ (rad)
1	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	-0.0183	0.0001	-0.0049	0.0000	0.0000
		0.0000	-0.0183	0.0001	-0.0049	0.0000	0.0000
3	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0057	-0.2350	0.0007	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0057	-0.2350	0.0007	0.0000	0.0000
4	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
5	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0299	0.0000	0.0028	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0299	0.0000	0.0028	0.0000	0.0000

El desplazamiento que se produce en la cumbrera como podemos ver en la tabla es de 23,50 cm. Este desplazamiento se debe a la flexión que se produce en las vigas.

2.8.- Reacciones

Nudos	Descripción	REACCIONES (EJES GENERALES)					
		RX (KN)	RY (KN)	RZ (KN)	MX (KN·m)	MY (KN·m)	MZ (KN·m)
1	Envolvente (Cim.equil.)	0.0000	64.2448	64.3264	-256.2806	0.0000	0.0000
		0.0000	96.3671	96.4896	-170.8537	0.0000	0.0000
1	Envolvente (Cim.tens.terr.)	0.0000	64.2448	64.3264	-170.8537	0.0000	0.0000
		0.0000	64.2448	64.3264	-170.8537	0.0000	0.0000
4	Envolvente (Cim.equil.)	0.0000	-126.6071	65.0342	220.7168	0.0000	0.0000
		0.0000	-84.4048	97.5513	331.0752	0.0000	0.0000
4	Envolvente (Cim.tens.terr.)	0.0000	-84.4048	65.0342	220.7168	0.0000	0.0000
		0.0000	-84.4048	65.0342	220.7168	0.0000	0.0000

2.9.- Tensiones

Barras	TENSION MÁXIMA								
	TENS. ()	APROV. (%)	Pos. (m)	N (KN)	Vy (KN)	Vz (KN)	Mt (KN·m)	My (KN·m)	Mz (KN·m)
2/3	0.9161	91.61	3.200	-113.4626	0.0000	-49.3942	0.0000	-143.8210	0.0000
5/3	0.9880	98.80	3.200	-113.5926	0.0000	-50.3408	0.0000	-155.1094	0.0000
1/2	0.8961	89.61	5.600	-88.5554	0.0000	-99.7079	0.0000	294.4000	0.0000
4/5	0.9464	94.64	1.350	-78.0114	0.0000	118.2825	0.0000	148.5893	0.0000



El pórtico que nos ocupa consta de cuatro barras, pero realmente a efectos de estudio solo vamos a describir la viga de la derecha y el pilar derecho ya que, según hemos aplicado la hipótesis de carga, son los que están soportando más tensión.

Como podemos apreciar en la tabla el grado de aprovechamiento del pilar y viga derecha es bastante alto 94,64% y 98,80% respectivamente, lo cual nos indica que el diseño utilizado es bastante bueno.

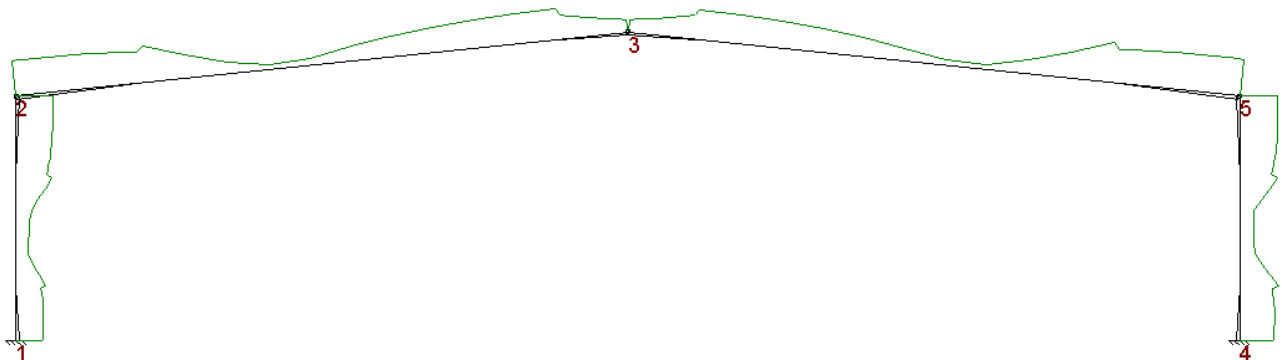


Diagrama de tensiones del pórtico.

Si nos fijamos ahora en el diagrama de tensiones vemos como este alto aprovechamiento de los perfiles se produce en las cercanías de los nudos, habiendo una zona tanto en el pilar como en la viga en la que este aprovechamiento disminuye considerablemente, pero al ser un perfil constante esta zona no se puede aprovechar mejor. Utilizando otros diseños como sección variable o Void veremos que esta zona se disminuye de manera considerable.

A continuación vamos a describir lo que le ocurre al pilar y viga derecho en cuanto al grado de aprovechamiento del perfil.

El pilar tiene tres zonas bien diferenciadas, la primera junto al suelo tiene una longitud de unos 1,6 metros en la que el reparto de tensiones es uniforme y bastante grande, debido a esto se ha colocado la cartela reforzando esta zona, con una longitud de 1,35 metros. El aprovechamiento en esta zona está en torno al 94,60% justo en el punto donde acaba la cartela. En la zona intermedia del pilar de unos 2,1 metros de longitud, el aprovechamiento medio está en torno al 52%, habiendo una pequeña zona donde dicho aprovechamiento es del 35,80%. Por último, en la zona junto a la viga, el aprovechamiento vuelve a subir hasta el 93,90% manteniéndose casi constante en un tramo de 2,30 metros de longitud. Debido al aumento de la tensión hasta tal punto, ha sido necesaria la colocación de la cartela de 2,00 metros de longitud para reforzar esta zona.



Para la viga la distribución de tensiones es bastante similar a la del pilar. La primera zona que está pegando a la cumbrera, la tensión es inferior a la que se produce junto al pilar, si atendemos al estudio realizado en las luces anteriores para este diseño vemos que conforme aumenta la luz el aprovechamiento del perfil en la zona de la cumbrera va disminuyendo, siendo el aprovechamiento para esta zona del 73%. La cartela colocada en dicha zona tiene una longitud de 1,70 metros, este refuerzo no le hace falta por cuestiones de tensión sino por reforzar una zona bastante delicada, debido a los desplazamientos que se producen en ella. La zona intermedia del perfil comprende unos 6,40 metros. En dicha zona la tensión que soporta el perfil es bastante inferior a la del resto del mismo, teniendo una pequeña zona con tan solo el 12,50% de aprovechamiento del perfil. El último tramo junto al pilar, el aprovechamiento como podemos apreciar es más alto y más uniforme a lo largo del perfil, teniendo un valor de 98,80%. Por tanto ha sido necesaria la colocación de una cartela con una longitud de 3,20 metros.

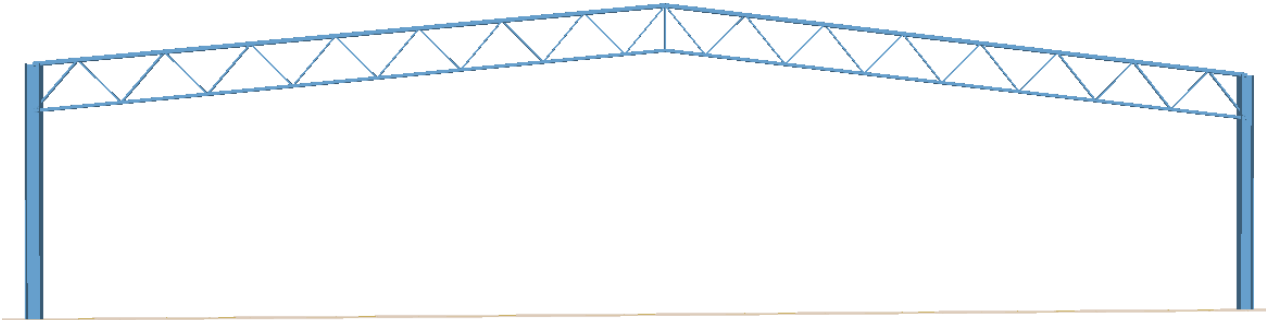


PÓRTICO VIGA DE CELOSÍA

PÓRTICO VIGA DE CELOSÍA 30 METROS DE LUZ

1. Descripción general del pórtico:

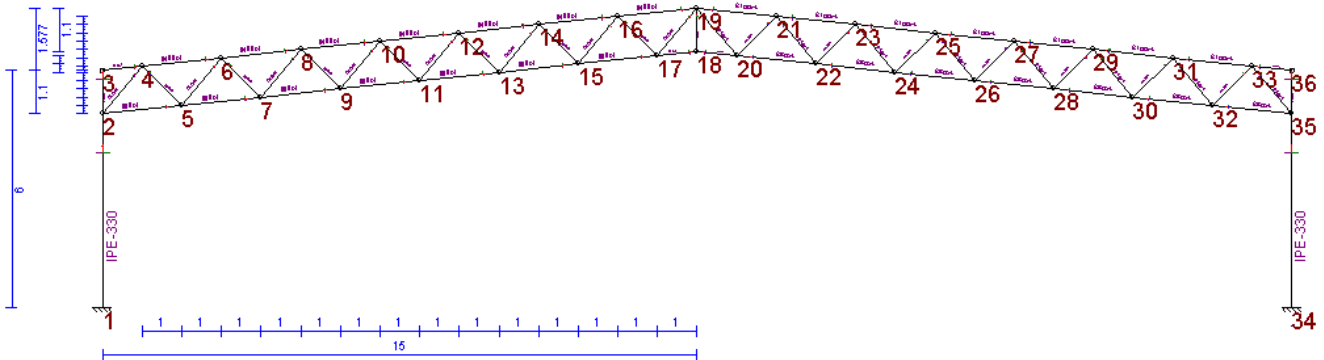
Interpretación real del pórtico



El pórtico que nos ocupa como ya sabemos tiene 30 metros de luz, sus pilares son IPE y la viga es una celosía cuyo diseño es el mismo de las estudiadas anteriormente.

Para los pilares se ha utilizado una sección de IPE 330 mm. En este caso no ha sido necesaria la colocación de cartelas inferiores ya que en el diagrama de tensiones del pilar, se ha equilibrado el aprovechamiento de la zona inferior con la superior del mismo. Esto quiere decir que el aprovechamiento de la parte inferior del perfil es muy similar al de la parte superior y como en la parte superior no colocamos cartelas por cuestiones de diseño en la parte inferior no son necesarias.

La viga como ya hemos comentado se ha solucionado con una celosía, formada en su totalidad por perfiles cuadrados huecos. Dicha celosía está formada por un montante vertical en la cumbrera y veintiséis diagonales, las cuales forman un ángulo con el montante inferior de 46° . Ésta tiene una altura entre montantes de 1,1 m. El montante superior tiene 100 mm de lado y 4 mm de espesor y el inferior 80 mm de lado y 4 mm de espesor. Las diagonales (2-4) y (5-6) tienen 50 mm de lado y 4 mm de espesor y la (7-8) tiene el mismo espesor y 45 mm de lado. El resto de diagonales está formado por perfil cuadrado hueco de 40 mm de lado y 4 mm de espesor.



Esquema de nudos, cotas y tipo de perfil.

En la imagen superior como podemos apreciar aparecen los nudos, cotas y perfiles utilizados, los cuales se describen a continuación:

2. Descripción de valores aportados por Cype

2.1 - Nudos

Nudos	Coordenadas (m)			Vínculos
	X	Y	Z	
1	0.000	0.000	0.000	Empotrado
2	0.000	0.000	4.900	Articulado
3	0.000	0.000	6.000	Empotrado
4	0.000	1.000	6.105	Articulado
5	0.000	2.000	5.110	Articulado
6	0.000	3.000	6.315	Articulado
7	0.000	4.000	5.321	Articulado
8	0.000	5.000	6.526	Articulado
9	0.000	6.000	5.531	Articulado
10	0.000	7.000	6.736	Articulado
11	0.000	8.000	5.741	Articulado
12	0.000	9.000	6.946	Articulado
13	0.000	10.000	5.951	Articulado
14	0.000	11.000	7.156	Articulado
15	0.000	12.000	6.162	Articulado
16	0.000	13.000	7.367	Articulado
17	0.000	14.000	6.372	Articulado
18	0.000	15.000	6.477	Articulado

Nudos	Coordenadas (m)			Vínculos
	X	Y	Z	
19	0.000	15.000	7.577	Articulado
20	0.000	16.000	6.372	Articulado
21	0.000	17.000	7.367	Articulado
22	0.000	18.000	6.162	Articulado
23	0.000	19.000	7.156	Articulado
24	0.000	20.000	5.951	Articulado
25	0.000	21.000	6.946	Articulado
26	0.000	22.000	5.741	Articulado
27	0.000	23.000	6.736	Articulado
28	0.000	24.000	5.531	Articulado
29	0.000	25.000	6.526	Articulado
30	0.000	26.000	5.321	Articulado
31	0.000	27.000	6.315	Articulado
32	0.000	28.000	5.110	Articulado
33	0.000	29.000	6.105	Articulado
34	0.000	30.000	0.000	Empotrado
35	0.000	30.000	4.900	Articulado
36	0.000	30.000	6.000	Empotrado

Hay un total de treinta y seis nudos, los cuales se han considerado todos articulados salvo las vinculaciones exteriores que son empotramientos y las uniones entre celosía y pilar que se han considerado nudos rígidos.



2.2 - Barras: Características Mecánicas

Descripción	Inerc.Tor. cm ⁴	Inerc.y cm ⁴	Inerc.z cm ⁴	Sección cm ²
Acero, IPE-330, Perfil simple (IPE)	26.500	11770.000	788.000	62.600
Acero, #40x4, Perfil simple (Huecos cuadrados)	19.017	10.347	10.347	5.198
Acero, #45x4, Perfil simple (Huecos cuadrados)	28.276	15.702	15.702	5.998
Acero, #50x4, Perfil simple (Huecos cuadrados)	40.067	22.627	22.627	6.798
Acero, #80x4, Perfil simple (Huecos cuadrados)	180.758	108.341	108.341	11.598
Acero, #100x4, Perfil simple (Huecos cuadrados)	363.161	222.211	222.211	14.798

2.3.- Barras: Materiales Utilizados

Material	Mód.elást. (GPa)	Mód.el.trans. (GPa)	Lím.elás.\Fck (MPa)	Co.dilat. (m/m°C)	Peso espec. (KN/m ³)
Acero (S275)	206.01	79.23	275.00	1.2e-005	77.01

2.4.- Barras: Descripción

Barras	Material	Perfil	Peso (Kp)	Volumen (m ³)	Longitud (m)
1/2	Acero (S275)	IPE-330 (IPE)	240.79	0.031	4.90
2/3	Acero (S275)	IPE-330 (IPE)	54.06	0.007	1.10
2/4	Acero (S275)	#50x4 (Huecos cuadrados)	8.36	0.001	1.57
2/5	Acero (S275)	#80x4 (Huecos cuadrados)	18.31	0.002	2.01
3/4	Acero (S275)	#100x4 (Huecos cuadrados)	11.68	0.001	1.01
5/4	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	5.76	0.001	1.41
4/6	Acero (S275)	#100x4 (Huecos cuadrados)	23.36	0.003	2.01
5/6	Acero (S275)	#50x4 (Huecos cuadrados)	8.36	0.001	1.57
5/7	Acero (S275)	#80x4 (Huecos cuadrados)	18.31	0.002	2.01
7/6	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	5.76	0.001	1.41
6/8	Acero (S275)	#100x4 (Huecos cuadrados)	23.36	0.003	2.01
7/8	Acero (S275)	#45x4 (Huecos cuadrados)	7.37	0.001	1.57
7/9	Acero (S275)	#80x4 (Huecos cuadrados)	18.31	0.002	2.01
9/8	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	5.76	0.001	1.41
8/10	Acero (S275)	#100x4 (Huecos cuadrados)	23.36	0.003	2.01
9/10	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	6.39	0.001	1.57
9/11	Acero (S275)	#80x4 (Huecos cuadrados)	18.31	0.002	2.01
11/10	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	5.76	0.001	1.41
10/12	Acero (S275)	#100x4 (Huecos cuadrados)	23.36	0.003	2.01
11/12	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	6.39	0.001	1.57
11/13	Acero (S275)	#80x4 (Huecos cuadrados)	18.31	0.002	2.01
13/12	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	5.76	0.001	1.41
12/14	Acero (S275)	#100x4 (Huecos cuadrados)	23.36	0.003	2.01
13/14	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	6.39	0.001	1.57
13/15	Acero (S275)	#80x4 (Huecos cuadrados)	18.31	0.002	2.01
15/14	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	5.76	0.001	1.41
14/16	Acero (S275)	#100x4 (Huecos cuadrados)	23.36	0.003	2.01
15/16	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	6.39	0.001	1.57
15/17	Acero (S275)	#80x4 (Huecos cuadrados)	18.31	0.002	2.01
17/16	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	5.76	0.001	1.41



Pórtico Viga Celosía 30 Metros de Luz

16/19	Acero (S275)	#100x4 (Huecos cuadrados)	23.36	0.003	2.01
17/18	Acero (S275)	#80x4 (Huecos cuadrados)	9.15	0.001	1.01
17/19	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	6.39	0.001	1.57
18/19	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	4.49	0.001	1.10
20/18	Acero (S275)	#80x4 (Huecos cuadrados)	9.15	0.001	1.01
20/19	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	6.39	0.001	1.57
21/19	Acero (S275)	#100x4 (Huecos cuadrados)	23.36	0.003	2.01
20/21	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	5.76	0.001	1.41
22/20	Acero (S275)	#80x4 (Huecos cuadrados)	18.31	0.002	2.01
22/21	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	6.39	0.001	1.57
23/21	Acero (S275)	#100x4 (Huecos cuadrados)	23.36	0.003	2.01
22/23	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	5.76	0.001	1.41
24/22	Acero (S275)	#80x4 (Huecos cuadrados)	18.31	0.002	2.01
24/23	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	6.39	0.001	1.57
25/23	Acero (S275)	#100x4 (Huecos cuadrados)	23.36	0.003	2.01
24/25	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	5.76	0.001	1.41
26/24	Acero (S275)	#80x4 (Huecos cuadrados)	18.31	0.002	2.01
26/25	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	6.39	0.001	1.57
27/25	Acero (S275)	#100x4 (Huecos cuadrados)	23.36	0.003	2.01
26/27	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	5.76	0.001	1.41
28/26	Acero (S275)	#80x4 (Huecos cuadrados)	18.31	0.002	2.01
28/27	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	6.39	0.001	1.57
29/27	Acero (S275)	#100x4 (Huecos cuadrados)	23.36	0.003	2.01
28/29	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	5.76	0.001	1.41
30/28	Acero (S275)	#80x4 (Huecos cuadrados)	18.31	0.002	2.01
30/29	Acero (S275)	#45x4 (Huecos cuadrados)	7.37	0.001	1.57
31/29	Acero (S275)	#100x4 (Huecos cuadrados)	23.36	0.003	2.01
30/31	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	5.76	0.001	1.41
32/30	Acero (S275)	#80x4 (Huecos cuadrados)	18.31	0.002	2.01
32/31	Acero (S275)	#50x4 (Huecos cuadrados)	8.36	0.001	1.57
33/31	Acero (S275)	#100x4 (Huecos cuadrados)	23.36	0.003	2.01
32/33	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	5.76	0.001	1.41
35/32	Acero (S275)	#80x4 (Huecos cuadrados)	18.31	0.002	2.01
35/33	Acero (S275)	#50x4 (Huecos cuadrados)	8.36	0.001	1.57
36/33	Acero (S275)	#100x4 (Huecos cuadrados)	11.68	0.001	1.01
34/35	Acero (S275)	IPE-330 (IPE)	240.79	0.031	4.90
35/36	Acero (S275)	IPE-330 (IPE)	54.06	0.007	1.10

2.5.- Barras: Resumen Medición (Acero)

Descripción			Peso (Kp)			Longitud (m)		
			Perfil	Serie	Acero	Perfil	Serie	Acero
Acero (S275)	IPE	IPE-330, Perfil simple	589.70	589.70		12.00	12.00	
		#40x4, Perfil simple	149.03			36.54		
		#45x4, Perfil simple	14.74			3.14		
		#50x4, Perfil simple	33.44			6.28		
		#80x4, Perfil simple	274.64			30.16		
		#100x4, Perfil simple	350.40			30.16		
	Huecos cuadrados			822.25	1411.95		106.28	118.28
					1411.95			118.28

Como podemos apreciar en la tabla, el peso total de la estructura es de



1411,95 Kg, dicho peso es el menor de entre todas las tipologías estudiadas. Esta reducción de peso se debe al uso de la viga de celosía obteniendo así un pórtico más ligero.

2.6.- Cargas (Nudos)

Nudos	Hipót.	Tipo	Cargas				Dirección		
			P1	P2	L1 (m)	L2 (m)	X	Y	Z
3	1 (PP 1)	Puntual	3.375 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
4	1 (PP 1)	Puntual	6.750 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
6	1 (PP 1)	Puntual	6.750 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
8	1 (PP 1)	Puntual	6.750 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
10	1 (PP 1)	Puntual	6.750 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
12	1 (PP 1)	Puntual	6.750 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
14	1 (PP 1)	Puntual	6.750 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
16	1 (PP 1)	Puntual	6.750 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
19	1 (PP 1)	Puntual	6.750 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
21	1 (PP 1)	Puntual	6.750 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
23	1 (PP 1)	Puntual	6.750 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
25	1 (PP 1)	Puntual	6.750 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
27	1 (PP 1)	Puntual	6.750 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
29	1 (PP 1)	Puntual	6.750 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
31	1 (PP 1)	Puntual	6.750 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
33	1 (PP 1)	Puntual	6.750 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
36	1 (PP 1)	Puntual	3.375 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000

En la tabla superior podemos apreciar como se ha distribuido la carga calculada al principio en la celosía y en la tabla que hay a continuación se detalla las cargas debidas al peso propio de la estructura que nos ha generado el programa.

2.7.- Cargas (Barras)

Barras	Hipót.	Tipo	Cargas				Dirección		
			P1	P2	L1 (m)	L2 (m)	X	Y	Z
2/3	1 (PP 1)	Uniforme	0.482 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
2/3	1 (PP 1)	Uniforme	2.340 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
34/35	1 (PP 1)	Uniforme	0.482 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
34/35	1 (PP 1)	Uniforme	1.020 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
1/2	1 (PP 1)	Uniforme	0.482 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Uniforme	2.340 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
35/36	1 (PP 1)	Uniforme	0.482 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
35/36	1 (PP 1)	Uniforme	1.020 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
18/19	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
20/19	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
17/19	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000



Pórtico Viga Celosía 30 Metros de Luz

20/21	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
17/16	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
22/21	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
15/16	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
22/23	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
15/14	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
24/23	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
13/14	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
24/25	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
13/12	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
26/25	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
11/12	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
26/27	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
11/10	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
28/27	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
9/10	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
28/29	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
9/8	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
30/31	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
7/6	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
32/33	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
5/4	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
7/8	1 (PP 1)	Uniforme	0.046 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
30/29	1 (PP 1)	Uniforme	0.046 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
5/6	1 (PP 1)	Uniforme	0.052 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
32/31	1 (PP 1)	Uniforme	0.052 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
35/33	1 (PP 1)	Uniforme	0.052 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
2/4	1 (PP 1)	Uniforme	0.052 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
17/18	1 (PP 1)	Uniforme	0.089 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
20/18	1 (PP 1)	Uniforme	0.089 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
15/17	1 (PP 1)	Uniforme	0.089 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
22/20	1 (PP 1)	Uniforme	0.089 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
13/15	1 (PP 1)	Uniforme	0.089 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
24/22	1 (PP 1)	Uniforme	0.089 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
11/13	1 (PP 1)	Uniforme	0.089 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
26/24	1 (PP 1)	Uniforme	0.089 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
9/11	1 (PP 1)	Uniforme	0.089 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
28/26	1 (PP 1)	Uniforme	0.089 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
7/9	1 (PP 1)	Uniforme	0.089 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
30/28	1 (PP 1)	Uniforme	0.089 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
5/7	1 (PP 1)	Uniforme	0.089 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
32/30	1 (PP 1)	Uniforme	0.089 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
2/5	1 (PP 1)	Uniforme	0.089 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
35/32	1 (PP 1)	Uniforme	0.089 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
16/19	1 (PP 1)	Uniforme	0.114 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
21/19	1 (PP 1)	Uniforme	0.114 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
14/16	1 (PP 1)	Uniforme	0.114 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
23/21	1 (PP 1)	Uniforme	0.114 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
12/14	1 (PP 1)	Uniforme	0.114 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
25/23	1 (PP 1)	Uniforme	0.114 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
10/12	1 (PP 1)	Uniforme	0.114 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
27/25	1 (PP 1)	Uniforme	0.114 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000



Pórtico Viga Celosía 30 Metros de Luz

8/10	1 (PP 1)	Uniforme	0.114 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
29/27	1 (PP 1)	Uniforme	0.114 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
6/8	1 (PP 1)	Uniforme	0.114 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
31/29	1 (PP 1)	Uniforme	0.114 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
4/6	1 (PP 1)	Uniforme	0.114 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
33/31	1 (PP 1)	Uniforme	0.114 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
3/4	1 (PP 1)	Uniforme	0.114 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
36/33	1 (PP 1)	Uniforme	0.114 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000

2.8.- Desplazamientos

Los desplazamientos que se producen normalmente en una celosía son muy pequeños y no va a ser este caso una excepción. En los demás pórticos estudiados para esta luz, los desplazamientos que se producen en la cumbrera son bastante mayores que en el caso que nos ocupa, siendo este de 9,43 cm.

2.9.- Reacciones

Nudos	Descripción	REACCIONES (EJES GENERALES)					
		RX (KN)	RY (KN)	RZ (KN)	MX (KN·m)	MY (KN·m)	MZ (KN·m)
1	Envolvente (Cim.equil.)	0.0000	36.4944	60.2744	-118.7060	0.0000	0.0000
		0.0000	54.7415	90.4116	-79.1373	0.0000	0.0000
1	Envolvente (Cim.tens.terr.)	0.0000	36.4944	60.2744	-79.1373	0.0000	0.0000
		0.0000	36.4944	60.2744	-79.1373	0.0000	0.0000
34	Envolvente (Cim.equil.)	0.0000	-84.9815	61.5760	120.0935	0.0000	0.0000
		0.0000	-56.6544	92.3640	180.1403	0.0000	0.0000
34	Envolvente (Cim.tens.terr.)	0.0000	-56.6544	61.5760	120.0935	0.0000	0.0000
		0.0000	-56.6544	61.5760	120.0935	0.0000	0.0000

2.10.-Tensiones

Barras	TENSION MÁXIMA								
	TENS. ()	APROV. (%)	Pos. (m)	N (KN)	Vy (KN)	Vz (KN)	Mt (KN·m)	My (KN·m)	Mz (KN·m)
2/3	0.8582	85.82	0.000	8.9257	0.0000	156.7031	0.0000	172.4985	0.0000
34/35	0.9757	97.57	4.900	-79.9387	0.0000	69.7361	0.0000	-196.1114	0.0000
1/2	0.8582	85.82	4.900	-78.1815	0.0000	-64.7465	0.0000	172.4985	0.0000
35/36	0.9757	97.57	0.000	11.4651	0.0000	-175.6281	0.0000	-196.1114	0.0000
18/19	0.2839	28.39	1.100	36.8901	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
20/19	0.0087	0.87	1.566	1.1326	0.0000	0.0270	0.0000	0.0000	0.0000
17/19	0.0279	2.79	1.566	3.6210	0.0000	0.0270	0.0000	0.0000	0.0000
20/21	0.0201	2.01	0.705	-0.9884	0.0000	0.0000	0.0000	0.0095	0.0000
17/16	0.0546	5.46	0.705	-3.2338	0.0000	0.0000	0.0000	0.0095	0.0000
22/21	0.2130	21.30	0.783	-11.6782	0.0000	0.0000	0.0000	0.0106	0.0000
15/16	0.1687	16.87	0.783	-9.1857	0.0000	0.0000	0.0000	0.0106	0.0000
22/23	0.0840	8.40	1.411	10.9133	0.0000	0.0270	0.0000	0.0000	0.0000



Pórtico Viga Celosía 30 Metros de Luz

15/14	0.0667	6.67	1.411	8.6700	0.0000	0.0270	0.0000	0.0000	0.0000
24/23	0.4613	46.13	0.783	-25.7525	0.0000	0.0000	0.0000	0.0106	0.0000
13/14	0.4175	41.75	0.783	-23.2621	0.0000	0.0000	0.0000	0.0106	0.0000
24/25	0.1819	18.19	1.411	23.6320	0.0000	0.0270	0.0000	0.0000	0.0000
13/12	0.1646	16.46	1.411	21.3879	0.0000	0.0270	0.0000	0.0000	0.0000
26/25	0.7059	70.59	0.783	-39.6521	0.0000	0.0000	0.0000	0.0106	0.0000
11/12	0.6621	66.21	0.783	-37.1604	0.0000	0.0000	0.0000	0.0106	0.0000
26/27	0.2780	27.80	1.411	36.1193	0.0000	0.0270	0.0000	0.0000	0.0000
11/10	0.2607	26.07	1.411	33.8762	0.0000	0.0270	0.0000	0.0000	0.0000
28/27	0.9506	95.06	0.783	-53.5528	0.0000	0.0000	0.0000	0.0106	0.0000
9/10	0.9068	90.68	0.783	-51.0643	0.0000	0.0000	0.0000	0.0106	0.0000
28/29	0.3748	37.48	1.411	48.6973	0.0000	0.0270	0.0000	0.0000	0.0000
9/8	0.3575	35.75	1.411	46.4527	0.0000	0.0270	0.0000	0.0000	0.0000
30/31	0.4705	47.05	1.411	61.1398	0.0000	0.0270	0.0000	0.0000	0.0000
7/6	0.4533	45.33	1.411	58.9017	0.0000	0.0270	0.0000	0.0000	0.0000
32/33	0.5717	57.17	1.411	74.2848	0.0000	0.0270	0.0000	0.0000	0.0000
5/4	0.5542	55.42	1.411	72.0164	0.0000	0.0270	0.0000	0.0000	0.0000
7/8	0.8309	83.09	0.783	-64.9992	0.0000	0.0000	0.0000	0.0122	0.0000
30/29	0.8625	86.25	0.783	-67.4944	0.0000	0.0000	0.0000	0.0122	0.0000
5/6	0.7771	77.71	0.783	-79.1125	0.0000	0.0000	0.0000	0.0138	0.0000
32/31	0.8012	80.12	0.783	-81.5898	0.0000	0.0000	0.0000	0.0138	0.0000
35/33	0.9157	91.57	0.783	-93.3403	0.0000	0.0000	0.0000	0.0138	0.0000
2/4	0.8907	89.07	0.783	-90.7736	0.0000	0.0000	0.0000	0.0138	0.0000
17/18	0.5965	59.65	1.006	172.9509	0.0000	0.3361	0.0000	0.0000	0.0000
20/18	0.5965	59.65	1.006	172.9504	0.0000	0.3318	0.0000	0.0000	0.0000
15/17	0.6123	61.23	2.011	177.5390	0.0000	0.1344	0.0000	0.2774	0.0000
22/20	0.6013	60.13	2.011	174.3404	0.0000	0.1331	0.0000	0.2730	0.0000
13/15	0.5707	57.07	2.011	165.4761	0.0000	0.0995	0.0000	0.3052	0.0000
24/22	0.5487	54.87	2.011	159.0780	0.0000	0.0968	0.0000	0.2982	0.0000
11/13	0.4667	46.67	2.011	135.3124	0.0000	0.0944	0.0000	0.2629	0.0000
26/24	0.4336	43.36	2.011	125.7156	0.0000	0.0922	0.0000	0.2503	0.0000
9/11	0.3012	30.12	2.011	87.3202	0.0000	0.0654	0.0000	0.2102	0.0000
28/26	0.2570	25.70	2.011	74.5244	0.0000	0.0622	0.0000	0.1933	0.0000
7/9	0.0739	7.39	2.011	21.4397	0.0000	0.0771	0.0000	0.0992	0.0000
30/28	0.0188	1.88	2.011	5.4464	0.0000	0.0763	0.0000	0.0759	0.0000
5/7	0.3209	32.09	0.000	-62.2966	0.0000	-0.2387	0.0000	-0.2260	0.0000
32/30	0.4185	41.85	0.000	-81.4882	0.0000	-0.2469	0.0000	-0.2672	0.0000
2/5	0.7949	79.49	2.011	-164.3607	0.0000	0.2329	0.0000	-0.2260	0.0000
35/32	0.9051	90.51	2.011	-186.7570	0.0000	0.2534	0.0000	-0.2672	0.0000
16/19	0.8750	87.50	0.000	-243.7904	0.0000	0.2532	0.0000	0.8186	0.0000
21/19	0.8688	86.88	0.000	-242.1931	0.0000	0.2484	0.0000	0.8090	0.0000
14/16	0.8640	86.40	1.760	-240.2244	0.0000	-0.0028	0.0000	0.8228	0.0000
23/21	0.8473	84.73	1.760	-235.4262	0.0000	-0.0079	0.0000	0.8118	0.0000
12/14	0.7758	77.58	1.257	-219.1248	0.0000	0.0173	0.0000	0.6374	0.0000
25/23	0.7475	74.75	1.257	-211.1285	0.0000	0.0123	0.0000	0.6139	0.0000
10/12	0.6411	64.11	1.508	-180.0396	0.0000	-0.0014	0.0000	0.5569	0.0000
27/25	0.6003	60.03	1.508	-168.8437	0.0000	-0.0061	0.0000	0.5247	0.0000
8/10	0.4347	43.47	1.760	-123.1220	0.0000	0.0076	0.0000	0.3875	0.0000
29/27	0.3833	38.33	1.760	-108.7294	0.0000	0.0017	0.0000	0.3467	0.0000
6/8	0.1692	16.92	0.000	-48.3270	0.0000	-0.3165	0.0000	-0.1630	0.0000
31/29	0.1165	11.65	0.000	-30.7319	0.0000	-0.3201	0.0000	-0.2216	0.0000
4/6	0.1202	12.02	2.011	44.4856	0.0000	0.1344	0.0000	-0.1630	0.0000



Pórtico Viga Celosía 30 Metros de Luz

33/31	0.1764	17.64	2.011	65.2661	0.0000	0.1256	0.0000	-0.2216	0.0000
3/4	0.4160	41.60	1.006	153.8890	0.0000	-1.7473	0.0000	-0.2021	0.0000
36/33	0.4810	48.10	1.006	177.9381	0.0000	-1.7222	0.0000	-0.2784	0.0000

Como podemos apreciar en el pórtico de la imagen, los montantes tanto superior como inferior, son los que más tensión están soportando. En el montante superior el aprovechamiento máximo se produce en la cumbrera, siendo este del 87,50%, conforme nos vamos acercando al pilar la tensión a la que está sometido el perfil va disminuyendo hasta tener el 17,6% de aprovechamiento del mismo, en la barra de dicho montante que está junto al pilar el aprovechamiento vuelve a ser mayor llegando éste al 48,10%. En el montante inferior la distribución de tensiones es similar al montante superior pero con un aprovechamiento del perfil ligeramente inferior. En este caso el aprovechamiento máximo se produce junto al pilar teniendo 90,50%, después disminuye bastante en las barras consecutivas y llegando a al cumbrera vuelve a aumentar dicho aprovechamiento llegando al 60,10%.

El aprovechamiento de las diagonales de la celosía es bastante diverso aunque este se distribuye de manera uniforme.

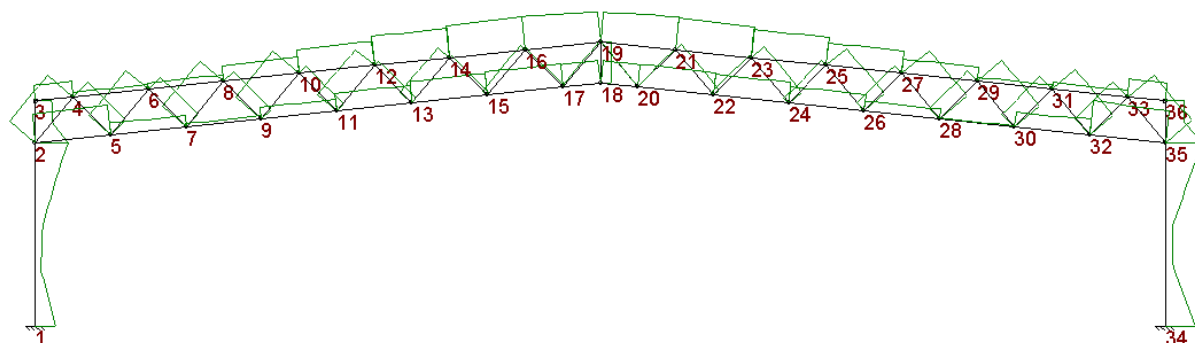


Diagrama de tensiones del pórtico.

La diagonal que está soportando más tensión es la que se encuentra junto al pilar, con un aprovechamiento del 91,60%. A medida que nos vamos acercando a la cumbrera el aprovechamiento de los perfiles va disminuyendo, como es el caso de la barra (19-20) donde el aprovechamiento es del 1%. En las diagonales (29-30), (31-32) y (33-35) he tenido que utilizar un perfil superior a las demás, como se ha descrito más arriba ya que uno igual no aguantaba la tensión. Para las demás diagonales se ha utilizado el mismo perfil 40x4 ya que no existe en la serie otro más pequeño con 4 mm de espesor y debido a esto el aprovechamiento del mismo disminuye bastante. Conforme vallamos aumentando la luz del pórtico veremos como el aprovechamiento de estos perfiles irán aumentando.



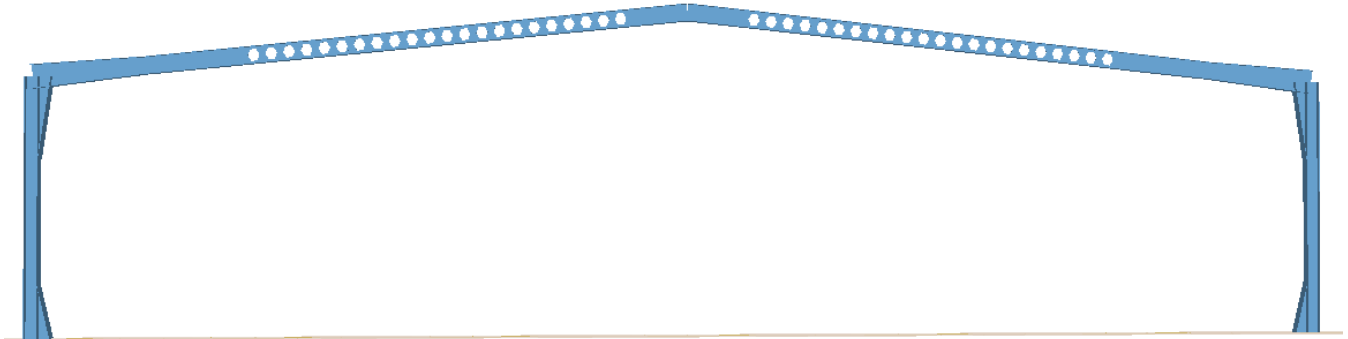
A continuación vamos a describir lo que le ocurre al pilar derecho en cuanto a las tensiones. Si nos fijamos en la imagen anterior el pilar tiene dos zonas bien diferenciadas: inferior y superior. En la zona inferior el diagrama de tensiones tiene forma de triángulo recto, teniendo en la base del pilar un aprovechamiento de 80,70% y disminuyendo éste hasta el 20,60% justo a la mitad del pilar. En la parte superior del pilar la distribución de tensiones es exactamente igual pero a la inversa, partiendo a la mitad del pilar con un aprovechamiento del 20,60% y llegando en la parte superior del mismo al 97,60% de aprovechamiento. Como hemos podido apreciar la distribución de tensiones no es constante a lo largo del perfil, esto es debido a que el perfil utilizado como pilar no está reforzado en los nudos y teniendo así una zona bastante amplia donde el aprovechamiento es muy bajo.



PÓRTICO VIGA VOID

PÓRTICO VIGA VOID 30 METROS DE LUZ

1. Descripción general del pórtico:



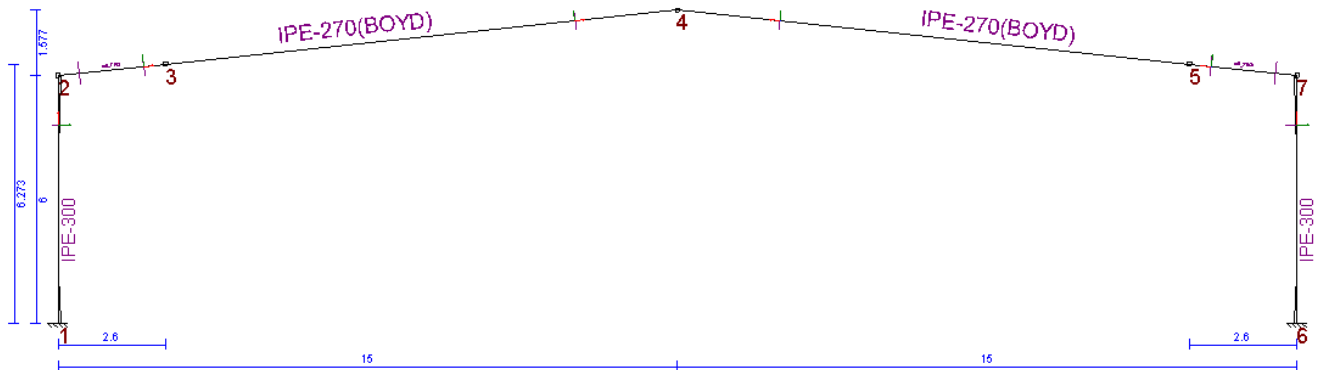
Interpretación real del pórtico

El pórtico que nos ocupa tiene 30 metros de luz y está formado por perfiles IPE, cuya viga es de tipo VOID con perfil IPE de 270 mm. Los pilares son IPE 300, están reforzados en su parte inferior y superior por cartelas. Las cartelas inferiores tienen una longitud de 1,20 metros y las superiores 1,90 metros. El hecho de colocar unas cartelas tan grandes es para conseguir un mayor aprovechamiento del perfil utilizando una sección de perfil menor.

El diseño de la viga empezando de izquierda a derecha es el siguiente: empezamos colocando un perfil de sección variable, seguido de viga VOID con perfil IPE y el otro agua igual, viga VOID y último tramo con sección variable. Los tramos de sección variable los describimos a continuación: la unión con el pilar tiene un canto de 560 mm y junto a la viga de 405 mm que coincide con el alma de la viga utilizada posteriormente para que se pueda unir a ella con la mayor facilidad. Como podemos apreciar el canto de la viga de Sección Variable es bastante grande y según el CTE hay que comprobar que el perfil no falle por abolladura del alma, dado el caso que el perfil falle, se realizará un cálculo de rigidizadores. En este caso es necesario colocar rigidizadores y las comprobaciones y el cálculo de los mismos se encuentran al final de éste pórtico. El alma tiene un espesor de 8 mm. y el ala de 12 mm. Este espesor se ha elegido lo más próximo al perfil IPE que se ha utilizado en la viga, debido a que nos tenemos que regir por espesores comerciales. La longitud de dicho perfil es de 2,61 metros. Los tramos VOID para esta luz se han diseñado de la siguiente manera: el perfil que se ha utilizado como ya hemos dicho es un IPE 270 mm., el cual se convierte al hacerlo VOID en un perfil que tiene 405 mm. de alma. Para este pórtico se le han rellenado cinco huecos en origen y tres más en la cumbrera de cada viga, adecuándonos de esta manera a lo solicitado en el diagrama de tensiones que se comentará más adelante.



A continuación mostramos un esquema del pórtico donde se detallan los nudos, perfiles utilizados y las cotas del mismo.



Esquema de nudos, cotas y tipo de perfil.

2. Descripción de valores aportados por Cype

Ahora se detallan los datos que nos aporta el programa en forma de tablas que describiremos a continuación:

2.1 - Nudos

Nudos	Coordenadas (m)			Vínculos
	X	Y	Z	
1	0.000	0.000	0.000	Empotrado
2	0.000	0.000	6.000	Empotrado
3	0.000	2.600	6.273	Empotrado
4	0.000	15.000	7.577	Empotrado
5	0.000	27.400	6.273	Empotrado
6	0.000	30.000	0.000	Empotrado
7	0.000	30.000	6.000	Empotrado

2.2 - Barras: Características Mecánicas

Descripción	Inerc.Tor. cm4	Inerc.y cm4	Inerc.z cm4	Sección cm2
Acero, Sección Variable, Perfil simple + Separación 536/376 mm	23.334	24066.086	494.021	68.880
Acero, IPE-300, Simple con cartelas (IPE)	20.100	8360.000	604.000	53.800
Acero, IPE-270, Boyd (alma aligerada) (IPE) H: 405.0 mm, S: 405.0 mm, macizados (5, 3)	15.400	13065.413	418.538	45.900



2.3.- Barras: Materiales Utilizados

Material	Mód.elást. (GPa)	Mód.el.trans. (GPa)	Lím.elás.\Fck (MPa)	Co.dilat. (m/m°C)	Peso espec. (KN/m3)
Acero (S275)	206.01	79.23	275.00	1.2e-005	77.01

2.4.- Barras: Descripción

Barras	Material	Perfil	Peso (Kp)	Volumen (m3)	Longitud (m)
1/2	Acero (S275)	IPE-300 (IPE) + carts. sup. 1.200 m y 1.900 m	316.50	0.040	6.00
2/3	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 536/376 mm	141.40	0.018	2.61
3/4	Acero (S275)	IPE-270(BOYD) (IPE) H: 405.0 mm, S: 405.0 mm, macizados (5, 3)	467.38	0.060	12.47
5/4	Acero (S275)	IPE-270(BOYD) (IPE) H: 405.0 mm, S: 405.0 mm, macizados (5, 3)	467.38	0.060	12.47
7/5	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 536/376 mm	141.40	0.018	2.61
6/7	Acero (S275)	IPE-300 (IPE) + carts. inf. 1.200 m y 1.900 m	316.50	0.040	6.00

2.5.- Barras: Resumen Medición (Acero)

Descripción			Peso (Kp)			Longitud (m)			
			Perfil	Serie	Acero	Perfil	Serie	Acero	
Acero (S275)	Sección	Sección Variable, Perfil	282.80			5.22			
				282.80			5.22		
	IPE	IPE-300, Simple con c...	633.00			12.00			
				633.00			12.00		
	IPE	IPE-270, Boyd (alma a...	934.76			24.94			
				934.76			24.94		
				1850.56			42.16		
				1850.56			42.16		

Como podemos apreciar en la tabla, el utilizar la viga VOID hace que se aligere bastante la estructura como veremos más adelante, teniendo un peso total de la misma de 1850,56 Kg.

2.6.- Cargas (Barras)

Barras	Hipót.	Tipo	Cargas				Dirección		
			P1	P2	L1 (m)	L2 (m)	X	Y	Z
2/3	1 (PP 1)	Trapez.	0.580 KN/m	0.481 KN/m	0.000	2.614	0.000	0.000	-1.000
2/3	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
7/5	1 (PP 1)	Trapez.	0.580 KN/m	0.481 KN/m	0.000	2.614	0.000	0.000	-1.000
7/5	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Trapez.	0.690 KN/m	0.614 KN/m	0.000	0.600	0.000	0.000	-1.000



Pórtico Viga Void 30 Metros De Luz

1/2	1 (PP 1)	Trapez.	0.614 KN/m	0.538 KN/m	0.600	1.200	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Faja	0.414 KN/m	-	1.200	4.100	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Trapez.	0.538 KN/m	0.614 KN/m	4.100	5.050	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Trapez.	0.614 KN/m	0.690 KN/m	5.050	6.000	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Uniforme	2.340 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
6/7	1 (PP 1)	Trapez.	0.690 KN/m	0.614 KN/m	0.000	0.600	0.000	0.000	-1.000
6/7	1 (PP 1)	Trapez.	0.614 KN/m	0.538 KN/m	0.600	1.200	0.000	0.000	-1.000
6/7	1 (PP 1)	Faja	0.414 KN/m	-	1.200	4.100	0.000	0.000	-1.000
6/7	1 (PP 1)	Trapez.	0.538 KN/m	0.614 KN/m	4.100	5.050	0.000	0.000	-1.000
6/7	1 (PP 1)	Trapez.	0.614 KN/m	0.690 KN/m	5.050	6.000	0.000	0.000	-1.000
6/7	1 (PP 1)	Uniforme	1.020 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
3/4	1 (PP 1)	Faja	0.408 KN/m	-	0.000	2.049	0.000	0.000	-1.000
3/4	1 (PP 1)	Faja	0.353 KN/m	-	2.049	11.229	0.000	0.000	-1.000
3/4	1 (PP 1)	Faja	0.408 KN/m	-	11.229	12.468	0.000	0.000	-1.000
3/4	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
5/4	1 (PP 1)	Faja	0.408 KN/m	-	0.000	2.049	0.000	0.000	-1.000
5/4	1 (PP 1)	Faja	0.353 KN/m	-	2.049	11.229	0.000	0.000	-1.000
5/4	1 (PP 1)	Faja	0.408 KN/m	-	11.229	12.468	0.000	0.000	-1.000
5/4	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000

2.7.- Desplazamientos

Nudos	Descripción	DESPLAZAMIENTOS (EJES GENERALES)					
		DX (m)	DY (m)	DZ (m)	GX (rad)	GY (rad)	GZ (rad)
1	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	-0.0159	0.0001	-0.0054	0.0000	0.0000
		0.0000	-0.0159	0.0001	-0.0054	0.0000	0.0000
3	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	-0.0132	-0.0265	-0.0148	0.0000	0.0000
		0.0000	-0.0132	-0.0265	-0.0148	0.0000	0.0000
4	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0055	-0.2134	0.0005	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0055	-0.2134	0.0005	0.0000	0.0000
5	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0246	-0.0226	0.0135	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0246	-0.0226	0.0135	0.0000	0.0000
6	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
7	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0268	0.0000	0.0035	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0268	0.0000	0.0035	0.0000	0.0000

El desplazamiento vertical que se produce en la cumbrera es de 21,34 cm, como podemos apreciar en la tabla.

2.8.- Reacciones

Nudos	Descripción	REACCIONES (EJES GENERALES)					
		RX (KN)	RY (KN)	RZ (KN)	MX (KN·m)	MY (KN·m)	MZ (KN·m)
1	Envolvente (Cim.equil.)	0.0000	59.1939	62.9611	-231.5396	0.0000	0.0000
		0.0000	88.7908	94.4417	-154.3597	0.0000	0.0000
1	Envolvente (Cim.tens.terr.)	0.0000	59.1939	62.9611	-154.3597	0.0000	0.0000



Pórtico Viga Void 30 Metros De Luz

		0.0000	59.1939	62.9611	-154.3597	0.0000	0.0000
6	Envolvente (Cim.equil.)	0.0000	-119.0308	63.7878	202.4400	0.0000	0.0000
		0.0000	-79.3539	95.6817	303.6600	0.0000	0.0000
6	Envolvente (Cim.tens.terr.)	0.0000	-79.3539	63.7878	202.4400	0.0000	0.0000
		0.0000	-79.3539	63.7878	202.4400	0.0000	0.0000

2.9.-Tensiones

Barras	TENSION MÁXIMA								
	TENS. ()	APROV. (%)	Pos. (m)	N (KN)	Vy (KN)	Vz (KN)	Mt (KN·m)	My (KN·m)	Mz (KN·m)
2/3	0.8963	89.63	0.000	-106.7634	0.0000	-70.0397	0.0000	-327.6583	0.0000
7/5	0.9420	94.20	0.000	-106.8800	0.0000	-71.1496	0.0000	-344.3979	0.0000
1/2	0.9090	90.90	4.100	-82.3807	0.0000	-92.8637	0.0000	142.7161	0.0000
6/7	0.9632	96.32	4.100	-83.4967	0.0000	101.4821	0.0000	-151.2284	0.0000
3/4	0.8938	89.38	9.393	-99.9912	0.0000	-5.5181	0.0000	122.5685	0.0000
5/4	0.9286	92.86	2.049	-104.2072	0.0000	-45.6092	0.0000	-72.6593	0.0000

La descripción de las tensiones para este pórtico se reduce a la descripción del pilar y viga derecha del mismo, ya que en estas zonas es donde se producen las mayores tensiones. Vamos a empezar comentando el pilar: como ya sabemos, dicho pilar está formado por IPE 300mm reforzado con cartela inferior de 1,20 metros de longitud y cartela superior de 1,90 metros de longitud. Las tensiones en el pilar están distribuidas de manera que quedan tres zonas bien diferenciadas. En la primera zona junto al suelo las tensiones son bastante altas y por eso el hecho de colocar cartelas para que el perfil sea capaz de aguantar dicha tensión quedando éste aprovechado en un 94,80%. La zona intermedia tiene una longitud aproximada de 1,90 metros, en la cual el aprovechamiento medio del perfil es del 59,40%. Por último, en el pilar tenemos una zona junto a la viga en la que el aprovechamiento vuelve a ser bastante alto, alcanzando éste el 96,30%. Como podemos apreciar en el diagrama de tensiones, en esta zona la distribución de tensiones es bastante uniforme cubriendo una zona muy amplia, debido a esto se ha elegido la cartela correspondiente, la cual se ha descrito anteriormente.



Pórtico Viga Void 30 Metros De Luz

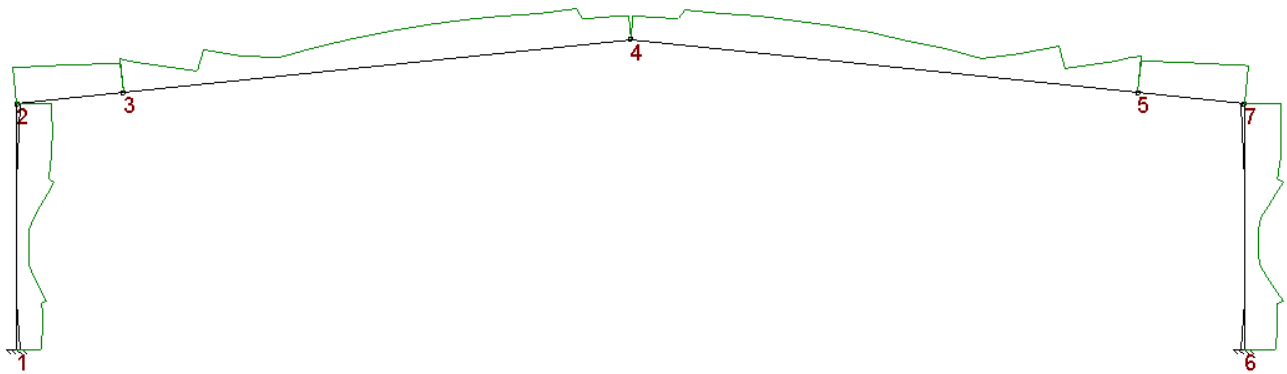


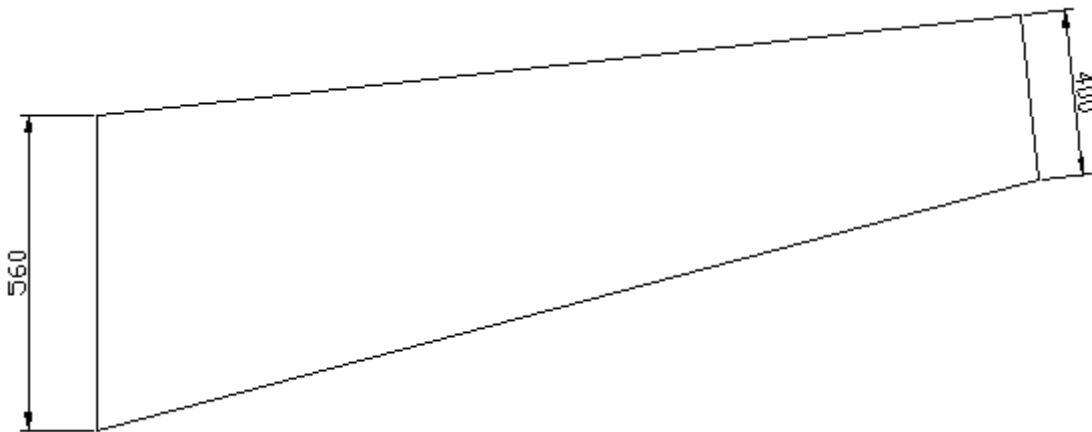
Diagrama de tensiones del pórtico.

En cuanto a la viga, podemos apreciar como el reparto de tensiones es bastante uniforme a lo largo de la misma. En este tipo de pórticos me he visto obligado a colocar un pequeño tramo de perfil de sección variable (5/7), debido a que el IPE tipo Void utilizado como viga no era capaz de aguantar la tensión en esta zona ni aún rellenado los huecos hexagonales de dicho perfil, tenía que aumentar el perfil y ya no sería una solución viable económicamente. Dicho tramo (5/7) está aprovechado de manera uniforme en un 94,20%, lo cual es una cifra bastante buena. La continuación de esta viga se ha realizado como ya sabemos con IPE 270 Void al cual se le ha rellenado tres huecos en la cumbrera y cinco junto al tramo de sección variable para que la sección utilizada no fallara por cuestiones de tensión, debido a esto se produce el salto que podemos ver en el diagrama de tensiones. El aprovechamiento máximo de dicho tramo (4/5) es del 92,90%. La viga también tiene una zona intermedia en la que el aprovechamiento del perfil disminuye, pero si comparamos con las luces estudiadas anteriormente, vemos como este aprovechamiento ha aumentado considerablemente. En la última zona junto a la cumbrera, el aprovechamiento del perfil disminuye un poco respecto a la primera zona antes comentada, estando ésta en 88,30%.

3. Cálculo de rigidizadores

Según el CTE no es necesario colocar rigidizadores en perfiles laminados ya que éstos vienen diseñados de manera que no se produce abolladura del alma. En este caso, dado que hemos utilizado un pequeño tramo de Sección Variable, hay que hacer las comprobaciones que nos dice el CTE y ver si es necesario colocar rigidizadores del alma para corregir la abolladura del alma.

La pieza es comprobar es la que vemos a continuación:



1ª Comprobación sin rigidizadores:

$$\frac{d}{t} < 70 \times \varepsilon \quad \text{siendo } d \text{ y } t \text{ dimensiones del alma (altura y espesor)}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}} \quad \text{con } f_{ref} = 235 \text{ N/mm}^2 \quad \text{y con } f_y = 275 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{560}{8} < 70 \times 0,9244$$

$$70 < 64,708 \quad \text{No cumple.}$$

Vamos a diseñarlo de manera que se cumpla que $a \geq d$

donde a = separación entre rigidizadores

$$\frac{L}{d} = \frac{2,61}{0,560} = 4,66 \quad R = 5$$

$$a = \frac{L}{R - 1} = \frac{2,61}{4} = 0,6525$$

$$a \geq d \quad ; \quad 0,6525 \geq 0,56$$



2ª Comprobación con Rigidizadores:

$$\frac{d}{t} < 30 \times \varepsilon \times \sqrt{K_t}$$

Según CTE para $a \geq d$:

$$K_t = 5,34 + \frac{4}{\left(\frac{a}{d}\right)^2} \quad ; \quad K_t = 5,34 + \frac{4}{\left(\frac{0,6525}{0,56}\right)^2} = 8,286$$

Los cálculos de la segunda comprobación son:

$$\frac{560}{8} < 30 \times 0,9244 \times \sqrt{8,286}$$

$$70 < 79,82 \quad \text{OK}$$

Hay que colocar 5 rigidizadores separados 652,5 mm.

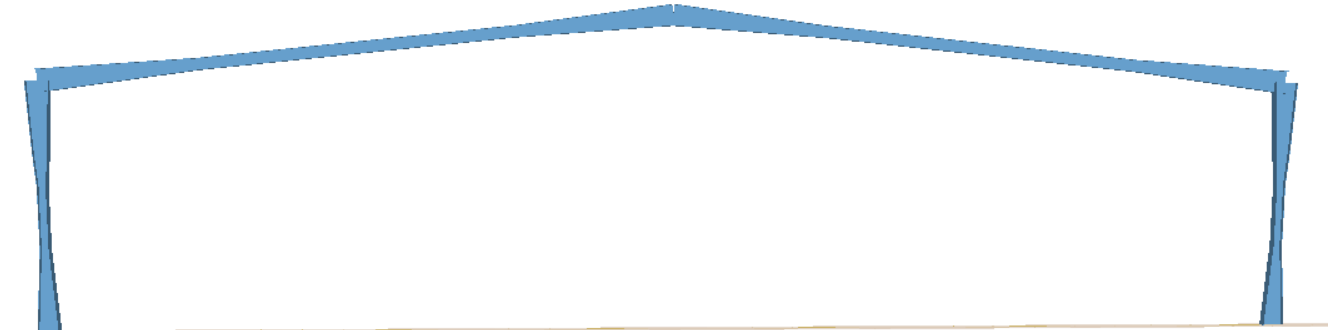


PÓRTICO DE SECCIÓN VARIABLE



PÓRTICO SECCIÓN VARIABLE DE 30 METROS DE LUZ

1. Descripción general del pórtico:



Interpretación real del pórtico

El pórtico que vamos a describir a continuación tiene 30 metros de luz y está formado en su totalidad por perfiles de sección variable. Con este tipo de diseño lo que intentamos conseguir es minimizar la cantidad de acero a utilizar en el pórtico para así poder reducir los costes del mismo, disminuyendo o aumentando el canto y espesor del perfil según nos vaya haciendo falta realmente.

Para el diseño del pórtico hemos creado 15 nudos, de los cuales dos son empotramientos y los demás nudos rígidos, por tanto tenemos catorce barras. El espesor utilizado en los perfiles es el siguiente: el alma tiene un espesor de 8mm. y las alas de 11mm.

El pilar lo he dividido en cuatro partes teniendo así cuatro barras diferentes. La primera barra (1-2), tiene una longitud de 2,00 metros con un canto inicial de 504mm y final de 210mm. La segunda barra (2-3) es de sección constante debido a que en esta zona las tensiones sobre el perfil son pequeñas y se mantienen a lo largo de esta barra, el canto de dicha barra es de 210mm y la longitud de la misma es de 1,50 metros. La tercera barra (3-4), vuelve a ser de sección variable con una longitud de 0,80 metros, teniendo un canto inicial de 210mm y final de 350mm. Por último, la barra (4-5) tiene una longitud de 1,70 metros, con un canto inicial de 350 mm y final de 550mm. En este caso como podemos comprobar, hemos introducido una barra más que en luces anteriores de este mismo diseño, esto se ha realizado para aumentar el aprovechamiento de los perfiles.

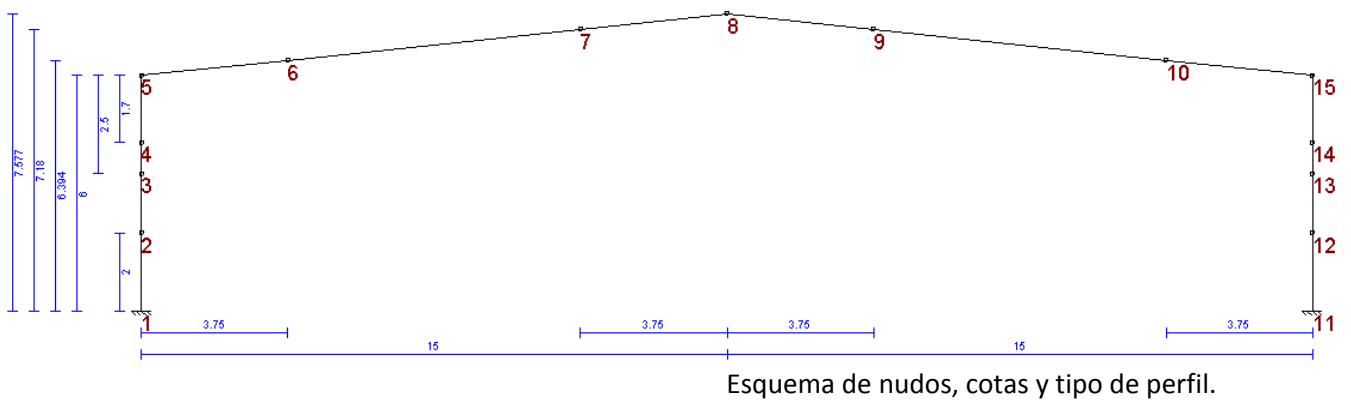
En la viga tenemos tres barras diferentes, continuando con la última del pilar, seguimos con la primera de la viga (5-6), la cual tiene una longitud de 3,77 metros con un canto inicial igual al del pilar de 550mm y final de 280mm. La segunda barra (6-7) al igual que ocurre en el pilar, es de sección constante pero en este caso tiene 280mm de canto y una longitud de 7,54 metros. Por



último la tercera barra (7-8) tiene una longitud de 3,77 metros, el canto inicial es de 280mm y el final 500mm.

Para este caso es necesario el uso de rigidizadores en las barras (10-15), (14-15) y sus simétricas ya que los cantos utilizados son muy grandes. El cálculo de los rigidizadores se detalla al final de este pórtico.

A continuación mostramos un esquema del pórtico donde se detallan los nudos y las cotas del mismo.



2. Descripción de valores aportados por Cype

Ahora se detallan los datos que nos aporta el programa en forma de tablas en las cuales podemos apreciar nudos, cargas, tensiones, pesos, cotas, etc., que describiremos a continuación:

2.1 - Nudos

Nudos	Coordenadas (m)			Vínculos
	X	Y	Z	
1	0.000	0.000	0.000	Empotrado
2	0.000	0.000	2.000	Empotrado
3	0.000	0.000	3.500	Empotrado
4	0.000	0.000	4.300	Empotrado
5	0.000	0.000	6.000	Empotrado
6	0.000	3.750	6.394	Empotrado
7	0.000	11.250	7.180	Empotrado
8	0.000	15.000	7.577	Empotrado
9	0.000	18.750	7.180	Empotrado
10	0.000	26.250	6.394	Empotrado
11	0.000	30.000	0.000	Empotrado
12	0.000	30.000	2.000	Empotrado
13	0.000	30.000	3.500	Empotrado
14	0.000	30.000	4.300	Empotrado
15	0.000	30.000	6.000	Empotrado



2.2 - Barras: Características Mecánicas

Descripción	Inerc.Tor. cm4	Inerc.y cm4	Inerc.z cm4	Sección cm2
Acero, Sección Variable, Perfil simple + Separación 188/188 mm	16.519	3713.388	619.552	48.040
Acero, Sección Variable, Perfil simple + Separación 188/328 mm	17.713	7118.011	619.851	53.640
Acero, Sección Variable, Perfil simple + Separación 258/258 mm	17.713	7118.011	619.851	53.640
Acero, Sección Variable, Perfil simple + Separación 482/188 mm	19.027	12386.256	620.179	59.800
Acero, Sección Variable, Perfil simple + Separación 258/478 mm	19.591	15176.112	620.320	62.440
Acero, Sección Variable, Perfil simple + Separación 528/258 mm	20.017	17515.211	620.427	64.440
Acero, Sección Variable, Perfil simple + Separación 328/528 mm	20.615	21129.660	620.576	67.240

2.3.- Barras: Materiales Utilizados

Material	Mód.elást. (GPa)	Mód.el.trans. (GPa)	Lím.elás.\Fck (MPa)	Co.dilat. (m/m°C)	Peso espec. (KN/m3)
Acero (S275)	206.01	79.23	275.00	1.2e-005	77.01

2.4.- Barras: Descripción

Barras	Material	Perfil	Peso (Kp)	Volumen (m3)	Longitud (m)
1/2	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 482/188 mm	93.91	0.012	2.00
2/3	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 188/188 mm	56.57	0.007	1.50
3/4	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 188/328 mm	33.68	0.004	0.80
4/5	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 328/528 mm	89.71	0.011	1.70
5/6	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 528/258 mm	190.80	0.024	3.77
6/7	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 258/258 mm	317.54	0.040	7.54
7/8	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 258/478 mm	184.79	0.024	3.77
9/8	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 258/478 mm	184.79	0.024	3.77
10/9	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 258/258 mm	317.54	0.040	7.54
15/10	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 528/258 mm	190.80	0.024	3.77
11/12	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 482/188 mm	93.91	0.012	2.00
12/13	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 188/188 mm	56.57	0.007	1.50
13/14	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 188/328 mm	33.68	0.004	0.80
14/15	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 328/528 mm	89.71	0.011	1.70

2.5.- Barras: Resumen Medición (Acero)

Descripción			Peso (Kp)			Longitud (m)		
			Perfil	Serie	Acero	Perfil	Serie	Acero
Acero (S275)	Sección Variable	Sección Variable, Perfil	1934.00	1934.00	1934.00	42.16	42.16	42.16
					1934.00			42.16
					1934.00			42.16

El peso total del pórtico como podemos apreciar en la tabla es de 1934 Kg., éste es ligeramente superior al pórtico Void y bastante inferior al de IPE, como veremos más adelante.



2.6.- Cargas (Barras)

Barras	Hipót.	Tipo	Cargas				Dirección		
			P1	P2	L1 (m)	L2 (m)	X	Y	Z
7/8	1 (PP 1)	Trapez.	0.413 KN/m	0.549 KN/m	0.000	3.771	0.000	0.000	-1.000
7/8	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
9/8	1 (PP 1)	Trapez.	0.413 KN/m	0.549 KN/m	0.000	3.771	0.000	0.000	-1.000
9/8	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
6/7	1 (PP 1)	Uniforme	0.413 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
6/7	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
10/9	1 (PP 1)	Uniforme	0.413 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
10/9	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
5/6	1 (PP 1)	Trapez.	0.579 KN/m	0.413 KN/m	0.000	3.771	0.000	0.000	-1.000
5/6	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
15/10	1 (PP 1)	Trapez.	0.579 KN/m	0.413 KN/m	0.000	3.771	0.000	0.000	-1.000
15/10	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
4/5	1 (PP 1)	Trapez.	0.456 KN/m	0.579 KN/m	0.000	1.700	0.000	0.000	-1.000
4/5	1 (PP 1)	Uniforme	2.340 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
11/12	1 (PP 1)	Trapez.	0.551 KN/m	0.370 KN/m	0.000	2.000	0.000	0.000	-1.000
11/12	1 (PP 1)	Uniforme	1.020 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
3/4	1 (PP 1)	Trapez.	0.370 KN/m	0.456 KN/m	0.000	0.800	0.000	0.000	-1.000
3/4	1 (PP 1)	Uniforme	2.340 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
12/13	1 (PP 1)	Uniforme	0.370 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
12/13	1 (PP 1)	Uniforme	1.020 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
2/3	1 (PP 1)	Uniforme	0.370 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
2/3	1 (PP 1)	Uniforme	2.340 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
13/14	1 (PP 1)	Trapez.	0.370 KN/m	0.456 KN/m	0.000	0.800	0.000	0.000	-1.000
13/14	1 (PP 1)	Uniforme	1.020 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
1/2	1 (PP 1)	Trapez.	0.551 KN/m	0.370 KN/m	0.000	2.000	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Uniforme	2.340 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
14/15	1 (PP 1)	Trapez.	0.456 KN/m	0.579 KN/m	0.000	1.700	0.000	0.000	-1.000
14/15	1 (PP 1)	Uniforme	1.020 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000

2.7.- Desplazamientos

Nudos	Descripción	DESPLAZAMIENTOS (EJES GENERALES)					
		DX (m)	DY (m)	DZ (m)	GX (rad)	GY (rad)	GZ (rad)
1	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	-0.0080	-0.0001	0.0080	0.0000	0.0000
		0.0000	-0.0080	-0.0001	0.0080	0.0000	0.0000
3	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	-0.0214	-0.0002	0.0053	0.0000	0.0000
		0.0000	-0.0214	-0.0002	0.0053	0.0000	0.0000
4	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	-0.0238	-0.0002	0.0001	0.0000	0.0000
		0.0000	-0.0238	-0.0002	0.0001	0.0000	0.0000
5	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	-0.0182	-0.0003	-0.0071	0.0000	0.0000
		0.0000	-0.0182	-0.0003	-0.0071	0.0000	0.0000
6	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	-0.0125	-0.0566	-0.0235	0.0000	0.0000
		0.0000	-0.0125	-0.0566	-0.0235	0.0000	0.0000



Pórtico Sección Variable 30 Metros De Luz

7	Envolvente (Desplazam.)	0.0000 0.0000	0.0063 0.0063	-0.2415 -0.2415	-0.0113 -0.0113	0.0000 0.0000	0.0000 0.0000
8	Envolvente (Desplazam.)	0.0000 0.0000	0.0077 0.0077	-0.2561 -0.2561	0.0009 0.0009	0.0000 0.0000	0.0000 0.0000
9	Envolvente (Desplazam.)	0.0000 0.0000	0.0097 0.0097	-0.2348 -0.2348	0.0129 0.0129	0.0000 0.0000	0.0000 0.0000
10	Envolvente (Desplazam.)	0.0000 0.0000	0.0288 0.0288	-0.0478 -0.0478	0.0219 0.0219	0.0000 0.0000	0.0000 0.0000
11	Envolvente (Desplazam.)	0.0000 0.0000	0.0000 0.0000	0.0000 0.0000	0.0000 0.0000	0.0000 0.0000	0.0000 0.0000
12	Envolvente (Desplazam.)	0.0000 0.0000	0.0104 0.0104	-0.0001 -0.0001	-0.0104 -0.0104	0.0000 0.0000	0.0000 0.0000
13	Envolvente (Desplazam.)	0.0000 0.0000	0.0288 0.0288	-0.0002 -0.0002	-0.0088 -0.0088	0.0000 0.0000	0.0000 0.0000
14	Envolvente (Desplazam.)	0.0000 0.0000	0.0340 0.0340	-0.0002 -0.0002	-0.0034 -0.0034	0.0000 0.0000	0.0000 0.0000
15	Envolvente (Desplazam.)	0.0000 0.0000	0.0335 0.0335	-0.0003 -0.0003	0.0042 0.0042	0.0000 0.0000	0.0000 0.0000

El desplazamiento vertical que se produce debido a la flexión en el nudo 8 (cumbreira) es de 25,61 cm. Éste valor es muy importante tenerlo en cuenta a la hora del diseño del pórtico, porque este desplazamiento no puede ser excesivo.

2.8.- Reacciones

Nudos	Descripción	REACCIONES (EJES GENERALES)					
		RX (KN)	RY (KN)	RZ (KN)	MX (KN·m)	MY (KN·m)	MZ (KN·m)
1	Envolvente (Cim.equil.)	0.0000 0.0000	61.6018 92.4026	63.3689 95.0534	-247.2154 -164.8103	0.0000 0.0000	0.0000 0.0000
1	Envolvente (Cim.tens.terr.)	0.0000 0.0000	61.6018 61.6018	63.3689 63.3689	-164.8103 -164.8103	0.0000 0.0000	0.0000 0.0000
11	Envolvente (Cim.equil.)	0.0000 0.0000	-122.6426 -81.7617	64.1985 96.2977	212.8474 319.2711	0.0000 0.0000	0.0000 0.0000
11	Envolvente (Cim.tens.terr.)	0.0000 0.0000	-81.7617 -81.7617	64.1985 64.1985	212.8474 212.8474	0.0000 0.0000	0.0000 0.0000



2.9.-Tensiones

Barras	TENSION MÁXIMA								
	TENS. ()	APROV. (%)	Pos. (m)	N (KN)	Vy (KN)	Vz (KN)	Mt (KN·m)	My (KN·m)	Mz (KN·m)
7/8	0.8237	82.37	0.000	-103.6771	0.0000	-9.3518	0.0000	118.8201	0.0000
9/8	0.7946	79.46	0.000	-103.7950	0.0000	-10.4654	0.0000	114.6206	0.0000
6/7	0.8237	82.37	7.541	-103.6671	0.0000	-9.4612	0.0000	118.8201	0.0000
10/9	0.8204	82.04	0.000	-108.0421	0.0000	-51.2073	0.0000	-118.3316	0.0000
5/6	0.9215	92.15	0.000	-110.1174	0.0000	-70.8023	0.0000	-333.3423	0.0000
15/10	0.9680	96.80	0.000	-110.2344	0.0000	-71.9160	0.0000	-350.1402	0.0000
4/5	0.9215	92.15	1.700	-81.9210	0.0000	-102.1164	0.0000	333.3423	0.0000
11/12	0.9058	90.58	0.500	-86.3112	0.0000	109.6899	0.0000	232.3269	0.0000
3/4	0.8818	88.18	0.080	-83.5151	0.0000	-94.4716	0.0000	95.4709	0.0000
12/13	0.9076	90.76	1.500	-84.6754	0.0000	105.5589	0.0000	-90.5462	0.0000
2/3	0.8814	88.14	1.500	-83.5555	0.0000	-94.2189	0.0000	87.9233	0.0000
13/14	0.9207	92.07	0.280	-84.5298	0.0000	105.1733	0.0000	-120.0487	0.0000
1/2	0.7038	70.38	0.500	-85.1914	0.0000	-84.7419	0.0000	-180.5178	0.0000
14/15	0.9706	97.06	1.360	-83.3012	0.0000	102.5845	0.0000	-315.3410	0.0000

La descripción de las tensiones para este pórtico se reduce a la descripción del pilar y viga derecha del mismo, ya que en estos es donde se produce las mayores tensiones. Vamos a empezar comentando el pilar: si echamos un vistazo al diagrama de tensiones podemos ver como el reparto de tensiones en el pilar es uniforme a lo largo del mismo exceptuando la zona intermedia, pero siendo esta última un tramo muy corto de tan solo 1,20 metro del longitud. En este pórtico hemos introducido una barra más en cada pilar (13-14), para conseguir así un mayor aprovechamiento del pilar. El valor de aprovechamiento de los perfiles es el siguiente: el que se encuentra junto al suelo (11-12) tiene un aprovechamiento del 90,60%, totalmente uniforme y constante en dicha barra. En la barra intermedia (12-13) el aprovechamiento medio es del 52% pero como hemos dicho anteriormente es una barra muy corta. La barra (13-14) tiene un aprovechamiento del 92,10% uniforme en toda la barra. Por último, la barra que se encuentra junto a la viga (14-15) vuelve a tener un aprovechamiento del 97,10%, siendo este valor uniforme y constante en toda la barra.

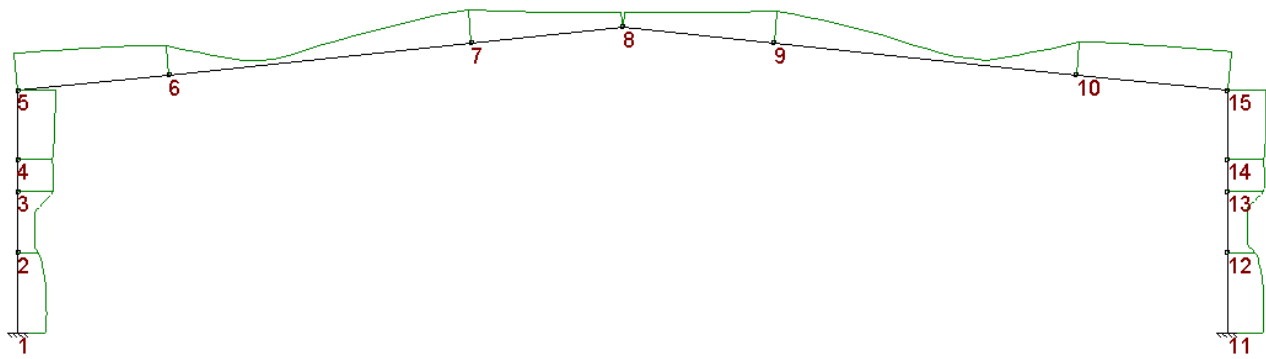


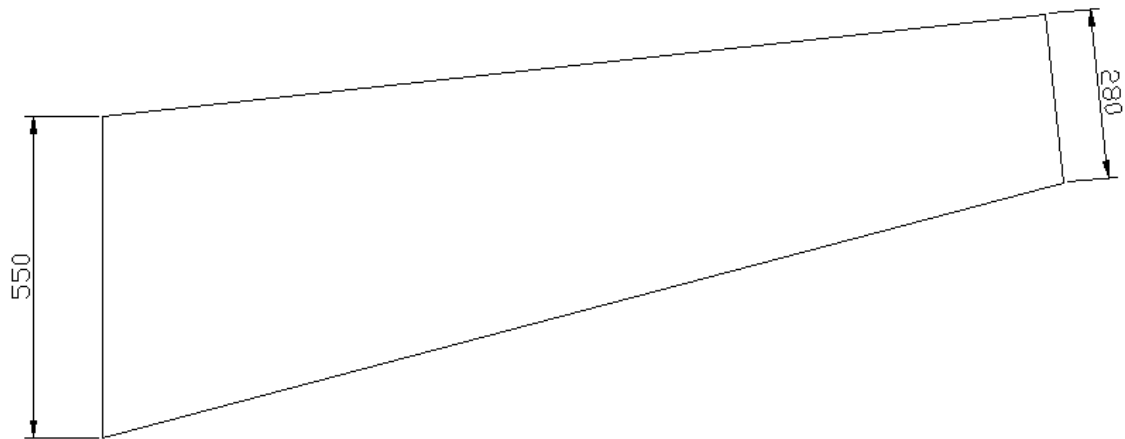
Diagrama de tensiones del pórtico.

La viga como ya sabemos consta de tres tramos. El tramo (10-15) está aprovechado al 96,80% aunque disminuye dicho aprovechamiento conforme nos acercamos a la barra (9-10). En la barra intermedia (9-10) existe una variación en el aprovechamiento del perfil, oscilando entre un 82,00% de máximo y el 12,40% de mínimo. Por último en la barra (8-9), como podemos apreciar en el diagrama de tensiones, el nudo 9 tiene un aprovechamiento del perfil de 79,50% y que dicho aprovechamiento va disminuyendo conforme nos acercamos a la cumbrera, siendo éste de 36,50%. Ésta disminución de aprovechamiento a lo largo del perfil se produce porque conforme nos acercamos a la cumbrera, el canto del perfil utilizado va siendo mayor. Es verdad que podríamos haber disminuido dicho canto para poder aprovecharlo mejor, pero si lo hubiéramos hecho el desplazamiento vertical que se produce en el nudo 8 sería demasiado grande y no lo podríamos permitir.

3. Cálculo de rigidizadores

Según el CTE no es necesario colocar rigidizadores en perfiles laminados ya que éstos vienen diseñados de manera que no se produce abolladura del alma. En este caso, dado que todos los perfiles son de sección variable habría que comprobarlos todos, pero después de haber realizado una primera valoración, en este caso solo hay que colocar rigidizadores en las barras (10-15) perteneciente a la viga y (14-15) del pilar.

La pieza ha comprobar de la viga, (10-15), es la que vemos a continuación:



1ª Comprobación sin rigidizadores:

$$\frac{d}{t} < 70 \times \varepsilon \quad \text{siendo } d \text{ y } t \text{ dimensiones del alma (altura y espesor)}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}} \quad \text{con } f_{ref} = 235 \text{ N/mm}^2 \quad \text{y con } f_y = 275 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{475}{7} < 70 \times 0,9244$$

67,85 < 64,708 No cumple.

Vamos a diseñarlo de manera que se cumpla que $a \geq d$

donde a = separación entre rigidizadores

$$\frac{L}{d} = \frac{3,82}{0,475} = 8,042 \quad R = 8$$

$$a = \frac{L}{R - 1} = \frac{3,82}{7} = 0,5457$$

$$a \geq d \quad ; \quad 0,5457 \geq 0,475$$

2ª Comprobación con Rigidizadores:

$$\frac{d}{t} < 30 \times \varepsilon \times \sqrt{K_t}$$

Según CTE para $a \geq d$:

$$K_t = 5,34 + \frac{4}{\left(\frac{a}{d}\right)^2} \quad ; \quad K_t = 5,34 + \frac{4}{\left(\frac{0,5457}{0,475}\right)^2} = 8,37$$



Los cálculos de la segunda comprobación son:

$$\frac{475}{7} < 30 \times 0,9244 \times \sqrt{8,37}$$

$$67,85 < 80,23 \quad \text{OK}$$

Hay que colocar 8 rigidizadores separados 545,7 mm.

La pieza (12-13), perteneciente al pilar es la siguiente:

1ª Comprobación sin rigidizadores:

$$\frac{d}{t} < 70 \times \varepsilon$$

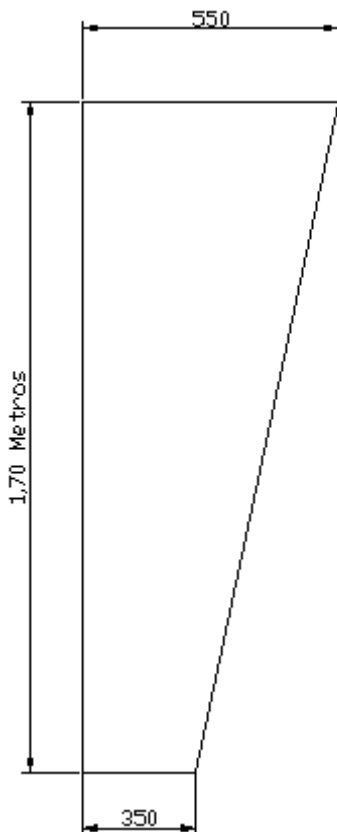
Siendo d y t dimensiones del alma (altura y espesor)

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}} \quad \text{con } f_{ref} = 235 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{y con } f_y = 275 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{475}{7} < 70 \times 0,9244$$

$$67,85 < 64,708 \quad \text{No cumple.}$$



Vamos a diseñarlo de manera que se cumpla que
 $a \geq d$

donde a = separación entre rigidizadores

$$\frac{L}{d} = \frac{2,5}{0,475} = 5,26 \quad R = 5$$

$$a = \frac{L}{R - 1} = \frac{2,5}{4} = 0,625$$

$$a \geq d \quad ; \quad 0,625 \geq 0,475$$

2ª Comprobación con Rigidizadores:



$$\frac{d}{t} < 30 \times \varepsilon \times \sqrt{K_t}$$

Según CTE para $a \geq d$:

$$K_t = 5,34 + \frac{4}{\left(\frac{a}{d}\right)^2} \quad ; \quad K_t = 5,34 + \frac{4}{\left(\frac{0,625}{0,475}\right)^2} = 7,65$$

Los cálculos de la segunda comprobación son:

$$\frac{475}{7} < 30 \times 0,9244 \times \sqrt{7,65}$$

$$67,85 < 76,70 \quad \text{OK}$$

Hay que colocar 5 rigidizadores separados 625 mm.



RESUMEN PARA 30 METROS DE LUZ



RESUMEN DEL ESTUDIO REALIZADO PARA 30 METROS

A continuación vamos a hacer una comparación entre los cuatro tipos de diseños descritos anteriormente para 30 metros de luz, eligiendo en base al estudio realizado la solución más aconsejable.

En la tabla que vemos justo debajo aparece a modo de resumen los datos más significativos de cada uno de los pórticos. Estos datos a los que hacemos referencia son: las tensiones o grado de aprovechamiento del perfil, el desplazamiento que se produce en el punto más alto de los pórticos (cumbreira) y por último, siendo éste el más importante, el peso total de la estructura. Decimos que es el más importante porque la finalidad de este estudio es conseguir la solución estructural más económica de entre las posibles y esto está relacionado directamente con el peso de la estructura.

(+Peso → +Coste)

Tabla 1. Resumen de los datos más significativos de los diseños estudiados

TIPO DE PÓRTICO	(APROVECHAMIENTO) TENSIONES %		DESPL. VERTICAL CUMBRERA (CM)	PESO PROPIO (KP)
	DINTEL DERECHO	PILAR DERECHO		
IPE 300	98,80%	94,64%	23,50 cm	2116,82
VIGA VOID 270	94,20%	96,32%	21,34 cm	1850,56
SECCIÓN VARIABLE*	96,80%	97,06%	25,61 cm	1934,00
VIGA CELOSÍA*	-	97,57%	9,43 cm	1411,95

SECCIÓN VARIABLE* Es el único pórtico en el que el pilar no es un IPE, siendo éste de sección variable.

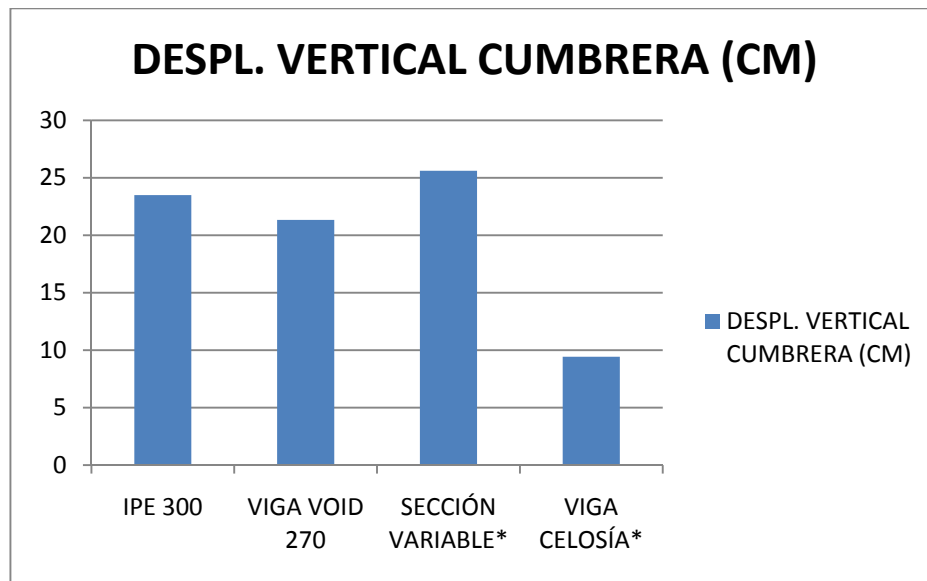
VIGA CELOSÍA* Debido a que la celosía tiene tantas barras, el aprovechamiento de las mismas es muy diverso, no teniendo muy claro el aprovechamiento medio de la misma.

En la tabla podemos ver cómo se van produciendo diferencias sobre todo en desplazamiento en cumbreira y el peso total de la estructura.

En cuanto a las tensiones o grado de aprovechamiento del perfil, se ha intentado que en cada uno de los pórticos estos valores sean máximos, por tanto la diferencia entre los mismos es muy pequeña. Atendiendo a la tabla, el tipo de pórtico que tiene un grado de aprovechamiento más alto en general es el diseño Variable.

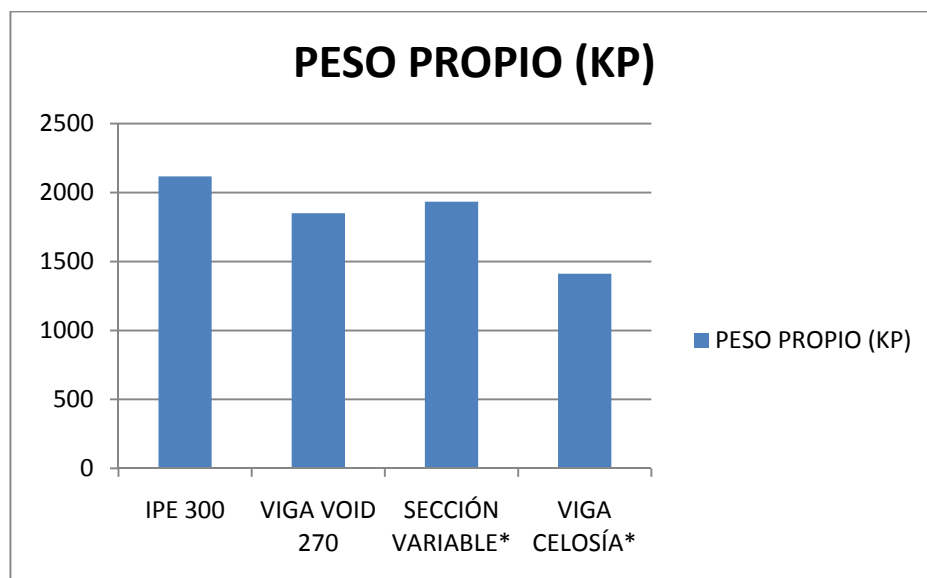


Gráfica 1. Desplazamiento vertical en función del tipo de pórtico



El desplazamiento vertical producido en la cumbre para el pórtico en Celosía es de 9,43 cm, es en el que se produce menos deformación. Los demás pórticos tienen desplazamientos bastante superiores a la Celosía pero son muy parecidos entre ellos, variando solo entre 21cm y 25cm, como podemos apreciar en la tabla.

Gráfica 2. Kilos de acero en función del tipo de pórtico



El pórtico IPE como podemos apreciar en la tabla es el más pesado de todos con 2116,82 Kg., justo después está Sección Variable y Void con 1934



Kg y 1850,56 Kg respectivamente. Como podemos apreciar la diferencia que existe entre Variable y Void es de 83,44 Kg, atendiendo a esto, podemos descartar de inmediato la solución Void ya que, como ya hemos comentado en otra ocasión sus costes de fabricación son muy elevados. A continuación valoraremos las soluciones Variable y IPE, ambas se comportan de manera muy similar, con desplazamientos en cumbrera casi idénticos y valores de tensiones muy parecidos. La diferencia que existe entre ellos es el peso, siendo este de 182,82 Kg y el coste de fabricación de los mismos, siendo muy superior el de sección variable sobre el IPE y más en este caso en el que el de sección Variable lleva incluso rigidizadores. Estos valores nos dan una pista sobre la solución más adecuada, ya que de entre estas dos posibilidades la más económica es el diseño IPE aunque éste sea el más pesado.

Como podemos apreciar en la tabla el pórtico más ligero de todos es el de Celosía con un peso de 1411,95 Kp.

Tras lo comentado anteriormente vemos como la diferencia de peso con respecto al pórtico de Celosía cada vez es mayor. Descartadas ya las opciones de Sección Variable y VOID, nos centramos en los pórticos IPE y Celosía. La diferencia de peso entre ambos es de aproximadamente 705 Kg. También es de valorar a la hora de decidirnos por la solución más acertada, los tiempos de fabricación de ambos pórticos. Como ya hemos comentado anteriormente el pórtico IPE es el que menos tiempo de fabricación en taller tiene, ya que se monta casi in situ en la obra. Por el contrario la Celosía tiene unos costes de fabricación muy superiores al IPE, pero en este caso la diferencia de peso entre pórticos contrarresta este valor.

En este caso, y atendiendo a lo descrito anteriormente me voy a inclinar por el diseño Celosía ya que el grado de aprovechamiento de los perfiles es inferior al del IPE y los desplazamientos que se producen en la cumbrera también son menores, quedándonos así por el lado de la seguridad.



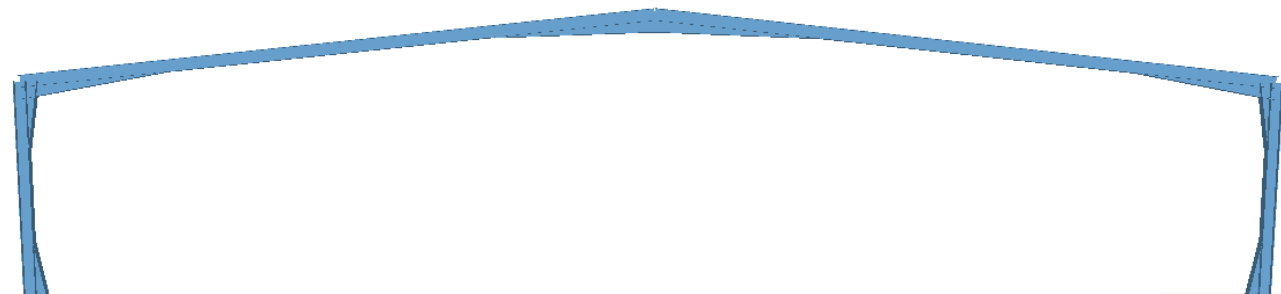
PÓRTICOS PARA 35 METROS DE LUZ



PÓRTICO PERFILES IPE

PÓRTICO IPE 35 METROS DE LUZ

1. Descripción general del pórtico:

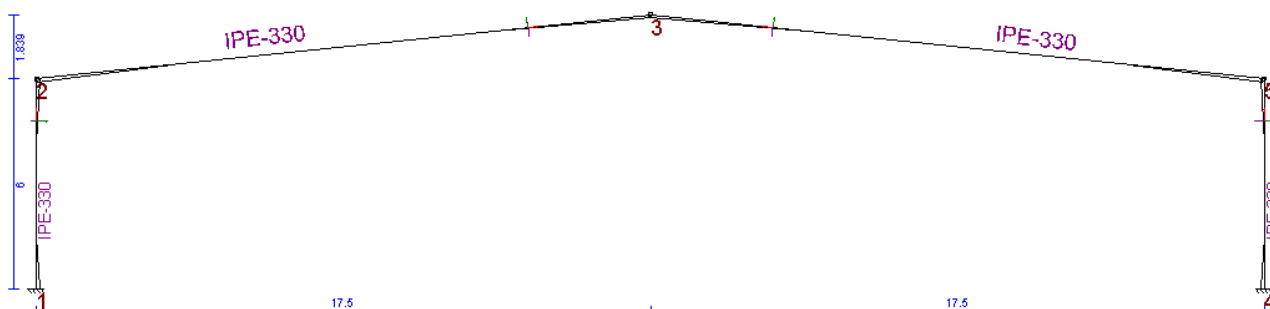


Interpretación real del pórtico

Este pórtico tiene 35 metros de luz y se ha realizado con perfil IPE de 330 milímetros de alma, para poder bajar el perfil lo máximo posible, ha sido necesaria la colocación de refuerzos “cartelas” en todos sus nudos. Estas cartelas se construyen con el mismo perfil utilizado en el pórtico pero cortado a la mitad en ángulo y colocándolas como aparecen en la imagen superior. La longitud de las cartelas superiores e inferiores del pilar son de 1,85 metros y 1,55 metros respectivamente, las cuales son relativamente grandes, pero que ha sido necesario colocar al ser el pilar de dicha sección.

Las vigas que conforman el dintel del pórtico también son IPE de 330 milímetros de alma. Estas vigas también han sido reforzadas en sus nudos con cartelas. La cartela de la cumbrera tiene una longitud de 3,90 metros y la que se encuentra junto al pilar tiene 4,50 metros. El diagrama de tensiones es similar a las luces estudiadas anteriormente, con la salvedad de que las zonas de aprovechamiento son mayores.

En la imagen que podemos apreciar más abajo, aparece a modo de esquema los perfiles utilizados en el pórtico, las cotas y la numeración de los nudos del mismo.



Esquema de nudos, cotas y tipo de perfil.



2. Descripción de valores aportados por Cype

A continuación aparecen unos listados con todos los datos de mediciones, tensiones, peso, reacciones, etc... que nos ha aportado Cype, junto con algunas aclaraciones para su mejor comprensión.

2.1 - Nudos

Nudos	Coordenadas (m)			Vínculos
	X	Y	Z	
1	0.000	0.000	0.000	Empotrado
2	0.000	0.000	6.000	Empotrado
3	0.000	17.500	7.839	Empotrado
4	0.000	35.000	0.000	Empotrado
5	0.000	35.000	6.000	Empotrado

2.2 - Barras: Características Mecánicas

Descripción	Inerc.Tor. cm ⁴	Inerc.y cm ⁴	Inerc.z cm ⁴	Sección cm ²
Acero, IPE-330, Simple con cartelas (IPE)	26.500	11770.000	788.000	62.600

2.3.- Barras: Materiales Utilizados

Material	Mód.elást. (GPa)	Mód.el.trans. (GPa)	Lím.elás.\Fck (MPa)	Co.dilat. (m/m°C)	Peso espec. (KN/m ³)
Acero (S275)	206.01	79.23	275.00	1.2e-005	77.01

2.4.- Barras: Descripción

Barras	Material	Perfil	Peso (Kp)	Volumen (m ³)	Longitud (m)
1/2	Acero (S275)	IPE-330 (IPE) + carts. sup. 1.550 m y 1.850 m	374.67	0.048	6.00
2/3	Acero (S275)	IPE-330 (IPE) + carts. inf. 3.900 m y 4.500 m	1061.92	0.135	17.60
5/3	Acero (S275)	IPE-330 (IPE) + carts. inf. 3.900 m y 4.500 m	1061.92	0.135	17.60
4/5	Acero (S275)	IPE-330 (IPE) + carts. inf. 1.550 m y 1.850 m	374.67	0.048	6.00

En esta tabla podemos apreciar las longitudes de las cartelas junto con la longitud de los perfiles utilizados y el peso de los mismos.



2.5.- Barras: Resumen Medición (Acero)

Descripción			Peso (Kp)			Longitud (m)		
			Perfil	Serie	Acero	Perfil	Serie	Acero
Acero (S275)	IPE	IPE-330, Simple con c...	2873.18	2873.18		47.20	47.20	
					2873.18			47.20
					2873.18			47.20

El peso total de la estructura como podemos apreciar en la tabla es de 2873,18 kg. Este peso es el más alto de entre todos los diseños estudiados como veremos más adelante, pero es de los más utilizados en la realidad.

2.6.- Cargas (Barras)

Barras	Hipót.	Tipo	Cargas				Dirección		
			P1	P2	L1 (m)	L2 (m)	X	Y	Z
2/3	1 (PP 1)	Trapez.	0.801 KN/m	0.712 KN/m	0.000	1.950	0.000	0.000	-1.000
2/3	1 (PP 1)	Trapez.	0.712 KN/m	0.624 KN/m	1.950	3.900	0.000	0.000	-1.000
2/3	1 (PP 1)	Faja	0.482 KN/m	-	3.900	13.096	0.000	0.000	-1.000
2/3	1 (PP 1)	Trapez.	0.482 KN/m	0.712 KN/m	13.096	15.346	0.000	0.000	-1.000
2/3	1 (PP 1)	Trapez.	0.712 KN/m	0.801 KN/m	15.346	17.596	0.000	0.000	-1.000
2/3	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
5/3	1 (PP 1)	Trapez.	0.801 KN/m	0.712 KN/m	0.000	1.950	0.000	0.000	-1.000
5/3	1 (PP 1)	Trapez.	0.712 KN/m	0.624 KN/m	1.950	3.900	0.000	0.000	-1.000
5/3	1 (PP 1)	Faja	0.482 KN/m	-	3.900	13.096	0.000	0.000	-1.000
5/3	1 (PP 1)	Trapez.	0.482 KN/m	0.712 KN/m	13.096	15.346	0.000	0.000	-1.000
5/3	1 (PP 1)	Trapez.	0.712 KN/m	0.801 KN/m	15.346	17.596	0.000	0.000	-1.000
5/3	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Trapez.	0.801 KN/m	0.712 KN/m	0.000	0.775	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Trapez.	0.712 KN/m	0.482 KN/m	0.775	1.550	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Faja	0.482 KN/m	-	1.550	4.150	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Trapez.	0.624 KN/m	0.712 KN/m	4.150	5.075	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Trapez.	0.712 KN/m	0.801 KN/m	5.075	6.000	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Uniforme	2.340 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
4/5	1 (PP 1)	Trapez.	0.801 KN/m	0.712 KN/m	0.000	0.775	0.000	0.000	-1.000
4/5	1 (PP 1)	Trapez.	0.712 KN/m	0.482 KN/m	0.775	1.550	0.000	0.000	-1.000
4/5	1 (PP 1)	Faja	0.482 KN/m	-	1.550	4.150	0.000	0.000	-1.000
4/5	1 (PP 1)	Trapez.	0.624 KN/m	0.712 KN/m	4.150	5.075	0.000	0.000	-1.000
4/5	1 (PP 1)	Trapez.	0.712 KN/m	0.801 KN/m	5.075	6.000	0.000	0.000	-1.000
4/5	1 (PP 1)	Uniforme	1.020 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000



2.7.- Desplazamientos

Nudos	Descripción	DESPLAZAMIENTOS (EJES GENERALES)					
		DX (m)	DY (m)	DZ (m)	GX (rad)	GY (rad)	GZ (rad)
1	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	-0.0215	0.0001	-0.0039	0.0000	0.0000
		0.0000	-0.0215	0.0001	-0.0039	0.0000	0.0000
3	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0041	-0.2483	0.0005	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0041	-0.2483	0.0005	0.0000	0.0000
4	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
5	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0297	0.0000	0.0023	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0297	0.0000	0.0023	0.0000	0.0000

El desplazamiento que se produce en la cumbrera como podemos ver en la tabla es de 24,83 cm. Este desplazamiento se debe a la flexión que se produce en las vigas.

2.8.- Reacciones

Nudos	Descripción	REACCIONES (EJES GENERALES)					
		RX (KN)	RY (KN)	RZ (KN)	MX (KN·m)	MY (KN·m)	MZ (KN·m)
1	Envolvente (Cim.equil.)	0.0000	92.1423	76.9534	-383.6556	0.0000	0.0000
		0.0000	138.2135	115.4301	-255.7704	0.0000	0.0000
1	Envolvente (Cim.tens.terr.)	0.0000	92.1423	76.9534	-255.7704	0.0000	0.0000
		0.0000	92.1423	76.9534	-255.7704	0.0000	0.0000
4	Envolvente (Cim.equil.)	0.0000	-168.4535	77.4984	306.7119	0.0000	0.0000
		0.0000	-112.3023	116.2477	460.0678	0.0000	0.0000
4	Envolvente (Cim.tens.terr.)	0.0000	-112.3023	77.4984	306.7119	0.0000	0.0000
		0.0000	-112.3023	77.4984	306.7119	0.0000	0.0000

2.9.- Tensiones

Barras	TENSIÓN MÁXIMA								
	TENS. ()	APROV. (%)	Pos. (m)	N (KN)	Vy (KN)	Vz (KN)	Mt (KN·m)	My (KN·m)	Mz (KN·m)
2/3	0.9101	91.01	0.000	-155.4197	0.0000	-78.6997	0.0000	-433.8857	0.0000
5/3	0.9371	93.71	0.000	-155.5193	0.0000	-79.4288	0.0000	-446.7508	0.0000
1/2	0.9655	96.55	4.150	-102.8182	0.0000	-135.9834	0.0000	194.0678	0.0000
4/5	0.9908	99.08	4.150	-103.6791	0.0000	144.3631	0.0000	-199.1541	0.0000

El pórtico que nos ocupa consta de cuatro barras, pero realmente a efectos de estudio solo vamos a describir la viga de la derecha y el pilar derecho ya que, según hemos aplicado la hipótesis de carga, son los que están soportando más tensión.



Como podemos apreciar en la tabla el grado de aprovechamiento del pilar y viga derecha es bastante alto 99,08% y 93,71% respectivamente, lo cual nos indica que el diseño utilizado es bastante bueno.

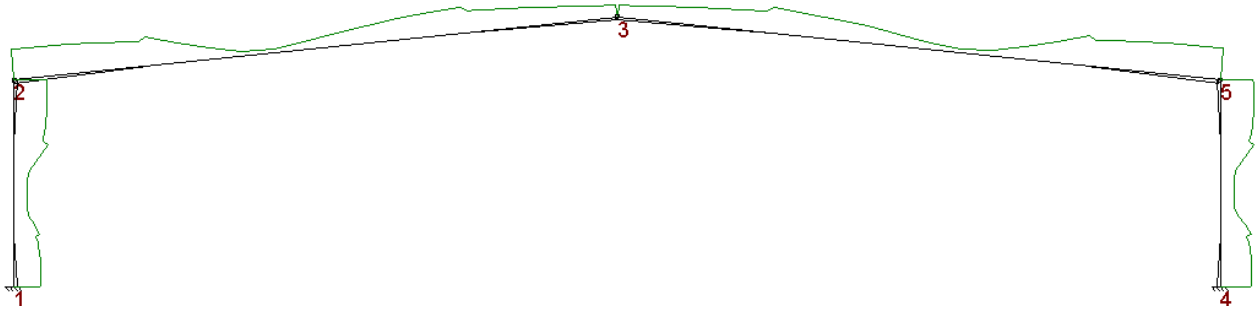


Diagrama de tensiones del pórtico.

Si nos fijamos ahora en el diagrama de tensiones vemos como este alto aprovechamiento de los perfiles se produce en las cercanías de los nudos, habiendo una zona tanto en el pilar como en la viga en la que este aprovechamiento disminuye considerablemente, pero al ser un perfil constante esta zona no se puede aprovechar mejor. Utilizando otros diseños como sección variable o Void veremos que esta zona se disminuye de manera considerable.

A continuación vamos a describir lo que le ocurre al pilar y viga derecho en cuanto al grado de aprovechamiento del perfil.

El pilar tiene tres zonas bien diferenciadas, la primera junto al suelo tiene una longitud de unos 1,7 metros en la que el reparto de tensiones es uniforme y bastante grande, debido a esto se ha colocado la cartela reforzando esta zona, con una longitud de 1,55 metros. El aprovechamiento en esta zona está en torno al 91,50% justo en el punto donde acaba la cartela. En la zona intermedia del pilar de unos 2,3 metros de longitud, el aprovechamiento medio está en torno al 58%, habiendo una pequeña zona donde dicho aprovechamiento es del 41,20%. Por último, en la zona junto a la viga, el aprovechamiento vuelve a subir hasta el 99,10% manteniéndose casi constante en un tramo de 2,00 metros de longitud. Debido al aumento de la tensión hasta tal punto, ha sido necesaria la colocación de la cartela de 1,85 metros de longitud para reforzar esta zona.

Para la viga, la distribución de tensiones es bastante similar a la del pilar. La primera zona que está pegando a la cumbrera, la tensión es inferior a la que se produce junto al pilar, si atendemos al estudio realizado en las luces anteriores para este diseño vemos que conforme aumenta la luz el aprovechamiento del perfil en la zona de la cumbrera va disminuyendo, siendo el aprovechamiento para esta zona del 74,10%. La cartela colocada en dicha



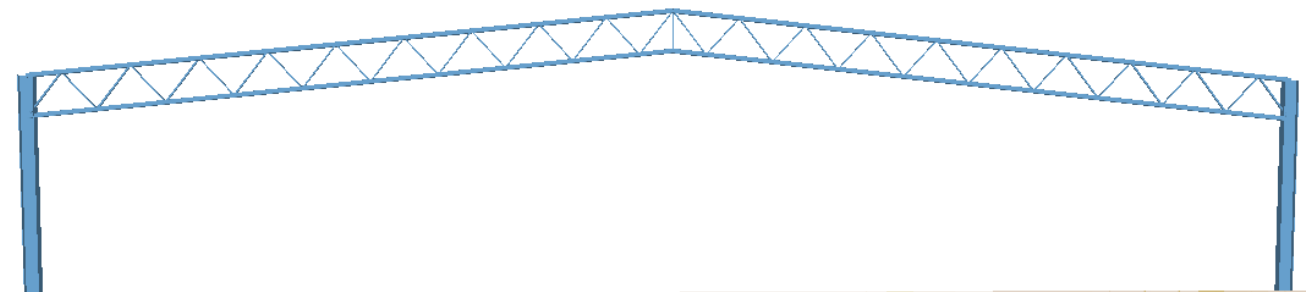
zona tiene una longitud de 3,90 metros, este refuerzo no le hace falta por cuestiones de tensión sino por reforzar una zona bastante delicada, debido a los desplazamientos que se producen en ella. La zona intermedia del perfil comprende unos 8,10 metros. En dicha zona la tensión que soporta el perfil es bastante inferior a la del resto del mismo, teniendo una pequeña zona con tan solo el 12% de aprovechamiento del perfil. El último tramo junto al pilar, el aprovechamiento como podemos apreciar es más alto y más uniforme a lo largo del perfil, teniendo un valor de 93,70%. Por tanto ha sido necesaria la colocación de una cartela con una longitud de 4,50 metros.



PÓRTICO VIGA DE CELOSÍA

PÓRTICO VIGA DE CELOSÍA 35 METROS DE LUZ

1. Descripción general del pórtico:

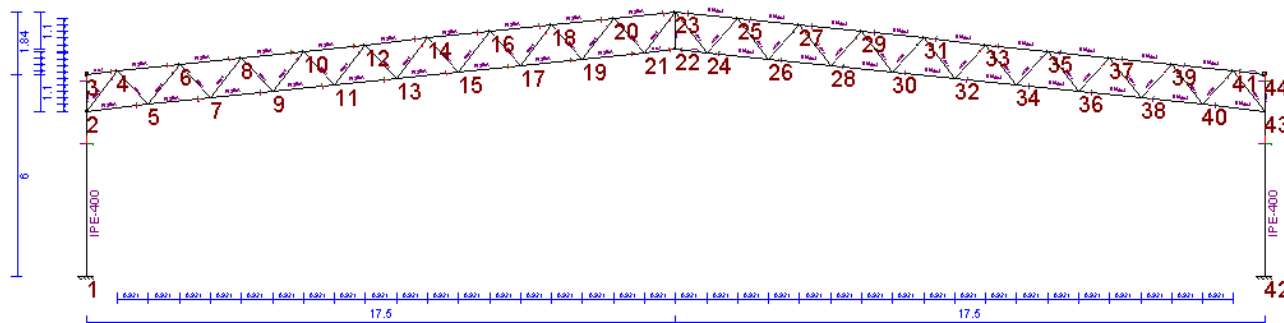


Interpretación real del pórtico

El pórtico que nos ocupa como ya sabemos tiene 35 metros de luz, sus pilares son IPE y la viga es una celosía cuyo diseño es el mismo de las estudiadas anteriormente.

Para los pilares se ha utilizado una sección de IPE 400 mm. En este caso no ha sido necesaria la colocación de cartelas inferiores ya que en el diagrama de tensiones del pilar, se ha equilibrado el aprovechamiento de la zona inferior con la superior del mismo. Esto quiere decir que el aprovechamiento de la parte inferior del perfil es muy similar al de la parte superior y como en la parte superior no colocamos cartelas por cuestiones de diseño en la parte inferior no son necesarias.

La viga como ya hemos comentado se ha solucionado con una celosía, formada en su totalidad por perfiles cuadrados huecos. Dicha celosía está formada por un montante vertical en la cumbrera y treinta y ocho diagonales, las cuales forman un ángulo con el montante inferior de 46° . La celosía tiene una altura entre montantes de 1,1 m. El montante superior e inferior tiene 120 mm de lado y 4 mm de espesor. Las diagonales (2-4), (5-6) y (7-8) tienen 50 mm de lado y 4 mm de espesor y la (9-10) tiene el mismo espesor y 45 mm de lado. El resto de diagonales está formado por perfil cuadrado hueco de 40 mm de lado y 4 mm de espesor.



Esquema de nudos, cotas y tipo de perfil.



En la imagen superior como podemos apreciar aparecen los nudos, cotas y perfiles utilizados, los cuales se describen a continuación:

2. Descripción de valores aportados por Cype

2.1 - Nudos

Nudos	Coordenadas (m)			Vínculos
	X	Y	Z	
1	0.000	0.000	0.000	Empotrado
2	0.000	0.000	4.900	Articulado
3	0.000	0.000	6.000	Empotrado
4	0.000	0.922	6.097	Articulado
5	0.000	1.843	5.094	Articulado
6	0.000	2.764	6.291	Articulado
7	0.000	3.685	5.287	Articulado
8	0.000	4.606	6.484	Articulado
9	0.000	5.527	5.481	Articulado
10	0.000	6.448	6.678	Articulado
11	0.000	7.369	5.675	Articulado
12	0.000	8.290	6.872	Articulado
13	0.000	9.211	5.868	Articulado
14	0.000	10.132	7.065	Articulado
15	0.000	11.053	6.062	Articulado
16	0.000	11.974	7.259	Articulado
17	0.000	12.895	6.256	Articulado
18	0.000	13.816	7.453	Articulado
19	0.000	14.737	6.449	Articulado
20	0.000	15.658	7.646	Articulado
21	0.000	16.579	6.643	Articulado
22	0.000	17.500	6.740	Articulado

Nudos	Coordenadas (m)			Vínculos
	X	Y	Z	
23	0.000	17.500	7.840	Articulado
24	0.000	18.421	6.643	Articulado
25	0.000	19.342	7.646	Articulado
26	0.000	20.263	6.449	Articulado
27	0.000	21.184	7.453	Articulado
28	0.000	22.105	6.256	Articulado
29	0.000	23.026	7.259	Articulado
30	0.000	23.947	6.062	Articulado
31	0.000	24.868	7.065	Articulado
32	0.000	25.789	5.868	Articulado
33	0.000	26.710	6.872	Articulado
34	0.000	27.631	5.675	Articulado
35	0.000	28.552	6.678	Articulado
36	0.000	29.473	5.481	Articulado
37	0.000	30.394	6.484	Articulado
38	0.000	31.315	5.287	Articulado
39	0.000	32.236	6.291	Articulado
40	0.000	33.157	5.094	Articulado
41	0.000	34.078	6.097	Articulado
42	0.000	35.000	0.000	Empotrado
43	0.000	35.000	4.900	Articulado
44	0.000	35.000	6.000	Empotrado

Hay un total de cuarenta y cuatro nudos, los cuales se han considerado todos articulados salvo las vinculaciones exteriores que son empotramientos y las uniones entre celosía y pilar que se han considerado nudos rígidos.

2.2 - Barras: Características Mecánicas

Descripción	Inerc.Tor. cm ⁴	Inerc.y cm ⁴	Inerc.z cm ⁴	Sección cm ²
Acero, IPE-400, Perfil simple (IPE)	48.300	23130.000	1320.000	84.500
Acero, #40x4, Perfil simple (Huecos cuadrados)	19.017	10.347	10.347	5.198
Acero, #45x4, Perfil simple (Huecos cuadrados)	28.276	15.702	15.702	5.998
Acero, #50x4, Perfil simple (Huecos cuadrados)	40.067	22.627	22.627	6.798
Acero, #120x4, Perfil simple (Huecos cuadrados)	638.849	396.396	396.396	17.998



2.3.- Barras: Materiales Utilizados

Material	Mód.elást. (GPa)	Mód.el.trans. (GPa)	Lím.elást.\Fck (MPa)	Co.dilat. (m/m°C)	Peso espec. (KN/m3)
Acero (S275)	206.01	79.23	275.00	1.2e-005	77.01

2.4.- Barras: Descripción

Barras	Material	Perfil	Peso (Kp)	Volumen (m3)	Longitud (m)
1/2	Acero (S275)	IPE-400 (IPE)	325.03	0.041	4.90
2/3	Acero (S275)	IPE-400 (IPE)	72.97	0.009	1.10
2/4	Acero (S275)	#50x4 (Huecos cuadrados)	8.06	0.001	1.51
2/5	Acero (S275)	#120x4 (Huecos cuadrados)	26.18	0.003	1.85
3/4	Acero (S275)	#120x4 (Huecos cuadrados)	13.10	0.002	0.93
5/4	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	5.56	0.001	1.36
4/6	Acero (S275)	#120x4 (Huecos cuadrados)	26.17	0.003	1.85
5/6	Acero (S275)	#50x4 (Huecos cuadrados)	8.06	0.001	1.51
5/7	Acero (S275)	#120x4 (Huecos cuadrados)	26.17	0.003	1.85
7/6	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	5.56	0.001	1.36
6/8	Acero (S275)	#120x4 (Huecos cuadrados)	26.17	0.003	1.85
7/8	Acero (S275)	#50x4 (Huecos cuadrados)	8.06	0.001	1.51
7/9	Acero (S275)	#120x4 (Huecos cuadrados)	26.17	0.003	1.85
9/8	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	5.56	0.001	1.36
8/10	Acero (S275)	#120x4 (Huecos cuadrados)	26.17	0.003	1.85
9/10	Acero (S275)	#45x4 (Huecos cuadrados)	7.11	0.001	1.51
9/11	Acero (S275)	#120x4 (Huecos cuadrados)	26.17	0.003	1.85
11/10	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	5.56	0.001	1.36
10/12	Acero (S275)	#120x4 (Huecos cuadrados)	26.17	0.003	1.85
11/12	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	6.16	0.001	1.51
11/13	Acero (S275)	#120x4 (Huecos cuadrados)	26.17	0.003	1.85
13/12	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	5.56	0.001	1.36
12/14	Acero (S275)	#120x4 (Huecos cuadrados)	26.17	0.003	1.85
13/14	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	6.16	0.001	1.51
13/15	Acero (S275)	#120x4 (Huecos cuadrados)	26.17	0.003	1.85
15/14	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	5.56	0.001	1.36
14/16	Acero (S275)	#120x4 (Huecos cuadrados)	26.17	0.003	1.85
15/16	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	6.16	0.001	1.51
15/17	Acero (S275)	#120x4 (Huecos cuadrados)	26.17	0.003	1.85
17/16	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	5.56	0.001	1.36
16/18	Acero (S275)	#120x4 (Huecos cuadrados)	26.17	0.003	1.85
17/18	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	6.16	0.001	1.51
17/19	Acero (S275)	#120x4 (Huecos cuadrados)	26.17	0.003	1.85
19/18	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	5.56	0.001	1.36
18/20	Acero (S275)	#120x4 (Huecos cuadrados)	26.17	0.003	1.85
19/20	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	6.16	0.001	1.51
19/21	Acero (S275)	#120x4 (Huecos cuadrados)	26.17	0.003	1.85
21/20	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	5.56	0.001	1.36
20/23	Acero (S275)	#120x4 (Huecos cuadrados)	26.17	0.003	1.85
21/22	Acero (S275)	#120x4 (Huecos cuadrados)	13.08	0.002	0.93
21/23	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	6.16	0.001	1.51
22/23	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	4.49	0.001	1.10
24/22	Acero (S275)	#120x4 (Huecos cuadrados)	13.08	0.002	0.93
24/23	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	6.16	0.001	1.51
25/23	Acero (S275)	#120x4 (Huecos cuadrados)	26.17	0.003	1.85
24/25	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	5.56	0.001	1.36
26/24	Acero (S275)	#120x4 (Huecos cuadrados)	26.17	0.003	1.85
26/25	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	6.16	0.001	1.51



Pórtico Viga Celosía 35 Metros De Luz

27/25	Acero (S275)	#120x4 (Huecos cuadrados)	26.17	0.003	1.85
26/27	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	5.56	0.001	1.36
28/26	Acero (S275)	#120x4 (Huecos cuadrados)	26.17	0.003	1.85
28/27	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	6.16	0.001	1.51
29/27	Acero (S275)	#120x4 (Huecos cuadrados)	26.17	0.003	1.85
28/29	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	5.56	0.001	1.36
30/28	Acero (S275)	#120x4 (Huecos cuadrados)	26.17	0.003	1.85
30/29	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	6.16	0.001	1.51
31/29	Acero (S275)	#120x4 (Huecos cuadrados)	26.17	0.003	1.85
30/31	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	5.56	0.001	1.36
32/30	Acero (S275)	#120x4 (Huecos cuadrados)	26.17	0.003	1.85
32/31	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	6.16	0.001	1.51
33/31	Acero (S275)	#120x4 (Huecos cuadrados)	26.17	0.003	1.85
32/33	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	5.56	0.001	1.36
34/32	Acero (S275)	#120x4 (Huecos cuadrados)	26.17	0.003	1.85
34/33	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	6.16	0.001	1.51
35/33	Acero (S275)	#120x4 (Huecos cuadrados)	26.17	0.003	1.85
34/35	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	5.56	0.001	1.36
36/34	Acero (S275)	#120x4 (Huecos cuadrados)	26.17	0.003	1.85
36/35	Acero (S275)	#45x4 (Huecos cuadrados)	7.11	0.001	1.51
37/35	Acero (S275)	#120x4 (Huecos cuadrados)	26.17	0.003	1.85
36/37	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	5.56	0.001	1.36
38/36	Acero (S275)	#120x4 (Huecos cuadrados)	26.17	0.003	1.85
38/37	Acero (S275)	#50x4 (Huecos cuadrados)	8.06	0.001	1.51
39/37	Acero (S275)	#120x4 (Huecos cuadrados)	26.17	0.003	1.85
38/39	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	5.56	0.001	1.36
40/38	Acero (S275)	#120x4 (Huecos cuadrados)	26.17	0.003	1.85
40/39	Acero (S275)	#50x4 (Huecos cuadrados)	8.06	0.001	1.51
41/39	Acero (S275)	#120x4 (Huecos cuadrados)	26.17	0.003	1.85
40/41	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	5.56	0.001	1.36
43/40	Acero (S275)	#120x4 (Huecos cuadrados)	26.18	0.003	1.85
43/41	Acero (S275)	#50x4 (Huecos cuadrados)	8.06	0.001	1.51
44/41	Acero (S275)	#120x4 (Huecos cuadrados)	13.10	0.002	0.93
42/43	Acero (S275)	IPE-400 (IPE)	325.03	0.041	4.90
43/44	Acero (S275)	IPE-400 (IPE)	72.97	0.009	1.10

2.5.- Barras: Resumen Medición (Acero)

Descripción			Peso (Kp)			Longitud (m)		
			Perfil	Serie	Acero	Perfil	Serie	Acero
Acero (S275)	IPE	IPE-400, Perfil simple	796.00	796.00		12.00	12.00	
		#40x4, Perfil simple	178.49			43.70		
		#45x4, Perfil simple	14.22			3.02		
		#50x4, Perfil simple	48.36			9.06		
		#120x4, Perfil simple	994.50			70.32		
	Huecos cuadrados			1235.57			126.10	
								138.10
								138.10

Como podemos apreciar en la tabla, el peso total de la estructura es de 2031,57 Kg, dicho peso es el menor de entre todas las tipologías estudiadas. Esta reducción de peso se debe al uso de la viga de celosía obteniendo así un pórtico más ligero.



2.6.- Cargas (Nudos)

Nudos	Hipót.	Tipo	Cargas				Dirección		
			P1	P2	L1 (m)	L2 (m)	X	Y	Z
3	1 (PP 1)	Puntual	3.150 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
4	1 (PP 1)	Puntual	6.300 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
6	1 (PP 1)	Puntual	6.300 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
8	1 (PP 1)	Puntual	6.300 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
10	1 (PP 1)	Puntual	6.300 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
12	1 (PP 1)	Puntual	6.300 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
14	1 (PP 1)	Puntual	6.300 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
16	1 (PP 1)	Puntual	6.300 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
18	1 (PP 1)	Puntual	6.300 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
20	1 (PP 1)	Puntual	6.300 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
23	1 (PP 1)	Puntual	6.300 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
25	1 (PP 1)	Puntual	6.300 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
27	1 (PP 1)	Puntual	6.300 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
29	1 (PP 1)	Puntual	6.300 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
31	1 (PP 1)	Puntual	6.300 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
33	1 (PP 1)	Puntual	6.300 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
35	1 (PP 1)	Puntual	6.300 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
37	1 (PP 1)	Puntual	6.300 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
39	1 (PP 1)	Puntual	6.300 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
41	1 (PP 1)	Puntual	6.300 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
44	1 (PP 1)	Puntual	3.150 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000

En la tabla superior podemos apreciar como se ha distribuido la carga calculada al principio en la celosía. Y en la tabla que hay a continuación, se detallan las cargas debidas al peso propio de la estructura que nos ha generado el programa.

2.7.- Cargas (Barras)

Barras	Hipót.	Tipo	Cargas				Dirección		
			P1	P2	L1 (m)	L2 (m)	X	Y	Z
2/3	1 (PP 1)	Uniforme	0.651 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
2/3	1 (PP 1)	Uniforme	2.340 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
42/43	1 (PP 1)	Uniforme	0.651 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
42/43	1 (PP 1)	Uniforme	1.020 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
1/2	1 (PP 1)	Uniforme	0.651 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Uniforme	2.340 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
43/44	1 (PP 1)	Uniforme	0.651 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
43/44	1 (PP 1)	Uniforme	1.020 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
22/23	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
24/23	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
21/23	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
24/25	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
21/20	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000



Pórtico Viga Celosía 35 Metros De Luz

26/25	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
19/20	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
26/27	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
19/18	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
28/27	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
17/18	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
28/29	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
17/16	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
30/29	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
15/16	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
30/31	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
15/14	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
32/31	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
13/14	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
32/33	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
13/12	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
34/33	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
11/12	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
34/35	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
11/10	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
36/37	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
9/8	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
38/39	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
7/6	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
40/41	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
5/4	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
9/10	1 (PP 1)	Uniforme	0.046 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
36/35	1 (PP 1)	Uniforme	0.046 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
7/8	1 (PP 1)	Uniforme	0.052 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
38/37	1 (PP 1)	Uniforme	0.052 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
5/6	1 (PP 1)	Uniforme	0.052 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
40/39	1 (PP 1)	Uniforme	0.052 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
43/41	1 (PP 1)	Uniforme	0.052 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
2/4	1 (PP 1)	Uniforme	0.052 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
21/22	1 (PP 1)	Uniforme	0.139 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
20/23	1 (PP 1)	Uniforme	0.139 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
24/22	1 (PP 1)	Uniforme	0.139 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
19/21	1 (PP 1)	Uniforme	0.139 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
25/23	1 (PP 1)	Uniforme	0.139 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
18/20	1 (PP 1)	Uniforme	0.139 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
26/24	1 (PP 1)	Uniforme	0.139 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
17/19	1 (PP 1)	Uniforme	0.139 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
27/25	1 (PP 1)	Uniforme	0.139 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
16/18	1 (PP 1)	Uniforme	0.139 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
28/26	1 (PP 1)	Uniforme	0.139 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
15/17	1 (PP 1)	Uniforme	0.139 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
29/27	1 (PP 1)	Uniforme	0.139 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
14/16	1 (PP 1)	Uniforme	0.139 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
30/28	1 (PP 1)	Uniforme	0.139 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
13/15	1 (PP 1)	Uniforme	0.139 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
31/29	1 (PP 1)	Uniforme	0.139 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
12/14	1 (PP 1)	Uniforme	0.139 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000



Pórtico Viga Celosía 35 Metros De Luz

32/30	1 (PP 1)	Uniforme	0.139 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
11/13	1 (PP 1)	Uniforme	0.139 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
33/31	1 (PP 1)	Uniforme	0.139 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
10/12	1 (PP 1)	Uniforme	0.139 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
34/32	1 (PP 1)	Uniforme	0.139 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
9/11	1 (PP 1)	Uniforme	0.139 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
35/33	1 (PP 1)	Uniforme	0.139 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
8/10	1 (PP 1)	Uniforme	0.139 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
36/34	1 (PP 1)	Uniforme	0.139 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
7/9	1 (PP 1)	Uniforme	0.139 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
37/35	1 (PP 1)	Uniforme	0.139 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
6/8	1 (PP 1)	Uniforme	0.139 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
38/36	1 (PP 1)	Uniforme	0.139 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
5/7	1 (PP 1)	Uniforme	0.139 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
39/37	1 (PP 1)	Uniforme	0.139 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
4/6	1 (PP 1)	Uniforme	0.139 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
40/38	1 (PP 1)	Uniforme	0.139 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
3/4	1 (PP 1)	Uniforme	0.139 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
41/39	1 (PP 1)	Uniforme	0.139 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
2/5	1 (PP 1)	Uniforme	0.139 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
43/40	1 (PP 1)	Uniforme	0.139 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
44/41	1 (PP 1)	Uniforme	0.139 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000

2.8.- Desplazamientos

Los desplazamientos que se producen normalmente en una celosía son muy pequeños y no va a ser este caso una excepción. En los demás pórticos estudiados para esta luz, los desplazamientos que se producen en la cumbrera son bastante mayores que en el caso que nos ocupa, siendo este de 10,20 cm.

2.9.- Reacciones

Nudos	Descripción	REACCIONES (EJES GENERALES)					
		RX (KN)	RY (KN)	RZ (KN)	MX (KN·m)	MY (KN·m)	MZ (KN·m)
1	Envolvente (Cim.equil.)	0.0000	64.1691	72.4532	-210.8837	0.0000	0.0000
		0.0000	96.2536	108.6798	-140.5892	0.0000	0.0000
1	Envolvente (Cim.tens.terr.)	0.0000	64.1691	72.4532	-140.5892	0.0000	0.0000
		0.0000	64.1691	72.4532	-140.5892	0.0000	0.0000
42	Envolvente (Cim.equil.)	0.0000	-126.4936	73.4753	183.1826	0.0000	0.0000
		0.0000	-84.3291	110.2129	274.7739	0.0000	0.0000
42	Envolvente (Cim.tens.terr.)	0.0000	-84.3291	73.4753	183.1826	0.0000	0.0000
		0.0000	-84.3291	73.4753	183.1826	0.0000	0.0000



2.10.-Tensiones

Barras	TENSION MÁXIMA								
	TENS. ()	APROV. (%)	Pos. (m)	N (KN)	Vy (KN)	Vz (KN)	Mt (KN·m)	My (KN·m)	Mz (KN·m)
2/3	0.8337	83.37	0.000	14.5131	0.0000	244.6320	0.0000	272.6070	0.0000
42/43	0.8991	89.91	4.900	-94.8871	0.0000	107.0970	0.0000	-294.0095	0.0000
1/2	0.8337	83.37	4.900	-93.5073	0.0000	-102.1074	0.0000	272.6070	0.0000
43/44	0.8998	89.98	0.000	16.6857	0.0000	-261.4323	0.0000	-294.0095	0.0000
22/23	0.2909	29.09	1.100	37.7943	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
24/23	0.0455	4.55	1.510	5.9141	0.0000	0.0249	0.0000	0.0000	0.0000
21/23	0.0599	5.99	1.510	7.7872	0.0000	0.0249	0.0000	0.0000	0.0000
24/25	0.0903	9.03	0.681	-5.8575	0.0000	0.0000	0.0000	0.0085	0.0000
21/20	0.1152	11.52	0.681	-7.5577	0.0000	0.0000	0.0000	0.0085	0.0000
26/25	0.0831	8.31	0.755	-4.6435	0.0000	0.0000	0.0000	0.0094	0.0000
19/20	0.0513	5.13	0.755	-2.7587	0.0000	0.0000	0.0000	0.0094	0.0000
26/27	0.0350	3.50	1.362	4.5438	0.0000	0.0249	0.0000	0.0000	0.0000
19/18	0.0219	2.19	1.362	2.8491	0.0000	0.0249	0.0000	0.0000	0.0000
28/27	0.2993	29.93	0.755	-17.4763	0.0000	0.0000	0.0000	0.0094	0.0000
17/18	0.2677	26.77	0.755	-15.5968	0.0000	0.0000	0.0000	0.0094	0.0000
28/29	0.1254	12.54	1.362	16.2995	0.0000	0.0249	0.0000	0.0000	0.0000
17/16	0.1124	11.24	1.362	14.6035	0.0000	0.0249	0.0000	0.0000	0.0000
30/29	0.5118	51.18	0.755	-30.1900	0.0000	0.0000	0.0000	0.0094	0.0000
15/16	0.4803	48.03	0.755	-28.3094	0.0000	0.0000	0.0000	0.0094	0.0000
30/31	0.2135	21.35	1.362	27.7382	0.0000	0.0249	0.0000	0.0000	0.0000
15/14	0.2004	20.04	1.362	26.0424	0.0000	0.0249	0.0000	0.0000	0.0000
32/31	0.7254	72.54	0.755	-42.9736	0.0000	0.0000	0.0000	0.0094	0.0000
13/14	0.6940	69.40	0.755	-41.0925	0.0000	0.0000	0.0000	0.0094	0.0000
32/33	0.3018	30.18	1.362	39.2163	0.0000	0.0249	0.0000	0.0000	0.0000
13/12	0.2888	28.88	1.362	37.5211	0.0000	0.0249	0.0000	0.0000	0.0000
34/33	0.9364	93.64	0.755	-55.5998	0.0000	0.0000	0.0000	0.0094	0.0000
11/12	0.9050	90.50	0.755	-53.7219	0.0000	0.0000	0.0000	0.0094	0.0000
34/35	0.3899	38.99	1.362	50.6656	0.0000	0.0249	0.0000	0.0000	0.0000
11/10	0.3769	37.69	1.362	48.9720	0.0000	0.0249	0.0000	0.0000	0.0000
36/37	0.4800	48.00	1.362	62.3770	0.0000	0.0249	0.0000	0.0000	0.0000
9/8	0.4669	46.69	1.362	60.6749	0.0000	0.0249	0.0000	0.0000	0.0000
38/39	0.5648	56.48	1.362	73.3891	0.0000	0.0249	0.0000	0.0000	0.0000
7/6	0.5519	55.19	1.362	71.7141	0.0000	0.0249	0.0000	0.0000	0.0000
40/41	0.6684	66.84	1.362	86.8599	0.0000	0.0249	0.0000	0.0000	0.0000
5/4	0.6547	65.47	1.362	85.0779	0.0000	0.0249	0.0000	0.0000	0.0000
9/10	0.8135	81.35	0.755	-66.5756	0.0000	0.0000	0.0000	0.0108	0.0000
36/35	0.8363	83.63	0.755	-68.4562	0.0000	0.0000	0.0000	0.0108	0.0000
7/8	0.7511	75.11	0.755	-79.3725	0.0000	0.0000	0.0000	0.0123	0.0000
38/37	0.7688	76.88	0.755	-81.2572	0.0000	0.0000	0.0000	0.0123	0.0000
5/6	0.8727	87.27	0.755	-92.3297	0.0000	0.0000	0.0000	0.0123	0.0000
40/39	0.8903	89.03	0.755	-94.2020	0.0000	0.0000	0.0000	0.0123	0.0000
43/41	0.9503	95.03	0.755	-100.5451	0.0000	0.0000	0.0000	0.0123	0.0000
2/4	0.9333	93.33	0.755	-98.7367	0.0000	0.0000	0.0000	0.0123	0.0000
21/22	0.3804	38.04	0.926	171.1484	0.0000	0.9818	0.0000	0.0000	0.0000
20/23	0.7794	77.94	0.000	-281.9141	0.0000	0.4831	0.0000	1.2140	0.0000
24/22	0.3804	38.04	0.926	171.1473	0.0000	0.9712	0.0000	0.0000	0.0000
19/21	0.4022	40.22	1.852	180.9693	0.0000	0.2787	0.0000	0.8294	0.0000



Pórtico Viga Celosía 35 Metros De Luz

25/23	0.7759	77.59	0.000	-280.7660	0.0000	0.4784	0.0000	1.2052	0.0000
18/20	0.7883	78.83	1.852	-285.4108	0.0000	0.0171	0.0000	1.2140	0.0000
26/24	0.3971	39.71	1.852	178.6644	0.0000	0.2770	0.0000	0.8196	0.0000
17/19	0.3941	39.41	1.852	177.3425	0.0000	0.1255	0.0000	1.0265	0.0000
27/25	0.7789	77.89	1.852	-281.9507	0.0000	0.0120	0.0000	1.2052	0.0000
16/18	0.7442	74.42	0.926	-273.9297	0.0000	-0.0041	0.0000	1.0025	0.0000
28/26	0.3839	38.39	1.852	172.7289	0.0000	0.1197	0.0000	1.0134	0.0000
15/17	0.3509	35.09	1.852	157.8648	0.0000	0.1148	0.0000	0.9397	0.0000
29/27	0.7279	72.79	0.926	-268.1647	0.0000	-0.0091	0.0000	0.9796	0.0000
14/16	0.6707	67.07	1.389	-246.6571	0.0000	-0.0003	0.0000	0.9387	0.0000
30/28	0.3355	33.55	1.852	150.9454	0.0000	0.1099	0.0000	0.9159	0.0000
13/15	0.2729	27.29	1.852	122.8106	0.0000	0.0841	0.0000	0.8332	0.0000
31/29	0.6482	64.82	1.389	-238.5855	0.0000	-0.0054	0.0000	0.9088	0.0000
12/14	0.5514	55.14	1.389	-203.7685	0.0000	-0.0116	0.0000	0.7733	0.0000
32/30	0.2524	25.24	1.852	113.5847	0.0000	0.0792	0.0000	0.8004	0.0000
11/13	0.1603	16.03	1.852	72.1076	0.0000	0.0144	0.0000	0.6697	0.0000
33/31	0.5227	52.27	1.389	-193.3901	0.0000	-0.0164	0.0000	0.7341	0.0000
10/12	0.3924	39.24	1.852	-145.3279	0.0000	-0.0091	0.0000	0.5776	0.0000
34/32	0.1346	13.46	1.852	60.5754	0.0000	0.0086	0.0000	0.6279	0.0000
9/11	0.0187	1.87	1.852	5.8784	0.0000	-0.0055	0.0000	0.3772	0.0000
35/33	0.3579	35.79	1.852	-132.6454	0.0000	-0.0152	0.0000	0.5318	0.0000
8/10	0.1884	18.84	1.852	-71.2163	0.0000	0.0136	0.0000	0.2416	0.0000
36/34	0.0358	3.58	1.852	-7.9570	0.0000	-0.0111	0.0000	0.3246	0.0000
7/9	0.1965	19.65	0.000	-76.2186	0.0000	-0.2862	0.0000	-0.1631	0.0000
37/35	0.1482	14.82	1.852	-56.2287	0.0000	0.0093	0.0000	0.1845	0.0000
6/8	0.0415	4.15	1.852	18.6865	0.0000	-0.1011	0.0000	-0.0524	0.0000
38/36	0.2400	24.00	0.000	-92.3643	0.0000	-0.2869	0.0000	-0.2272	0.0000
5/7	0.4906	49.06	0.000	-173.6766	0.0000	-0.6307	0.0000	-1.0122	0.0000
39/37	0.0800	8.00	1.852	35.9872	0.0000	-0.1074	0.0000	-0.1175	0.0000
4/6	0.2758	27.58	1.852	124.0963	0.0000	0.3026	0.0000	-0.5587	0.0000
40/38	0.5439	54.39	0.000	-192.1191	0.0000	-0.6510	0.0000	-1.1139	0.0000
3/4	0.5377	53.77	0.927	241.9165	0.0000	-5.4207	0.0000	-0.3175	0.0000
41/39	0.3193	31.93	1.852	143.6853	0.0000	0.3069	0.0000	-0.6356	0.0000
2/5	0.7806	78.06	1.853	-287.9898	0.0000	0.7186	0.0000	-1.0122	0.0000
43/40	0.8408	84.08	1.853	-308.7844	0.0000	0.7735	0.0000	-1.1139	0.0000
44/41	0.5863	58.63	0.927	263.8141	0.0000	-5.5385	0.0000	-0.3863	0.0000

Como podemos apreciar en el pórtico de la imagen, los montantes tanto superior como inferior, son los que más tensión están soportando. En el montante superior el aprovechamiento máximo se produce en la cumbrera, siendo este del 78,80%, conforme nos vamos acercando al pilar la tensión a la que está sometido el perfil va disminuyendo hasta tener el 14,8% de aprovechamiento del mismo, en dicho montante junto al pilar el aprovechamiento vuelve a ser mayor, llegando éste al 58,60%. En el montante inferior la distribución de tensiones es similar al montante superior pero con un aprovechamiento del perfil ligeramente inferior. En este caso el aprovechamiento máximo se produce junto al pilar teniendo 84,10%, después disminuye bastante conforme nos acercamos a la mitad del perfil, siendo



bajísimo su aprovechamiento y llegando a al cumbre vuelve a aumentar dicho aprovechamiento llegando al 40,20%.

El aprovechamiento de las diagonales de la celosía es bastante diverso aunque este se distribuye de manera uniforme.

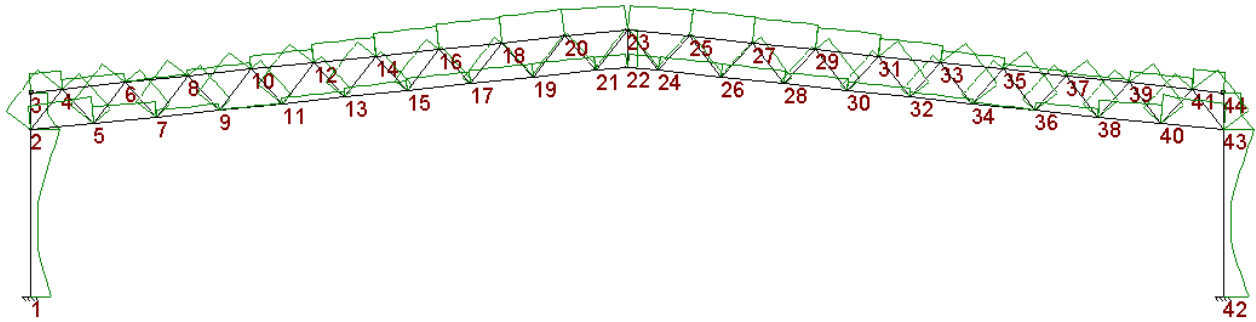


Diagrama de tensiones del pórtico.

La diagonal que está soportando más tensión es la que se encuentra junto al pilar, con un aprovechamiento del 95%. A medida que nos vamos acercando a la cumbre el aprovechamiento de los perfiles va disminuyendo, como es el caso de la barra (23-24) donde el aprovechamiento es del 4,6%. En las diagonales (35-36), (37-38), (39-40) y (41-43) he tenido que utilizar un perfil superior a las demás, como se ha descrito más arriba ya que uno igual no aguantaba la tensión. Para las demás diagonales se ha utilizado el mismo perfil 40x4 ya que no existe en la serie otro más pequeño con 4 mm de espesor y debido a esto el aprovechamiento del mismo disminuye bastante. Conforme vallamos aumentando la luz del pórtico veremos como el aprovechamiento de estos perfiles irán aumentando.

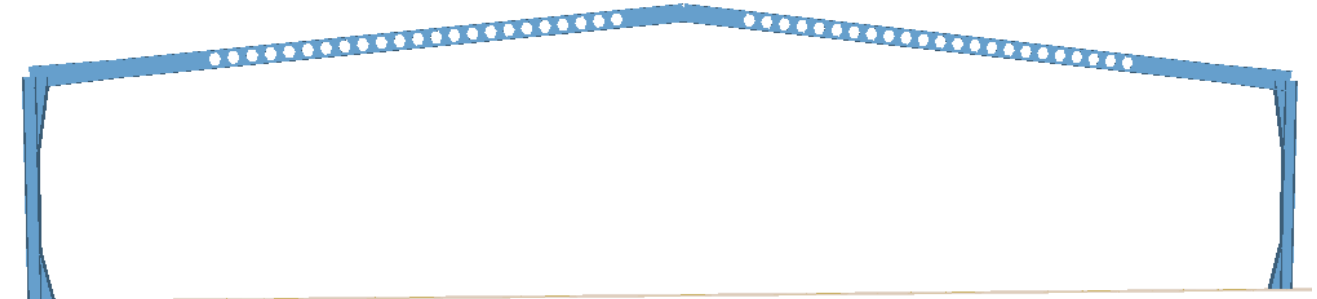
A continuación vamos a describir lo que le ocurre al pilar derecho en cuanto a las tensiones. Si nos fijamos en la imagen anterior el pilar tiene dos zonas bien diferenciadas: inferior y superior. En la zona inferior el diagrama de tensiones tiene forma de triángulo recto, teniendo en la base del pilar un aprovechamiento de 75,60% y disminuyendo éste hasta el 22,30% justo a la mitad del pilar. En la parte superior del pilar la distribución de tensiones es exactamente igual pero a la inversa, partiendo a la mitad del pilar con un aprovechamiento del 22,30% y llegando en la parte superior del mismo al 89,90% de aprovechamiento. Como hemos podido apreciar la distribución de tensiones no es constante a lo largo del perfil, esto es debido a que el perfil utilizado como pilar no está reforzado en los nudos y teniendo así una zona bastante amplia donde el aprovechamiento es muy bajo.



PÓRTICO VIGA VOID

PÓRTICO VIGA VOID 35 METROS DE LUZ

1. Descripción general del pórtico:



Interpretación real del pórtico

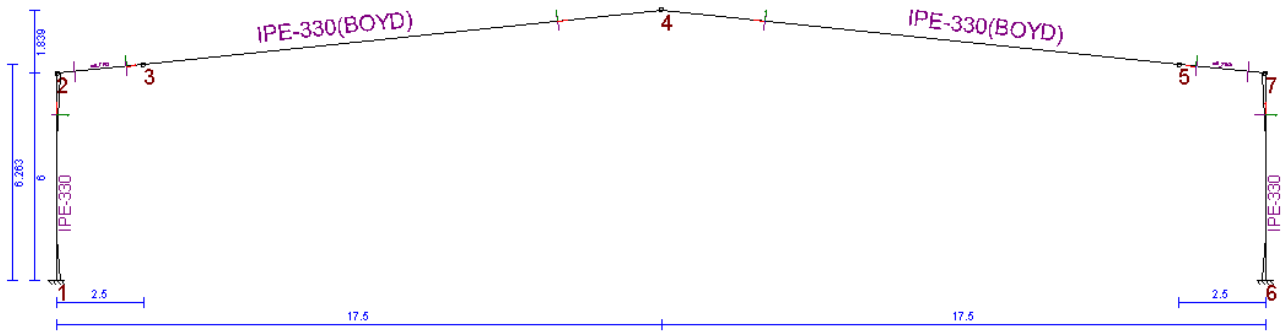
El pórtico que nos ocupa tiene 35 metros de luz y está formado por perfiles IPE, cuya viga es de tipo VOID con perfil IPE de 330 mm. Los pilares son IPE 330, están reforzados en su parte inferior y superior por cartelas. Las cartelas inferiores tienen una longitud de 1,30 metros y las superiores 2,00 metros. El hecho de colocar unas cartelas tan grandes es para conseguir un mayor aprovechamiento del perfil utilizando una sección de perfil menor.

El diseño de la viga empezando de izquierda a derecha es el siguiente: empezamos colocando un perfil de sección variable, seguido de viga VOID con perfil IPE y el otro agua igual, viga VOID y último tramo con sección variable. Los tramos de sección variable los describimos a continuación: la unión con el pilar tiene un canto de 590 mm y junto a la viga de 495 mm que coincide con el alma de la viga utilizada posteriormente para que se pueda unir a ella con la mayor facilidad. Como podemos apreciar el canto de la viga de Sección Variable es bastante grande y según el CTE hay que comprobar que el perfil no falle por abolladura del alma, dado el caso que el perfil falle, se realizará un cálculo de rigidizadores. En este caso es necesario colocar rigidizadores y las comprobaciones y el cálculo de los mismos se encuentran al final de éste pórtico. El alma tiene un espesor de 9 mm. y el ala de 13 mm. Este espesor se ha elegido lo más próximo al perfil IPE que se ha utilizado en la viga, debido a que nos tenemos que regir por espesores comerciales. La longitud de dicho perfil es de 2,51 metros. Los tramos VOID para esta luz se han diseñado de la siguiente manera: el perfil que se ha utilizado como ya hemos dicho es un IPE 330 mm., el cual se convierte al hacerlo VOID en un perfil que tiene 495 mm. de alma. Para este pórtico se le han rellenado cuatro huecos en origen y tres más en la cumbrera de cada viga, adecuándonos de esta manera a lo solicitado en el diagrama de tensiones que se comentará más adelante.

A continuación mostramos un esquema del pórtico donde se detallan los nudos, perfiles utilizados y las cotas del mismo.



Pórtico Viga Void 35 Metros De Luz



Esquema de nudos, cotas y tipo de perfil.

2. Descripción de valores aportados por Cype

Ahora se detallan los datos que nos aporta el programa en forma de tablas que describiremos a continuación:

2.1 - Nudos

Nudos	Coordenadas (m)			Vínculos
	X	Y	Z	
1	0.000	0.000	0.000	Empotrado
2	0.000	0.000	6.000	Empotrado
3	0.000	2.500	6.263	Empotrado
4	0.000	17.500	7.839	Empotrado
5	0.000	32.500	6.263	Empotrado
6	0.000	35.000	0.000	Empotrado
7	0.000	35.000	6.000	Empotrado

2.2 - Barras: Características Mecánicas

Descripción	Inerc.Tor. cm4	Inerc.y cm4	Inerc.z cm4	Sección cm2
Acero, Sección Variable, Perfil simple + Separación 564/454 mm	34.339	36463.100	734.342	84.810
Acero, IPE-330, Simple con cartelas (IPE)	26.500	11770.000	788.000	62.600
Acero, IPE-330, Boyd (alma aligerada) (IPE) H: 495.0 mm, S: 495.0 mm, macizados (4, 3)	26.500	26462.023	785.566	62.600

2.3.- Barras: Materiales Utilizados

Material	Mód.elást. (GPa)	Mód.el.trans. (GPa)	Lím.elás.\Fck (MPa)	Co.dilat. (m/m°C)	Peso espec. (KN/m3)
Acero (S275)	206.01	79.23	275.00	1.2e-005	77.01



2.4.- Barras: Descripción

Barras	Material	Perfil	Peso (Kp)	Volumen (m3)	Longitud (m)
1/2	Acero (S275)	IPE-330 (IPE) + carts. sup. 1.300 m y 2.000 m	372.31	0.047	6.00
2/3	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 564/454 mm	167.40	0.021	2.51
3/4	Acero (S275)	IPE-330(BOYD) (IPE) H: 495.0 mm, S: 495.0 mm, macizados (4, 3)	766.55	0.098	15.08
5/4	Acero (S275)	IPE-330(BOYD) (IPE) H: 495.0 mm, S: 495.0 mm, macizados (4, 3)	766.55	0.098	15.08
7/5	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 564/454 mm	167.40	0.021	2.51
6/7	Acero (S275)	IPE-330 (IPE) + carts. inf. 1.300 m y 2.000 m	372.31	0.047	6.00

2.5.- Barras: Resumen Medición (Acero)

Descripción			Peso (Kp)			Longitud (m)		
			Perfil	Serie	Acero	Perfil	Serie	Acero
Acero (S275)	Sección	Sección Variable, Perfil	334.80			5.02		
		IPE-330, Simple con c...	744.62	334.80		12.00	5.02	
	IPE	IPE-330, Boyd (alma a...	1533.10	744.62		30.16	12.00	
				1533.10			30.16	
	IPE				2612.52			47.18
					2612.52			47.18

Como podemos apreciar en la tabla, el utilizar la viga VOID hace que se aligere bastante la estructura como veremos más adelante, teniendo un peso total de la misma de 2612.52 Kg.

2.6.- Cargas (Barras)

Barras	Hipót.	Tipo	Cargas				Dirección		
			P1	P2	L1 (m)	L2 (m)	X	Y	Z
2/3	1 (PP 1)	Trapez.	0.691 KN/m	0.615 KN/m	0.000	2.514	0.000	0.000	-1.000
2/3	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
7/5	1 (PP 1)	Trapez.	0.691 KN/m	0.615 KN/m	0.000	2.514	0.000	0.000	-1.000
7/5	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Trapez.	0.801 KN/m	0.712 KN/m	0.000	0.650	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Trapez.	0.712 KN/m	0.624 KN/m	0.650	1.300	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Faja	0.482 KN/m	-	1.300	4.000	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Trapez.	0.624 KN/m	0.712 KN/m	4.000	5.000	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Trapez.	0.712 KN/m	0.801 KN/m	5.000	6.000	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Uniforme	2.340 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
6/7	1 (PP 1)	Trapez.	0.801 KN/m	0.712 KN/m	0.000	0.650	0.000	0.000	-1.000
6/7	1 (PP 1)	Trapez.	0.712 KN/m	0.624 KN/m	0.650	1.300	0.000	0.000	-1.000
6/7	1 (PP 1)	Faja	0.482 KN/m	-	1.300	4.000	0.000	0.000	-1.000



Pórtico Viga Void 35 Metros De Luz

6/7	1 (PP 1)	Trapez.	0.624 KN/m	0.712 KN/m	4.000	5.000	0.000	0.000	-1.000
6/7	1 (PP 1)	Trapez.	0.712 KN/m	0.801 KN/m	5.000	6.000	0.000	0.000	-1.000
6/7	1 (PP 1)	Uniforme	1.020 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
3/4	1 (PP 1)	Faja	0.556 KN/m	-	0.000	1.931	0.000	0.000	-1.000
3/4	1 (PP 1)	Faja	0.482 KN/m	-	1.931	13.646	0.000	0.000	-1.000
3/4	1 (PP 1)	Faja	0.556 KN/m	-	13.646	15.083	0.000	0.000	-1.000
3/4	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
5/4	1 (PP 1)	Faja	0.556 KN/m	-	0.000	1.931	0.000	0.000	-1.000
5/4	1 (PP 1)	Faja	0.482 KN/m	-	1.931	13.646	0.000	0.000	-1.000
5/4	1 (PP 1)	Faja	0.556 KN/m	-	13.646	15.083	0.000	0.000	-1.000
5/4	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000

2.7.- Desplazamientos

Nudos	Descripción	DESPLAZAMIENTOS (EJES GENERALES)					
		DX (m)	DY (m)	DZ (m)	GX (rad)	GY (rad)	GZ (rad)
1	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	-0.0180	0.0001	-0.0042	0.0000	0.0000
		0.0000	-0.0180	0.0001	-0.0042	0.0000	0.0000
3	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	-0.0159	-0.0217	-0.0126	0.0000	0.0000
		0.0000	-0.0159	-0.0217	-0.0126	0.0000	0.0000
4	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0037	-0.2193	0.0003	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0037	-0.2193	0.0003	0.0000	0.0000
5	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0236	-0.0192	0.0117	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0236	-0.0192	0.0117	0.0000	0.0000
6	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
7	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0254	0.0000	0.0030	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0254	0.0000	0.0030	0.0000	0.0000

El desplazamiento vertical que se produce en la cumbrera es de 21,93cm, como podemos apreciar en la tabla.

2.8.- Reacciones

Nudos	Descripción	REACCIONES (EJES GENERALES)					
		RX (KN)	RY (KN)	RZ (KN)	MX (KN·m)	MY (KN·m)	MZ (KN·m)
1	Envolvente (Cim.equil.)	0.0000	83.7332	75.7994	-330.4376	0.0000	0.0000
		0.0000	125.5997	113.6991	-220.2918	0.0000	0.0000
1	Envolvente (Cim.tens.terr.)	0.0000	83.7332	75.7994	-220.2918	0.0000	0.0000
		0.0000	83.7332	75.7994	-220.2918	0.0000	0.0000
6	Envolvente (Cim.equil.)	0.0000	-155.8397	76.5229	268.1106	0.0000	0.0000
		0.0000	-103.8932	114.7843	402.1659	0.0000	0.0000
6	Envolvente (Cim.tens.terr.)	0.0000	-103.8932	76.5229	268.1106	0.0000	0.0000
		0.0000	-103.8932	76.5229	268.1106	0.0000	0.0000



2.9.-Tensiones

Barras	TENSION MÁXIMA								
	TENS. ()	APROV. (%)	Pos. (m)	N (KN)	Vy (KN)	Vz (KN)	Mt (KN·m)	My (KN·m)	Mz (KN·m)
2/3	0.9503	95.03	0.000	-141.4594	0.0000	-83.0541	0.0000	-437.3270	0.0000
7/5	0.9874	98.74	0.000	-141.5616	0.0000	-84.0255	0.0000	-454.4197	0.0000
1/2	0.8928	89.28	5.500	-105.6118	0.0000	-124.2703	0.0000	359.5789	0.0000
6/7	0.9338	93.38	5.400	-106.8333	0.0000	126.6066	0.0000	-363.3055	0.0000
3/4	0.9086	90.86	1.931	-138.8081	0.0000	-57.9420	0.0000	-124.3333	0.0000
5/4	0.9607	96.07	1.931	-138.9101	0.0000	-58.9133	0.0000	-137.1081	0.0000

La descripción de las tensiones para este pórtico se reduce a la descripción del pilar y viga derecha del mismo, ya que en estas zonas es donde se producen las mayores tensiones. Vamos a empezar comentando el pilar: como ya sabemos, dicho pilar está formado por IPE 330mm reforzado con cartela inferior de 1,30 metros de longitud y cartela superior de 2,00 metros de longitud. Las tensiones en el pilar están distribuidas de manera que quedan tres zonas bien diferenciadas. En la primera zona junto al suelo las tensiones son bastante altas y por eso el hecho de colocar cartelas para que el perfil sea capaz de aguantar dicha tensión quedando éste aprovechado en un 92%. La zona intermedia tiene una longitud aproximada de 1,80 metros, en la cual el aprovechamiento medio del perfil es del 48,30%. Por último, en el pilar tenemos una zona junto a la viga en la que el aprovechamiento vuelve a ser bastante alto, alcanzando éste el 93,40%. Como podemos apreciar en el diagrama de tensiones, en esta zona la distribución de tensiones es bastante uniforme cubriendo una zona muy amplia, debido a esto se ha elegido la cartela correspondiente, la cual se ha descrito anteriormente.

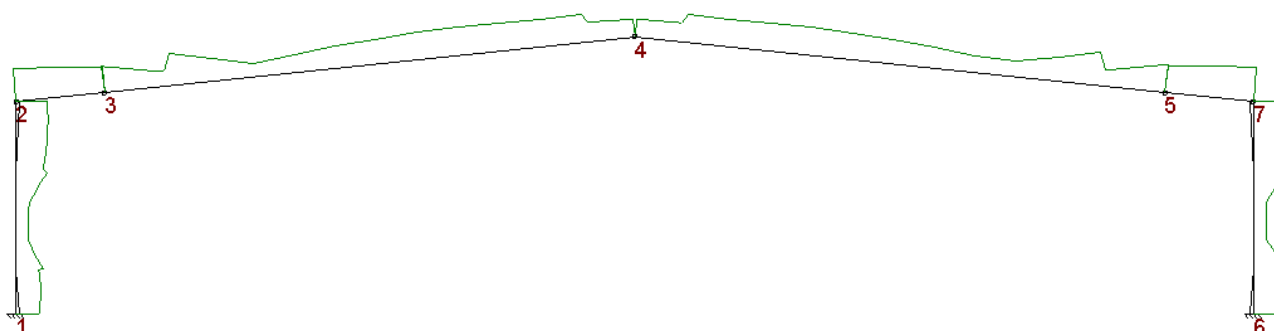


Diagrama de tensiones del pórtico.

En cuanto a la viga, podemos apreciar como el reparto de tensiones es bastante uniforme a lo largo de la misma. En este tipo de pórticos me he visto obligado a colocar un pequeño tramo de perfil de sección variable (5/7), debido a que el IPE tipo Void utilizado como viga no era capaz de aguantar la tensión en esta zona ni aún rellenando los huecos hexagonales de dicho perfil, tenía

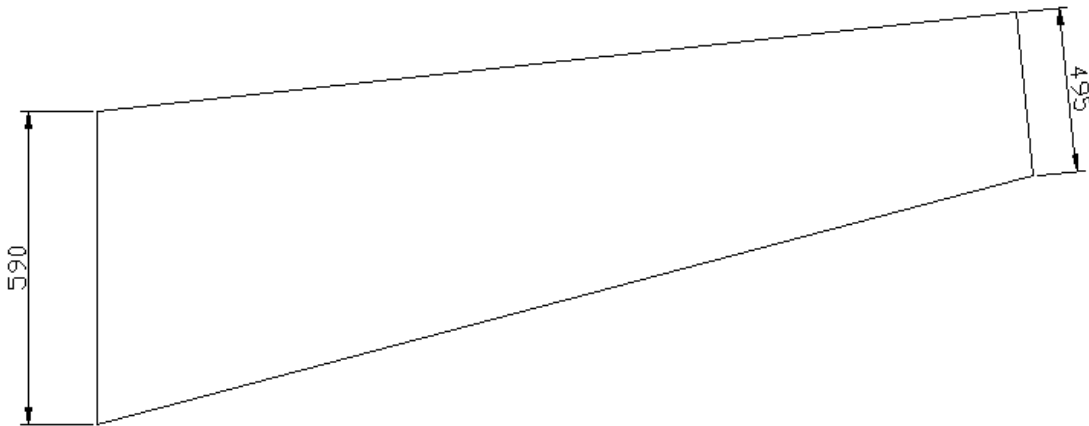


que aumentar el perfil y ya no sería una solución viable económicamente. Dicho tramo (5/7) está aprovechado de manera uniforme en un 98,70%, lo cual es una cifra bastante buena. La continuación de esta viga se ha realizado como ya sabemos con IPE 330 Void al cual se le ha rellenado tres huecos en la cumbrera y cuatro junto al tramo de sección variable para que la sección utilizada no fallara por cuestiones de tensión, debido a esto se produce el salto que podemos ver en el diagrama de tensiones. El aprovechamiento máximo de dicho tramo (4/5) es del 96,10%. La viga también tiene una zona intermedia en la que el aprovechamiento del perfil disminuye, pero si comparamos con las luces estudiadas anteriormente, vemos como este aprovechamiento ha aumentado considerablemente. En la última zona junto a la cumbrera, el aprovechamiento del perfil disminuye un poco respecto a la primera zona antes comentada, estando ésta en 78,90%.

3. Cálculo de rigidizadores

Según el CTE no es necesario colocar rigidizadores en perfiles laminados ya que éstos vienen diseñados de manera que no se produce abolladura del alma. En este caso, dado que hemos utilizado un pequeño tramo de Sección Variable, hay que hacer las comprobaciones que nos dice el CTE y ver si es necesario colocar rigidizadores del alma para corregir la abolladura del alma.

La pieza a comprobar es la que vemos a continuación:



1ª Comprobación sin rigidizadores:

$$\frac{d}{t} < 70 \times \varepsilon \quad \text{siendo } d \text{ y } t \text{ dimensiones del alma (altura y espesor)}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}} \quad \text{con } f_{ref} = 235 \text{ N/mm}^2 \quad \text{y con } f_y = 275 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{590}{9} < 70 \times 0,9244$$

$$65,55 < 64,708 \quad \text{No cumple.}$$

Vamos a diseñarlo de manera que se cumpla que $a \geq d$

donde a = separación entre rigidizadores

$$\frac{L}{d} = \frac{2,51}{0,590} = 4,254 \quad R = 5$$

$$a = \frac{L}{R - 1} = \frac{2,51}{4} = 0,6275$$

$$a \geq d \quad ; \quad 0,6275 \geq 0,59$$



2ª Comprobación con Rigidizadores:

$$\frac{d}{t} < 30 \times \varepsilon \times \sqrt{K_t}$$

Según CTE para $a \geq d$:

$$K_t = 5,34 + \frac{4}{\left(\frac{a}{d}\right)^2} \quad ; \quad K_t = 5,34 + \frac{4}{\left(\frac{0,6275}{0,59}\right)^2} = 8,876$$

Los cálculos de la segunda comprobación son:

$$\frac{590}{9} < 30 \times 0,9244 \times \sqrt{8,876}$$

$$65,55 < 82,62 \quad \text{OK}$$

Hay que colocar 5 rigidizadores separados 627,5 mm.

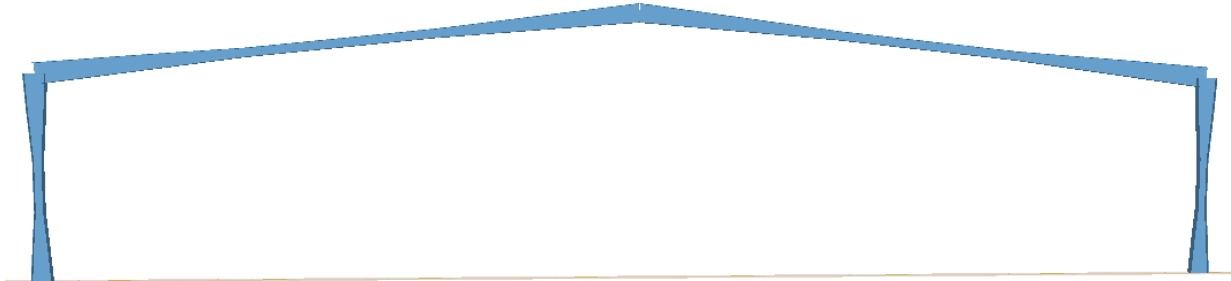


PÓRTICO DE SECCIÓN VARIABLE



PÓRTICO SECCIÓN VARIABLE 35 METROS DE LUZ

1. Descripción general del pórtico:



Interpretación real del pórtico

El pórtico que vamos a describir a continuación tiene 35 metros de luz y está formado en su totalidad por perfiles de sección variable. Con este tipo de diseño lo que intentamos conseguir es minimizar la cantidad de acero a utilizar en el pórtico para así poder reducir los costes del mismo, disminuyendo o aumentando el canto y espesor del perfil según nos vaya haciendo falta realmente.

Para el diseño del pórtico hemos creado 19 nudos, de los cuales dos son empotramientos y los demás nudos rígidos, por tanto tenemos dieciocho barras. El espesor utilizado en los perfiles es el siguiente: el alma tiene un espesor de 9mm. y las alas de 12mm.

El pilar lo he dividido en cinco partes, teniendo así cinco barras diferentes, el fin de tal división es conseguir un mayor aprovechamiento de los perfiles. La primera barra (1-2), tiene una longitud de 1,00 metros con un canto inicial de 575mm y final de 430mm. A continuación la barra (2-3) tiene un canto inicial de 430mm y final de 260mm, con una longitud de 1,00 metro. La tercera barra (3-4) es de sección constante debido a que en esta zona las tensiones sobre el perfil son pequeñas y se mantienen a lo largo de esta barra, el canto de dicha barra es de 260mm y la longitud de la misma es de 1,50 metros. La barra (4-5), vuelve a ser de sección variable con una longitud de 1,50 metros, teniendo un canto inicial de 260mm y final de 500mm. Por último, la barra (5-6) tiene una longitud de 1,00 metros, con un canto inicial de 500 mm y final de 620mm.

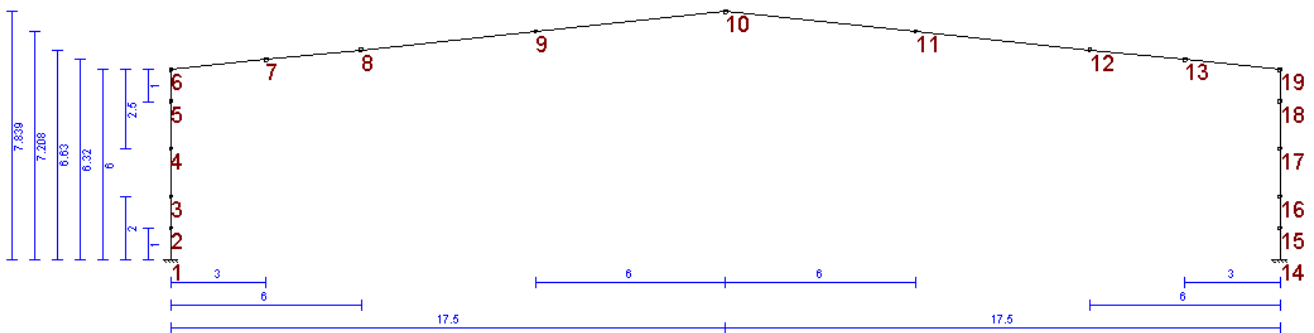
En la viga tenemos cuatro barras diferentes, continuando con la última del pilar, seguimos con la primera de la viga (6-7), la cual tiene una longitud de 3,02 metros con un canto inicial igual al del pilar de 620mm y final de 450mm. A continuación la barra (7-8) tiene una longitud de 3,02 metros, con un canto inicial de 450mm y final de 260mm. La tercera barra (8-9) al igual que ocurre en el pilar, es de sección constante pero en este caso tiene 260mm de canto y una



longitud de 5,53 metros. Por último la cuarta barra (9-10) tiene una longitud de 6,03 metros, el canto inicial es de 260mm y el final 550mm.

Para este caso es necesario el uso de rigidizadores en las barras (5-6), (6-7) y sus simétricas ya que los cantos utilizados son muy grandes. El cálculo de los rigidizadores se detalla al final de este pórtico.

A continuación mostramos un esquema del pórtico donde se detallan los nudos y las cotas del mismo.



Esquema de nudos, cotas y tipo de perfil.

2. Descripción de valores aportados por Cype

Ahora se detallan los datos que nos aporta el programa en forma de tablas en las cuales podemos apreciar nudos, cargas, tensiones, pesos, cotas, etc., que describiremos a continuación:

2.1 - Nudos

Nudos	Coordenadas (m)			Vínculos
	X	Y	Z	
1	0.000	0.000	0.000	Empotrado
2	0.000	0.000	1.000	Empotrado
3	0.000	0.000	2.000	Empotrado
4	0.000	0.000	3.500	Empotrado
5	0.000	0.000	5.000	Empotrado
6	0.000	0.000	6.000	Empotrado
7	0.000	3.000	6.320	Empotrado
8	0.000	6.000	6.630	Empotrado
9	0.000	11.500	7.208	Empotrado
10	0.000	17.500	7.839	Empotrado
11	0.000	23.500	7.208	Empotrado
12	0.000	29.000	6.630	Empotrado
13	0.000	32.000	6.320	Empotrado
14	0.000	35.000	0.000	Empotrado



Pórtico Sección Variable 35 Metros De Luz

15	0.000	35.000	1.000	Empotrado
16	0.000	35.000	2.000	Empotrado
17	0.000	35.000	3.500	Empotrado
18	0.000	35.000	5.000	Empotrado
19	0.000	35.000	6.000	Empotrado

2.2 - Barras: Características Mecánicas

Descripción	Inerc.Tor. cm ⁴	Inerc.y cm ⁴	Inerc.z cm ⁴	Sección cm ²
Acero, Sección Variable, Perfil simple + Separación 236/236 mm	24.167	6894.811	820.634	59.640
Acero, Sección Variable, Perfil simple + Separación 406/236 mm	26.232	13130.664	821.150	67.290
Acero, Sección Variable, Perfil simple + Separación 426/236 mm	26.475	14018.764	821.211	68.190
Acero, Sección Variable, Perfil simple + Separación 236/476 mm	27.083	16389.163	821.363	70.440
Acero, Sección Variable, Perfil simple + Separación 236/526 mm	27.690	18979.688	821.515	72.690
Acero, Sección Variable, Perfil simple + Separación 551/406 mm	30.060	31318.155	822.107	81.465
Acero, Sección Variable, Perfil simple + Separación 596/426 mm	30.849	36270.854	822.304	84.390
Acero, Sección Variable, Perfil simple + Separación 476/596 mm	31.457	40383.091	822.456	86.640

2.3.- Barras: Materiales Utilizados

Material	Mód.elást. (GPa)	Mód.el.trans. (GPa)	Lím.elás.\Fck (MPa)	Co.dilat. (m/m°C)	Peso espec. (KN/m ³)
Acero (S275)	206.01	79.23	275.00	1.2e-005	77.01

2.4.- Barras: Descripción

Barras	Material	Perfil	Peso (Kp)	Volumen (m ³)	Longitud (m)
1/2	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 551/406 mm	63.97	0.008	1.00
2/3	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 406/236 mm	52.84	0.007	1.00
3/4	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 236/236 mm	70.23	0.009	1.50
4/5	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 236/476 mm	82.92	0.011	1.50
5/6	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 476/596 mm	67.99	0.009	1.00
6/7	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 596/426 mm	199.92	0.025	3.02
7/8	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 426/236 mm	161.48	0.021	3.02
8/9	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 236/236 mm	258.91	0.033	5.53
9/10	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 236/526 mm	344.17	0.044	6.03
11/10	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 236/526 mm	344.17	0.044	6.03
12/11	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 236/236 mm	258.91	0.033	5.53
13/12	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 426/236 mm	161.48	0.021	3.02
19/13	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 596/426 mm	199.92	0.025	3.02
14/15	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 551/406 mm	63.97	0.008	1.00
15/16	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 406/236 mm	52.84	0.007	1.00
16/17	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 236/236 mm	70.23	0.009	1.50
17/18	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 236/476 mm	82.92	0.011	1.50
18/19	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 476/596 mm	67.99	0.009	1.00



2.5.- Barras: Resumen Medición (Acero)

Descripción			Peso (Kp)			Longitud (m)		
			Perfil	Serie	Acero	Perfil	Serie	Acero
Acero (S275)	Sección	Sección Variable, Perfil	2604.86	2604.86	2604.86	47.20	47.20	47.20
					2604.86			47.20

El peso total del pórtico como podemos apreciar en la tabla es de 2604,86 Kg., es muy similar al pórtico Void y bastante inferior al de IPE, como veremos más adelante.

2.6.- Cargas (Barras)

Barras	Hipót.	Tipo	Cargas				Dirección		
			P1	P2	L1 (m)	L2 (m)	X	Y	Z
9/10	1 (PP 1)	Trapez.	0.459 KN/m	0.660 KN/m	0.000	6.033	0.000	0.000	-1.000
9/10	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
11/10	1 (PP 1)	Trapez.	0.459 KN/m	0.660 KN/m	0.000	6.033	0.000	0.000	-1.000
11/10	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
8/9	1 (PP 1)	Uniforme	0.459 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
8/9	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
12/11	1 (PP 1)	Uniforme	0.459 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
12/11	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
7/8	1 (PP 1)	Trapez.	0.591 KN/m	0.459 KN/m	0.000	3.016	0.000	0.000	-1.000
7/8	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
13/12	1 (PP 1)	Trapez.	0.591 KN/m	0.459 KN/m	0.000	3.016	0.000	0.000	-1.000
13/12	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
6/7	1 (PP 1)	Trapez.	0.709 KN/m	0.591 KN/m	0.000	3.017	0.000	0.000	-1.000
6/7	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
19/13	1 (PP 1)	Trapez.	0.709 KN/m	0.591 KN/m	0.000	3.017	0.000	0.000	-1.000
19/13	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
5/6	1 (PP 1)	Trapez.	0.626 KN/m	0.709 KN/m	0.000	1.000	0.000	0.000	-1.000
5/6	1 (PP 1)	Uniforme	2.340 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
14/15	1 (PP 1)	Trapez.	0.678 KN/m	0.577 KN/m	0.000	1.000	0.000	0.000	-1.000
14/15	1 (PP 1)	Uniforme	1.020 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
4/5	1 (PP 1)	Trapez.	0.459 KN/m	0.626 KN/m	0.000	1.500	0.000	0.000	-1.000
4/5	1 (PP 1)	Uniforme	2.340 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
15/16	1 (PP 1)	Trapez.	0.577 KN/m	0.459 KN/m	0.000	1.000	0.000	0.000	-1.000
15/16	1 (PP 1)	Uniforme	1.020 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
3/4	1 (PP 1)	Uniforme	0.459 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
3/4	1 (PP 1)	Uniforme	2.340 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
16/17	1 (PP 1)	Uniforme	0.459 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
16/17	1 (PP 1)	Uniforme	1.020 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
2/3	1 (PP 1)	Trapez.	0.577 KN/m	0.459 KN/m	0.000	1.000	0.000	0.000	-1.000
2/3	1 (PP 1)	Uniforme	2.340 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
17/18	1 (PP 1)	Trapez.	0.459 KN/m	0.626 KN/m	0.000	1.500	0.000	0.000	-1.000
17/18	1 (PP 1)	Uniforme	1.020 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
1/2	1 (PP 1)	Trapez.	0.678 KN/m	0.577 KN/m	0.000	1.000	0.000	0.000	-1.000



Pórtico Sección Variable 35 Metros De Luz

1/2	1 (PP 1)	Uniforme	2.340 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
18/19	1 (PP 1)	Trapez.	0.626 KN/m	0.709 KN/m	0.000	1.000	0.000	0.000	-1.000
18/19	1 (PP 1)	Uniforme	1.020 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000

2.7.- Desplazamientos

Nudos	Descripción	DESPLAZAMIENTOS (EJES GENERALES)					
		DX (m)	DY (m)	DZ (m)	GX (rad)	GY (rad)	GZ (rad)
1	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	-0.0019	0.0000	0.0032	0.0000	0.0000
		0.0000	-0.0019	0.0000	0.0032	0.0000	0.0000
3	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	-0.0075	-0.0001	0.0073	0.0000	0.0000
		0.0000	-0.0075	-0.0001	0.0073	0.0000	0.0000
4	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	-0.0205	-0.0002	0.0061	0.0000	0.0000
		0.0000	-0.0205	-0.0002	0.0061	0.0000	0.0000
5	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	-0.0246	-0.0003	-0.0011	0.0000	0.0000
		0.0000	-0.0246	-0.0003	-0.0011	0.0000	0.0000
6	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	-0.0221	-0.0003	-0.0046	0.0000	0.0000
		0.0000	-0.0221	-0.0003	-0.0046	0.0000	0.0000
7	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	-0.0191	-0.0302	-0.0150	0.0000	0.0000
		0.0000	-0.0191	-0.0302	-0.0150	0.0000	0.0000
8	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	-0.0128	-0.0932	-0.0266	0.0000	0.0000
		0.0000	-0.0128	-0.0932	-0.0266	0.0000	0.0000
9	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0019	-0.2382	-0.0169	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0019	-0.2382	-0.0169	0.0000	0.0000
10	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0052	-0.2737	0.0008	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0052	-0.2737	0.0008	0.0000	0.0000
11	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0094	-0.2297	0.0180	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0094	-0.2297	0.0180	0.0000	0.0000
12	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0242	-0.0835	0.0257	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0242	-0.0835	0.0257	0.0000	0.0000
13	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0301	-0.0245	0.0133	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0301	-0.0245	0.0133	0.0000	0.0000
14	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
15	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0022	0.0000	-0.0038	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0022	0.0000	-0.0038	0.0000	0.0000
16	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0090	-0.0001	-0.0088	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0090	-0.0001	-0.0088	0.0000	0.0000
17	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0253	-0.0002	-0.0085	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0253	-0.0002	-0.0085	0.0000	0.0000
18	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0329	-0.0003	-0.0011	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0329	-0.0003	-0.0011	0.0000	0.0000
19	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0325	-0.0003	0.0025	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0325	-0.0003	0.0025	0.0000	0.0000

El desplazamiento vertical que se produce debido a la flexión en el nudo 10 (cubrerera) es de 27,37 cm. Éste valor es muy importante tenerlo en cuenta a la hora del diseño del pórtico, porque este desplazamiento no puede ser excesivo.



2.8.- Reacciones

Nudos	Descripción	REACCIONES (EJES GENERALES)					
		RX (KN)	RY (KN)	RZ (KN)	MX (KN·m)	MY (KN·m)	MZ (KN·m)
1	Envolvente (Cim.equil.)	0.0000	92.6615	75.8348	-379.6495	0.0000	0.0000
		0.0000	138.9923	113.7523	-253.0997	0.0000	0.0000
1	Envolvente (Cim.tens.terr.)	0.0000	92.6615	75.8348	-253.0997	0.0000	0.0000
		0.0000	92.6615	75.8348	-253.0997	0.0000	0.0000
14	Envolvente (Cim.equil.)	0.0000	-169.2323	76.4128	303.4658	0.0000	0.0000
		0.0000	-112.8215	114.6192	455.1987	0.0000	0.0000
14	Envolvente (Cim.tens.terr.)	0.0000	-112.8215	76.4128	303.4658	0.0000	0.0000
		0.0000	-112.8215	76.4128	303.4658	0.0000	0.0000

2.9.-Tensiones

Barras	TENSION MÁXIMA								
	TENS. ()	APROV. (%)	Pos. (m)	N (KN)	Vy (KN)	Vz (KN)	Mt (KN·m)	My (KN·m)	Mz (KN·m)
9/10	0.7439	74.39	0.000	-146.7597	0.0000	-18.2403	0.0000	111.8588	0.0000
11/10	0.7128	71.28	0.000	-146.8413	0.0000	-19.0163	0.0000	107.1775	0.0000
8/9	0.7439	74.39	5.530	-146.7583	0.0000	-18.2513	0.0000	111.8588	0.0000
12/11	0.7128	71.28	5.530	-146.8399	0.0000	-19.0273	0.0000	107.1775	0.0000
7/8	0.7819	78.19	0.000	-151.5678	0.0000	-65.3588	0.0000	-244.2112	0.0000
13/12	0.8181	81.81	0.000	-151.6480	0.0000	-66.1349	0.0000	-255.5243	0.0000
6/7	0.9473	94.73	0.000	-153.6184	0.0000	-82.0707	0.0000	-465.7357	0.0000
19/13	0.9751	97.51	0.000	-153.7012	0.0000	-82.8466	0.0000	-479.3895	0.0000
5/6	0.9473	94.73	1.000	-97.9013	0.0000	-144.0470	0.0000	465.7357	0.0000
14/15	0.9289	92.89	0.000	-103.1573	0.0000	152.3090	0.0000	409.6788	0.0000
4/5	0.8950	89.50	1.275	-98.9883	0.0000	-140.1773	0.0000	291.6483	0.0000
15/16	0.8797	87.97	0.000	-102.3103	0.0000	150.9320	0.0000	258.0582	0.0000
3/4	0.7680	76.80	1.500	-99.9005	0.0000	-136.1495	0.0000	115.4900	0.0000
16/17	0.7646	76.46	1.500	-100.6807	0.0000	147.4896	0.0000	-114.9687	0.0000
2/3	0.7329	73.29	0.000	-101.5301	0.0000	-128.2521	0.0000	-215.0120	0.0000
17/18	0.9265	92.65	1.350	-99.7073	0.0000	145.6306	0.0000	-312.8248	0.0000
1/2	0.7748	77.48	0.000	-102.3770	0.0000	-125.0930	0.0000	-341.6846	0.0000
18/19	0.9751	97.51	1.000	-98.6816	0.0000	144.0470	0.0000	-479.3895	0.0000

La descripción de las tensiones para este pórtico se reduce a la descripción del pilar y viga derecha del mismo, ya que en estos es donde se produce las mayores tensiones. Vamos a empezar comentando el pilar: si echamos un vistazo al diagrama de tensiones podemos ver como el reparto de tensiones en el pilar es uniforme a lo largo del mismo exceptuando la zona intermedia, pero siendo esta última un tramo muy corto de tan solo 1,30 metro del longitud. El valor de aprovechamiento de los perfiles es el siguiente: el que se encuentra junto al suelo (14-15) tiene un aprovechamiento del 92,90%, totalmente uniforme y constante en dicha barra. La barra (15-16) al igual que la anterior tiene un aprovechamiento uniforme y constante con un valor del 88%. En la barra intermedia (16-17) el aprovechamiento medio es del 48,50% pero



Pórtico Sección Variable 35 Metros De Luz

como hemos dicho anteriormente es una barra muy corta. La barra (17-18) tiene un aprovechamiento del 92,70% uniforme en toda la barra. Por último, la barra que se encuentra junto a la viga (18-19) tiene un aprovechamiento del 97,50%, siendo este valor uniforme y constante en toda la barra.

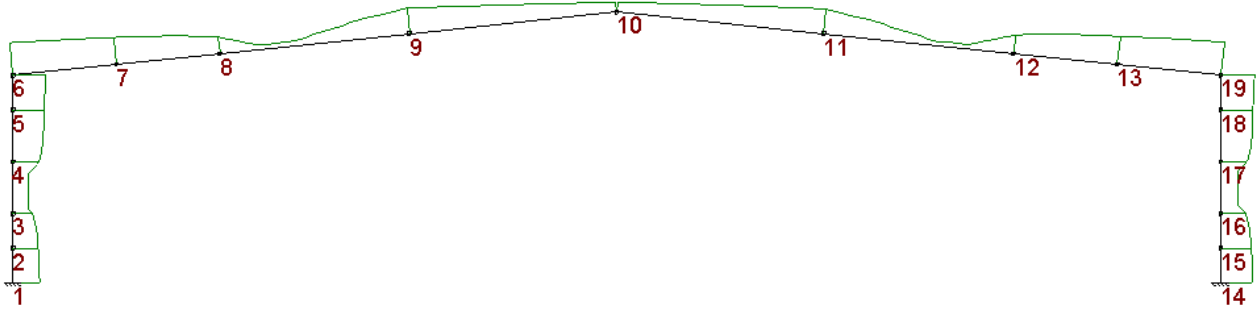


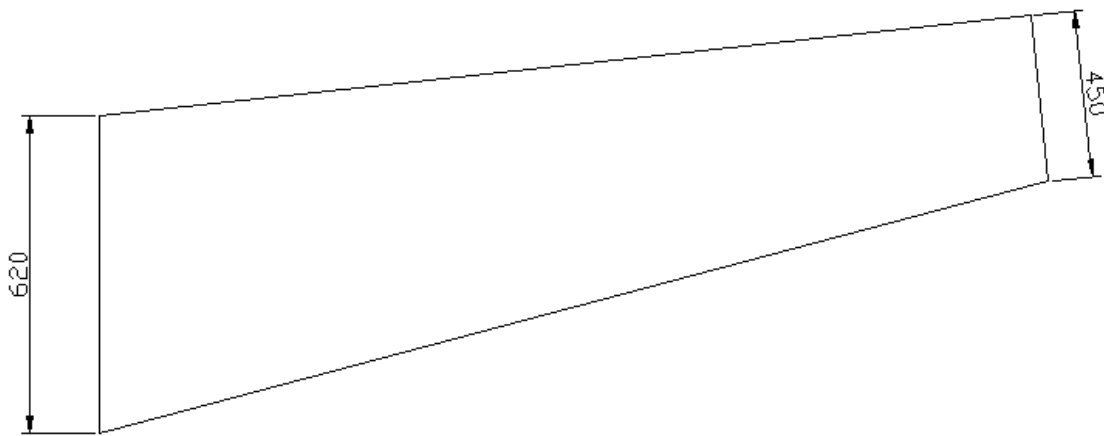
Diagrama de tensiones del pórtico.

La viga como ya sabemos consta de cuatro tramos. El tramo (13-19) está aprovechado al 97,50% aunque disminuye dicho aprovechamiento conforme nos acercamos a la barra (12-13), la cual tiene un aprovechamiento del 81,80%. En la barra intermedia (11-12) existe una variación en el aprovechamiento del perfil, oscilando entre un 71,30% de máximo y el 12,60% de mínimo. Por último en la barra (10-11), como podemos apreciar en el diagrama de tensiones, el nudo 11 tiene un aprovechamiento del perfil de 71,30% y que dicho aprovechamiento va disminuyendo conforme nos acercamos a la cumbrera, siendo éste de 29,30%. Ésta disminución de aprovechamiento a lo largo del perfil se produce porque conforme nos acercamos a la cumbrera, el canto del perfil utilizado va siendo mayor. Es verdad que podríamos haber disminuido dicho canto para poder aprovecharlo mejor, pero si lo hubiéramos hecho el desplazamiento vertical que se produce en el nudo 10 sería demasiado grande y no lo podríamos permitir.

3. Cálculo de rigidizadores

Según el CTE no es necesario colocar rigidizadores en perfiles laminados ya que éstos vienen diseñados de manera que no se produce abolladura del alma. En este caso, dado que todos los perfiles son de sección variable habría que comprobarlos todos, pero después de haber realizado una primera valoración, en este caso solo hay que colocar rigidizadores en la barra (13-19) perteneciente a la viga y (18-19) del pilar.

La pieza ha comprobar de la viga, (13-19), es la que vemos a continuación:



1ª Comprobación sin rigidizadores:

$$\frac{d}{t} < 70 \times \varepsilon \quad \text{siendo } d \text{ y } t \text{ dimensiones del alma (altura y espesor)}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}} \quad \text{con } f_{ref} = 235 \text{ N/mm}^2 \quad \text{y con } f_y = 275 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{620}{9} < 70 \times 0,9244$$

68,88 < 64,708 No cumple.

Vamos a diseñarlo de manera que se cumpla que $a \geq d$

donde a = separación entre rigidizadores

$$\frac{L}{d} = \frac{3,02}{0,620} = 4,87 \quad R = 5$$

$$a = \frac{L}{R - 1} = \frac{3,02}{4} = 0,755$$

$$a \geq d \quad ; \quad 0,755 \geq 0,62$$



2ª Comprobación con Rigidizadores:

$$\frac{d}{t} < 30 \times \varepsilon \times \sqrt{K_t}$$

Según CTE para $a \geq d$:

$$K_t = 5,34 + \frac{4}{\left(\frac{a}{d}\right)^2} \quad ; \quad K_t = 5,34 + \frac{4}{\left(\frac{0,755}{0,62}\right)^2} = 8,03$$

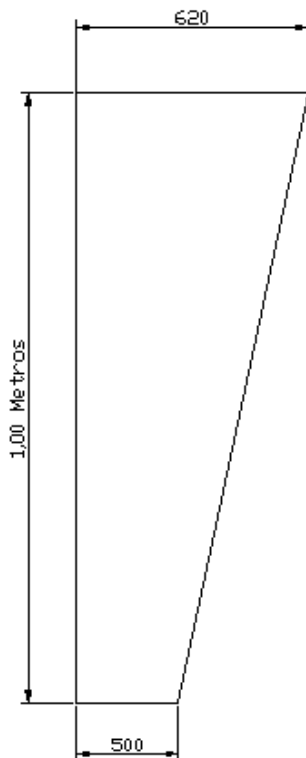
Los cálculos de la segunda comprobación son:

$$\frac{620}{9} < 30 \times 0,9244 \times \sqrt{8,03}$$

$$68,88 < 78,58 \quad \text{OK}$$

Hay que colocar 5 rigidizadores separados 755 mm.

La pieza (18-19), perteneciente al pilar es la siguiente:



1ª Comprobación sin rigidizadores:

$$\frac{d}{t} < 70 \times \varepsilon$$

Siendo d y t dimensiones del alma (altura y espesor)

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}} \quad \text{con} \quad f_{ref} = 235 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{y con} \quad f_y = 275 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{620}{9} < 70 \times 0,9244$$

$$68,88 < 64,708 \quad \text{No cumple.}$$

Vamos a diseñarlo de manera que se cumpla que
 $a \geq d$

donde a = separación entre rigidizadores

$$\frac{L}{d} = \frac{1}{0,620} = 1,61 \quad R = 2$$



$$a = \frac{L}{R - 1} = \frac{1}{1} = 1$$

$$a \geq d \quad ; \quad 1 \geq 0,62$$

2ª Comprobación con Rigidizadores:

$$\frac{d}{t} < 30 \times \varepsilon \times \sqrt{K_t}$$

Según CTE para $a \geq d$:

$$K_t = 5,34 + \frac{4}{\left(\frac{a}{d}\right)^2} \quad ; \quad K_t = 5,34 + \frac{4}{\left(\frac{1}{0,62}\right)^2} = 6,87$$

Los cálculos de la segunda comprobación son:

$$\frac{620}{9} < 30 \times 0,9244 \times \sqrt{6,87}$$

$$68,88 < 72,72 \quad \text{OK}$$

Hay que colocar 2 rigidizadores separados 1000 mm.



RESUMEN PARA 35 METROS DE LUZ



RESUMEN DEL ESTUDIO REALIZADO PARA 35 METROS

A continuación vamos a hacer una comparación entre los cuatro tipos de diseños descritos anteriormente para 35 metros de luz, eligiendo en base al estudio realizado la solución más aconsejable.

En la tabla que vemos justo debajo aparece a modo de resumen los datos más significativos de cada uno de los pórticos. Estos datos a los que hacemos referencia son: las tensiones o grado de aprovechamiento del perfil, el desplazamiento que se produce en el punto más alto de los pórticos (cubrera) y por último, siendo éste el más importante, el peso total de la estructura. Decimos que es el más importante porque la finalidad de este estudio es conseguir la solución estructural más económica de entre las posibles y esto está relacionado directamente con el peso de la estructura.

(+Peso → +Coste)

Tabla 1. Resumen de los datos más significativos de los diseños estudiados

TIPO DE PÓRTICO	(APROVECHAMIENTO) TENSIONES %		DESPL. VERTICAL CUMBRERA (CM)	PESO PROPIO (KP)
	DINTEL DERECHO	PILAR DERECHO		
IPE 330	93,71%	99,08%	24,83 cm	2873,18
VIGA VOID 330	98,74%	93,38%	21,93 cm	2612,52
SECCIÓN VARIABLE*	97,50%	97,50%	27,37 cm	2604,86
VIGA CELOSÍA*		89,91%	10,20 cm	2031,57

SECCIÓN VARIABLE* Es el único pórtico en el que el pilar no es un IPE, siendo éste de sección variable.

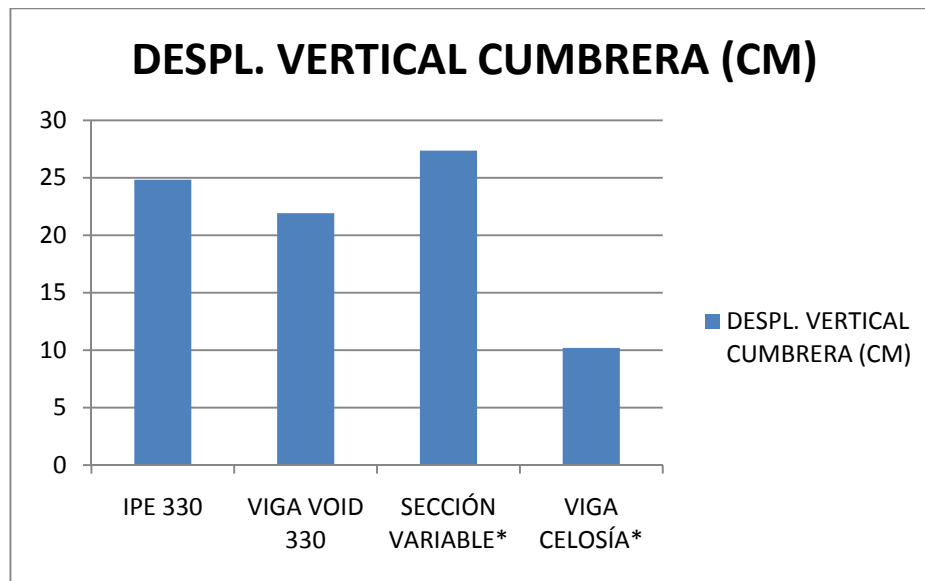
VIGA CELOSÍA* Debido a que la celosía tiene tantas barras, el aprovechamiento de las mismas es muy diverso, no teniendo muy claro el aprovechamiento medio de la misma.

En la tabla podemos ver cómo se van produciendo diferencias sobre todo en desplazamiento en cubrera y el peso total de la estructura.

En cuanto a las tensiones o grado de aprovechamiento del perfil, se ha intentado que en cada uno de los pórticos estos valores sean máximos, por tanto la diferencia entre los mismos es muy pequeña. Atendiendo a la tabla, el tipo de pórtico que tiene un grado de aprovechamiento más alto en general es el diseño Variable.

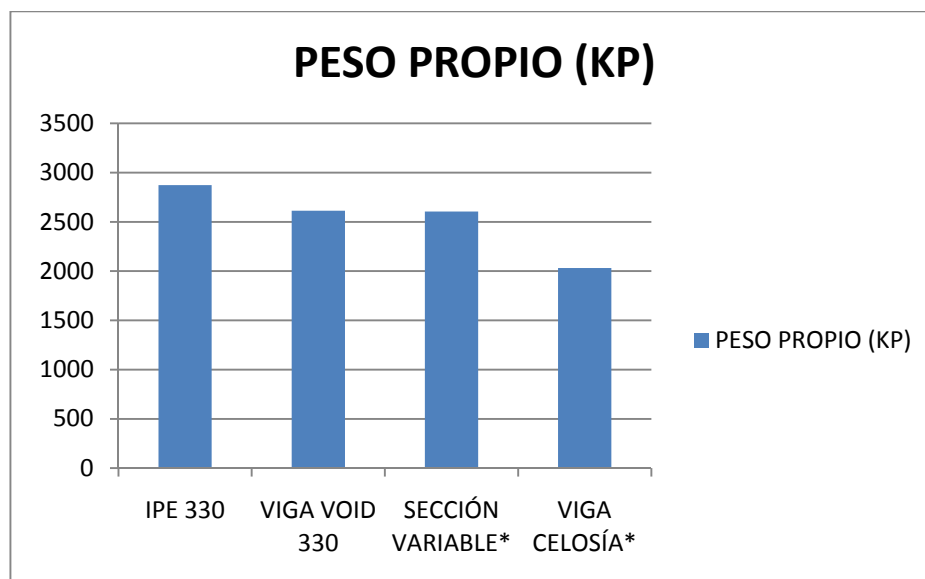


Gráfica 1. Desplazamiento vertical en función del tipo de pórtico



El desplazamiento vertical producido en la cumbre para el pórtico en Celosía es de 10,20 cm, es en el que se produce menos deformación. Los demás pórticos tienen desplazamientos bastante superiores a la Celosía pero son muy parecidos entre ellos, variando solo entre 21cm y 27cm, siendo en el pórtico de sección Variable en el que más desplazamiento se produce, como podemos apreciar en la tabla.

Gráfica 2. Kilos de acero en función del tipo de pórtico



El pórtico IPE como podemos apreciar en la tabla es el más pesado de todos con 2873,18 Kg., justo después está Void y Sección Variable con 2612,52 Kg y 2604,86 Kg respectivamente. Como podemos apreciar la



diferencia que existe entre Variable y Void es de apenas 8 Kg, atendiendo a esto, podemos descartar de inmediato la solución Void ya que, como ya hemos comentado en otra ocasión sus costes de fabricación son muy elevados. A continuación valoraremos las soluciones Variable y IPE, ambas se comportan de manera muy similar, con desplazamientos en cumbrera casi idénticos y valores de tensiones muy parecidos. La diferencia que existe entre ellos es el peso, siendo este de 268,32 Kg y el coste de fabricación de los mismos, siendo muy superior el de sección variable sobre el IPE y más en este caso en el que el de sección Variable lleva incluso rigidizadores. Estos valores nos dan una pista sobre la solución más adecuada, ya que de entre estas dos posibilidades la más económica es el diseño IPE aunque éste sea el más pesado.

Como podemos apreciar en la tabla el pórtico más ligero de todos es el de Celosía con un peso de 2031,57 Kp.

Tras lo comentado anteriormente vemos como la diferencia de peso con respecto al pórtico de Celosía cada vez es mayor. Descartadas ya las opciones de Sección Variable y VOID, nos centramos en los pórticos IPE y Celosía. La diferencia de peso entre ambos es de aproximadamente 841,61 Kg. También es de valorar a la hora de decidirnos por la solución más acertada, los tiempos de fabricación de ambos pórticos. Como ya hemos comentado anteriormente el pórtico IPE es el que menos tiempo de fabricación en taller tiene, ya que se monta casi in situ en la obra. Por el contrario la Celosía tiene unos costes de fabricación muy superiores al IPE, pero en este caso la diferencia de peso entre pórticos contrarresta este valor.

En este caso, y atendiendo a lo descrito anteriormente me voy a inclinar por el diseño Celosía ya que el grado de aprovechamiento de los perfiles es inferior al del IPE y los desplazamientos que se producen en la cumbrera también son menores, quedándonos así por el lado de la seguridad.



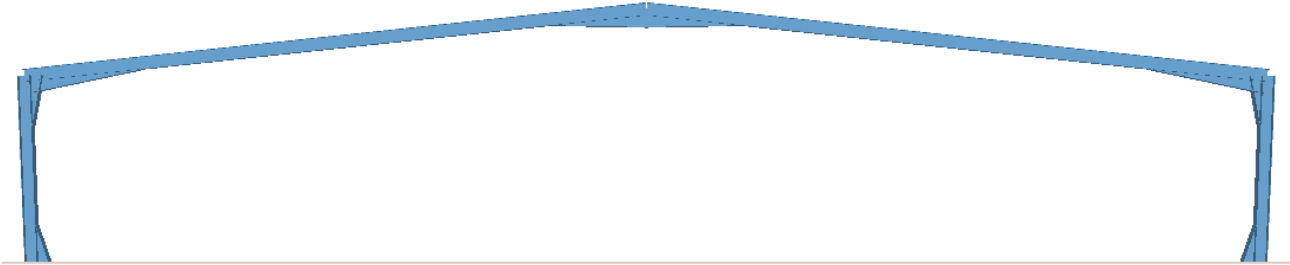
PÓRTICOS PARA 40 METROS DE LUZ



PÓRTICO PERFILES IPE

PÓRTICO IPE 40 METROS DE LUZ

1. Descripción general del pórtico:

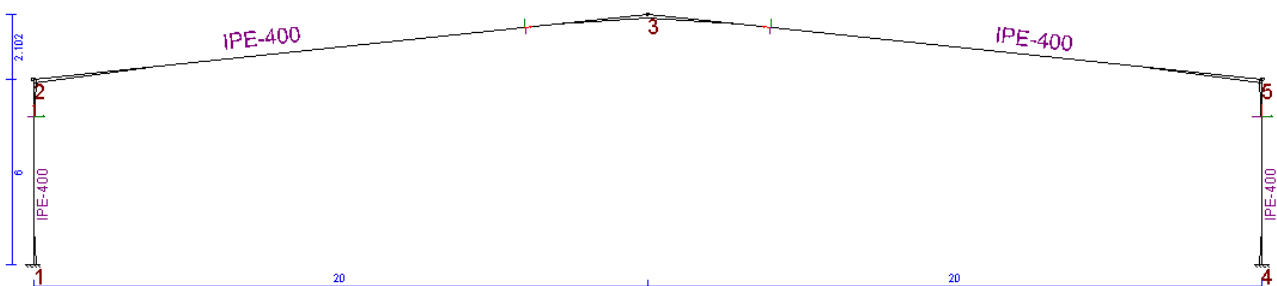


Interpretación real del pórtico

Este pórtico tiene 40 metros de luz y se ha realizado con perfil IPE de 400 milímetros de alma, para poder bajar el perfil lo máximo posible, ha sido necesaria la colocación de refuerzos “cartelas” en todos sus nudos. Estas cartelas se construyen con el mismo perfil utilizado en el pórtico pero cortado a la mitad en ángulo y colocándolas como aparecen en la imagen superior. La longitud de las cartelas superiores e inferiores del pilar son de 1,65 metros y 1,2 metros respectivamente, las cuales son relativamente grandes, pero que ha sido necesario colocar al ser el pilar de dicha sección.

Las vigas que conforman el dintel del pórtico también son IPE de 400 milímetros de alma. Estas vigas también han sido reforzadas en sus nudos con cartelas. La cartela de la cumbrera tiene una longitud de 3,00 metros y la que se encuentra junto al pilar tiene 3,80 metros. El diagrama de tensiones es similar a las luces estudiadas anteriormente, con la salvedad de que las zonas de aprovechamiento son mayores.

En la imagen que podemos apreciar más abajo, aparece a modo de esquema los perfiles utilizados en el pórtico, las cotas y la numeración de los nudos del mismo.



Esquema de nudos, cotas y tipo de perfil.



2. Descripción de valores aportados por Cype

A continuación aparecen unos listados con todos los datos de mediciones, tensiones, peso, reacciones, etc... que nos ha aportado Cype, junto con algunas aclaraciones para su mejor comprensión.

2.1 - Nudos

Nudos	Coordenadas (m)			Vínculos
	X	Y	Z	
1	0.000	0.000	0.000	Empotrado
2	0.000	0.000	6.000	Empotrado
3	0.000	20.000	8.102	Empotrado
4	0.000	40.000	0.000	Empotrado
5	0.000	40.000	6.000	Empotrado

2.2 - Barras: Características Mecánicas

Descripción	Inerc.Tor. cm ⁴	Inerc.y cm ⁴	Inerc.z cm ⁴	Sección cm ²
Acero, IPE-400, Simple con cartelas (IPE)	48.300	23130.000	1320.000	84.500

2.3.- Barras: Materiales Utilizados

Material	Mód.elást. (GPa)	Mód.el.trans. (GPa)	Lím.elás.\Fck (MPa)	Co.dilat. (m/m°C)	Peso espec. (KN/m ³)
Acero (S275)	206.01	79.23	275.00	1.2e-005	77.01

2.4.- Barras: Descripción

Barras	Material	Perfil	Peso (Kp)	Volumen (m ³)	Longitud (m)
1/2	Acero (S275)	IPE-400 (IPE) + carts. sup. 1.200 m y 1.650 m	488.22	0.062	6.00
2/3	Acero (S275)	IPE-400 (IPE) + carts. inf. 3.800 m y 3.000 m	1549.33	0.197	20.11
5/3	Acero (S275)	IPE-400 (IPE) + carts. inf. 3.800 m y 3.000 m	1549.33	0.197	20.11
4/5	Acero (S275)	IPE-400 (IPE) + carts. inf. 1.200 m y 1.650 m	488.22	0.062	6.00

En esta tabla podemos apreciar las longitudes de las cartelas junto con la longitud de los perfiles utilizados y el peso de los mismos.



2.5.- Barras: Resumen Medición (Acero)

Descripción			Peso (Kp)			Longitud (m)		
			Perfil	Serie	Acero	Perfil	Serie	Acero
Acero (S275)	IPE	IPE-400, Simple con c...	4075.10	4075.10		52.22	52.22	
					4075.10			52.22
					4075.10			52.22

El peso total de la estructura como podemos apreciar en la tabla es de 4075,10 kg. Este peso es el más alto de entre todos los diseños estudiados como veremos más adelante.

2.6.- Cargas (Barras)

Barras	Hipót.	Tipo	Cargas				Dirección		
			P1	P2	L1 (m)	L2 (m)	X	Y	Z
2/3	1 (PP 1)	Trapez.	1.085 KN/m	0.961 KN/m	0.000	1.900	0.000	0.000	-1.000
2/3	1 (PP 1)	Trapez.	0.961 KN/m	0.838 KN/m	1.900	3.800	0.000	0.000	-1.000
2/3	1 (PP 1)	Faja	0.651 KN/m	-	3.800	17.110	0.000	0.000	-1.000
2/3	1 (PP 1)	Trapez.	0.838 KN/m	0.961 KN/m	17.110	18.610	0.000	0.000	-1.000
2/3	1 (PP 1)	Trapez.	0.961 KN/m	1.085 KN/m	18.610	20.110	0.000	0.000	-1.000
2/3	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
5/3	1 (PP 1)	Trapez.	1.085 KN/m	0.961 KN/m	0.000	1.900	0.000	0.000	-1.000
5/3	1 (PP 1)	Trapez.	0.961 KN/m	0.838 KN/m	1.900	3.800	0.000	0.000	-1.000
5/3	1 (PP 1)	Faja	0.651 KN/m	-	3.800	17.110	0.000	0.000	-1.000
5/3	1 (PP 1)	Trapez.	0.838 KN/m	0.961 KN/m	17.110	18.610	0.000	0.000	-1.000
5/3	1 (PP 1)	Trapez.	0.961 KN/m	1.085 KN/m	18.610	20.110	0.000	0.000	-1.000
5/3	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Trapez.	1.085 KN/m	0.961 KN/m	0.000	0.600	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Trapez.	0.961 KN/m	0.838 KN/m	0.600	1.200	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Faja	0.651 KN/m	-	1.200	4.350	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Trapez.	0.838 KN/m	0.961 KN/m	4.350	5.175	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Trapez.	0.961 KN/m	1.085 KN/m	5.175	6.000	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Uniforme	2.340 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
4/5	1 (PP 1)	Trapez.	1.085 KN/m	0.961 KN/m	0.000	0.600	0.000	0.000	-1.000
4/5	1 (PP 1)	Trapez.	0.961 KN/m	0.838 KN/m	0.600	1.200	0.000	0.000	-1.000
4/5	1 (PP 1)	Faja	0.651 KN/m	-	1.200	4.350	0.000	0.000	-1.000
4/5	1 (PP 1)	Trapez.	0.838 KN/m	0.961 KN/m	4.350	5.175	0.000	0.000	-1.000
4/5	1 (PP 1)	Trapez.	0.961 KN/m	1.085 KN/m	5.175	6.000	0.000	0.000	-1.000
4/5	1 (PP 1)	Uniforme	1.020 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000



2.7.- Desplazamientos

Nudos	Descripción	DESPLAZAMIENTOS (EJES GENERALES)					
		DX (m)	DY (m)	DZ (m)	GX (rad)	GY (rad)	GZ (rad)
1	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	-0.0214	-0.0001	-0.0018	0.0000	0.0000
		0.0000	-0.0214	-0.0001	-0.0018	0.0000	0.0000
3	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0024	-0.2376	0.0003	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0024	-0.2376	0.0003	0.0000	0.0000
4	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
5	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0263	-0.0001	0.0009	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0263	-0.0001	0.0009	0.0000	0.0000

El desplazamiento que se produce en la cumbrera como podemos ver en la tabla es de 23,76 cm. Este desplazamiento se debe a la flexión que se produce en las vigas.

2.8.- Reacciones

Nudos	Descripción	REACCIONES (EJES GENERALES)					
		RX (KN)	RY (KN)	RZ (KN)	MX (KN·m)	MY (KN·m)	MZ (KN·m)
1	Envolvente (Cim.equil.)	0.0000	129.4355	92.1544	-541.5066	0.0000	0.0000
		0.0000	194.1533	138.2316	-361.0044	0.0000	0.0000
1	Envolvente (Cim.tens.terr.)	0.0000	129.4355	92.1544	-361.0044	0.0000	0.0000
		0.0000	129.4355	92.1544	-361.0044	0.0000	0.0000
4	Envolvente (Cim.equil.)	0.0000	-224.3933	92.6151	412.2708	0.0000	0.0000
		0.0000	-149.5955	138.9226	618.4062	0.0000	0.0000
4	Envolvente (Cim.tens.terr.)	0.0000	-149.5955	92.6151	412.2708	0.0000	0.0000
		0.0000	-149.5955	92.6151	412.2708	0.0000	0.0000



2.9.- Tensiones

Barras	TENSION MÁXIMA								
	TENS. ()	APROV. (%)	Pos. (m)	N (KN)	Vy (KN)	Vz (KN)	Mt (KN·m)	My (KN·m)	Mz (KN·m)
2/3	0.8671	86.71	3.800	-205.0238	0.0000	-66.4839	0.0000	-283.5533	0.0000
5/3	0.8980	89.80	3.800	-205.1109	0.0000	-67.0996	0.0000	-293.6383	0.0000
1/2	0.9076	90.76	4.350	-120.0838	0.0000	-188.4796	0.0000	296.7846	0.0000
4/5	0.9820	98.20	1.200	-100.1151	0.0000	212.9396	0.0000	321.0987	0.0000

El pórtico que nos ocupa consta de cuatro barras, pero realmente a efectos de estudio solo vamos a describir la viga de la derecha y el pilar derecho ya que, según hemos aplicado la hipótesis de carga, son los que están soportando más tensión.

Como podemos apreciar en la tabla el grado de aprovechamiento del pilar y viga derecha es bastante alto 98,20% y 89,80% respectivamente, lo cual nos indica que el diseño utilizado es bastante bueno.

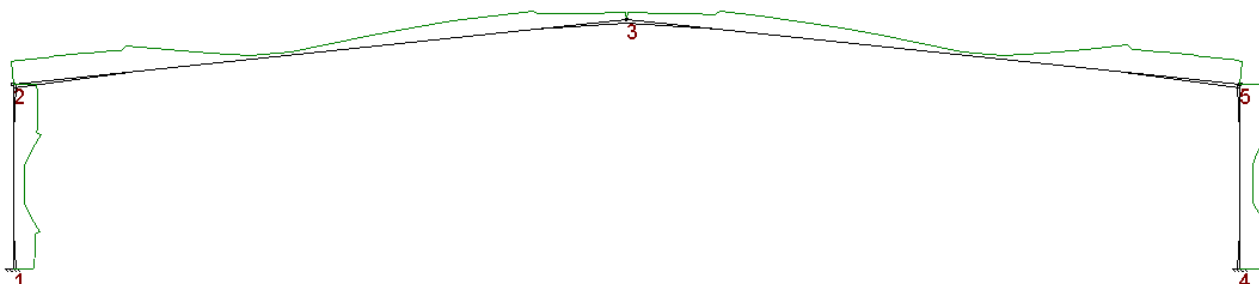


Diagrama de tensiones del pórtico.

Si nos fijamos ahora en el diagrama de tensiones vemos como este alto aprovechamiento de los perfiles se produce en las cercanías de los nudos, habiendo una zona tanto en el pilar como en la viga en la que este aprovechamiento disminuye considerablemente, pero al ser un perfil constante esta zona no se puede aprovechar mejor. Utilizando otros diseños como sección variable o Void veremos que esta zona se disminuye de manera considerable.

A continuación vamos a describir lo que le ocurre al pilar y viga derecho en cuanto al grado de aprovechamiento del perfil.

El pilar tiene tres zonas bien diferenciadas, la primera junto al suelo tiene una longitud de unos 1,5 metros en la que el reparto de tensiones es uniforme y bastante grande, debido a esto se ha colocado la cartela reforzando esta zona, con una longitud de 1,2 metros. El aprovechamiento en esta zona está en torno al 98,20% justo en el punto donde acaba la cartela. En la zona intermedia del pilar de unos 2,7 metros de longitud, el aprovechamiento medio está en torno al



48%, habiendo una pequeña zona donde dicho aprovechamiento es del 39,90%. Por último, en la zona junto a la viga, el aprovechamiento vuelve a subir hasta el 92,70% manteniéndose casi constante en un tramo de 1,80 metros de longitud. Debido al aumento de la tensión hasta tal punto, ha sido necesaria la colocación de la cartela de 1,65 metros de longitud para reforzar esta zona.

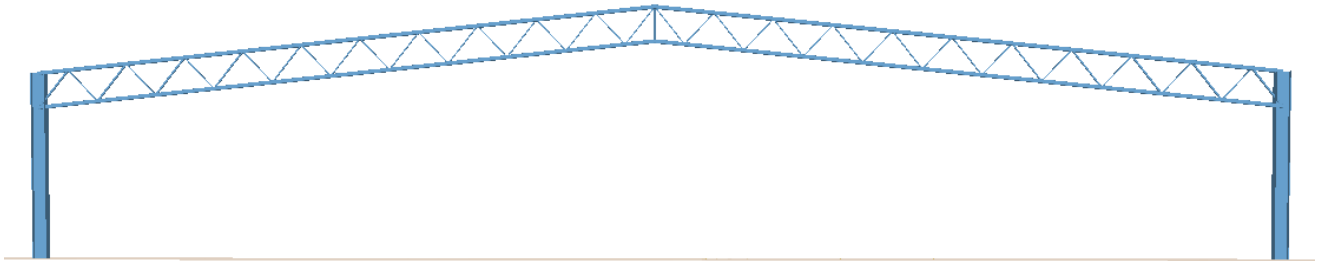
Para la viga, la distribución de tensiones es bastante similar a la del pilar. La primera zona que está pegando a la cumbrera, la tensión es inferior a la que se produce junto al pilar, si atendemos al estudio realizado en las luces anteriores para este diseño vemos que conforme aumenta la luz el aprovechamiento del perfil en la zona de la cumbrera va disminuyendo, siendo el aprovechamiento para esta zona del 58,40%. La cartela colocada en dicha zona tiene una longitud de 3,00 metros, este refuerzo no le hace falta por cuestiones de tensión sino por reforzar una zona bastante delicada, debido a los desplazamientos que se producen en ella. La zona intermedia del perfil comprende unos 10 metros de longitud. En dicha zona la tensión que soporta el perfil es bastante inferior a la del resto del mismo, teniendo una pequeña zona con tan solo el 10,50% de aprovechamiento del perfil. El último tramo junto al pilar, el aprovechamiento como podemos apreciar es más alto y más uniforme a lo largo del perfil, teniendo un valor de 89,80%. Por tanto ha sido necesaria la colocación de una cartela con una longitud de 3,80 metros.



PÓRTICO VIGA DE CELOSÍA

PÓRTICO VIGA DE CELOSÍA 40 METROS DE LUZ

1. Descripción general del pórtico:

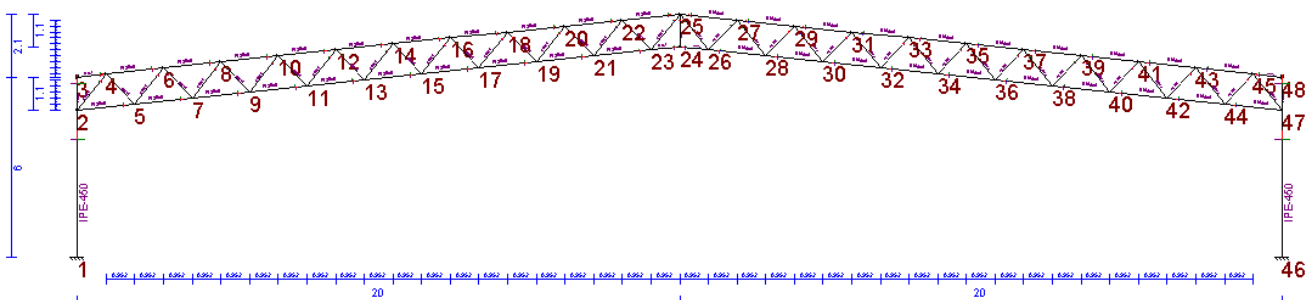


Interpretación real del pórtico

El pórtico que nos ocupa como ya sabemos tiene 40 metros de luz, sus pilares son IPE y la viga es una celosía cuyo diseño es el mismo de las estudiadas anteriormente.

Para los pilares se ha utilizado una sección de IPE 450 mm. En este caso no ha sido necesaria la colocación de cartelas inferiores ya que en el diagrama de tensiones del pilar, se ha equilibrado el aprovechamiento de la zona inferior con la superior del mismo. Esto quiere decir que el aprovechamiento de la parte inferior del perfil es muy similar al de la parte superior y como en la parte superior no colocamos cartelas por cuestiones de diseño en la parte inferior no son necesarias.

La viga como ya hemos comentado se ha solucionado con una celosía, formada en su totalidad por perfiles cuadrados huecos. Dicha celosía está formada por un montante vertical en la cumbrera y cuarenta y dos diagonales, las cuales forman un ángulo con el montante inferior de 46° . La celosía tiene una altura entre montantes de 1,1 m. El montante superior e inferior tiene 120 mm de lado y 5 mm de espesor. Todas las diagonales tienen un espesor de 4mm. Las diagonales (2-4), (5-6) y (7-8) tienen 55 mm de lado, la diagonal (9-10) tiene 50 mm de lado y la diagonal (11-12) tiene un lado de 45mm. El resto de diagonales está formado por perfil cuadrado hueco de 40 mm de lado y 4 mm de espesor.



Esquema de nudos, cotas y tipo de perfil.



En la imagen superior como podemos apreciar aparecen los nudos, cotas y perfiles utilizados, los cuales se describen a continuación:

2. Descripción de valores aportados por Cype

2.1 - Nudos

Nudos	Coordenadas (m)			Vínculos
	X	Y	Z	
1	0.000	0.000	0.000	Empotrado
2	0.000	0.000	4.900	Articulado
3	0.000	0.000	6.000	Empotrado
4	0.000	0.960	6.101	Articulado
5	0.000	1.912	5.101	Articulado
6	0.000	2.864	6.301	Articulado
7	0.000	3.816	5.301	Articulado
8	0.000	4.768	6.501	Articulado
9	0.000	5.720	5.501	Articulado
10	0.000	6.672	6.701	Articulado
11	0.000	7.624	5.701	Articulado
12	0.000	8.576	6.900	Articulado
13	0.000	9.528	5.900	Articulado
14	0.000	10.480	7.100	Articulado
15	0.000	11.432	6.101	Articulado
16	0.000	12.384	7.300	Articulado
17	0.000	13.336	6.301	Articulado
18	0.000	14.288	7.500	Articulado
19	0.000	15.240	6.501	Articulado
20	0.000	16.192	7.700	Articulado
21	0.000	17.144	6.701	Articulado
22	0.000	18.096	7.900	Articulado
23	0.000	19.048	6.900	Articulado
24	0.000	20.000	7.000	Articulado

Nudos	Coordenadas (m)			Vínculos
	X	Y	Z	
25	0.000	20.000	8.100	Articulado
26	0.000	20.952	6.900	Articulado
27	0.000	21.904	7.900	Articulado
28	0.000	22.856	6.701	Articulado
29	0.000	23.808	7.700	Articulado
30	0.000	24.760	6.501	Articulado
31	0.000	25.712	7.500	Articulado
32	0.000	26.664	6.301	Articulado
33	0.000	27.616	7.300	Articulado
34	0.000	28.568	6.101	Articulado
35	0.000	29.520	7.100	Articulado
36	0.000	30.472	5.900	Articulado
37	0.000	31.424	6.900	Articulado
38	0.000	32.376	5.701	Articulado
39	0.000	33.328	6.701	Articulado
40	0.000	34.280	5.501	Articulado
41	0.000	35.232	6.501	Articulado
42	0.000	36.184	5.301	Articulado
43	0.000	37.136	6.301	Articulado
44	0.000	38.088	5.101	Articulado
45	0.000	39.040	6.101	Articulado
46	0.000	40.000	0.000	Empotrado
47	0.000	40.000	4.900	Articulado
48	0.000	40.000	6.000	Empotrado

Hay un total de cuarenta y ocho nudos, los cuales se han considerado todos articulados salvo las vinculaciones exteriores que son empotramientos y las uniones entre celosía y pilar que se han considerado nudos rígidos.

2.2 - Barras: Características Mecánicas

Descripción	Inerc.Tor. cm4	Inerc.y cm4	Inerc.z cm4	Sección cm2
Acero, IPE-450, Perfil simple (IPE)	65.900	33740.000	1680.000	98.800
Acero, #40x4, Perfil simple (Huecos cuadrados)	19.017	10.347	10.347	5.198
Acero, #45x4, Perfil simple (Huecos cuadrados)	28.276	15.702	15.702	5.998
Acero, #50x4, Perfil simple (Huecos cuadrados)	40.067	22.627	22.627	6.798
Acero, #55x4, Perfil simple (Huecos cuadrados)	54.689	31.322	31.322	7.598
Acero, #120x5, Perfil simple (Huecos cuadrados)	781.243	474.493	474.493	22.078



2.3.- Barras: Materiales Utilizados

Material	Mód.elást. (GPa)	Mód.el.trans. (GPa)	Lím.elás.\Fck (MPa)	Co.dilat. (m/m°C)	Peso espec. (KN/m3)
Acero (S275)	206.01	79.23	275.00	1.2e-005	77.01

2.4.- Barras: Descripción

Barras	Material	Perfil	Peso (Kp)	Volumen (m3)	Longitud (m)
1/2	Acero (S275)	IPE-450 (IPE)	380.03	0.048	4.90
2/3	Acero (S275)	IPE-450 (IPE)	85.31	0.011	1.10
2/4	Acero (S275)	#55x4 (Huecos cuadrados)	9.17	0.001	1.54
2/5	Acero (S275)	#120x5 (Huecos cuadrados)	33.32	0.004	1.92
3/4	Acero (S275)	#120x5 (Huecos cuadrados)	16.73	0.002	0.97
5/4	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	5.63	0.001	1.38
4/6	Acero (S275)	#120x5 (Huecos cuadrados)	33.18	0.004	1.91
5/6	Acero (S275)	#55x4 (Huecos cuadrados)	9.14	0.001	1.53
5/7	Acero (S275)	#120x5 (Huecos cuadrados)	33.18	0.004	1.91
7/6	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	5.63	0.001	1.38
6/8	Acero (S275)	#120x5 (Huecos cuadrados)	33.18	0.004	1.91
7/8	Acero (S275)	#55x4 (Huecos cuadrados)	9.14	0.001	1.53
7/9	Acero (S275)	#120x5 (Huecos cuadrados)	33.18	0.004	1.91
9/8	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	5.63	0.001	1.38
8/10	Acero (S275)	#120x5 (Huecos cuadrados)	33.18	0.004	1.91
9/10	Acero (S275)	#50x4 (Huecos cuadrados)	8.17	0.001	1.53
9/11	Acero (S275)	#120x5 (Huecos cuadrados)	33.18	0.004	1.91
11/10	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	5.63	0.001	1.38
10/12	Acero (S275)	#120x5 (Huecos cuadrados)	33.18	0.004	1.91
11/12	Acero (S275)	#45x4 (Huecos cuadrados)	7.21	0.001	1.53
11/13	Acero (S275)	#120x5 (Huecos cuadrados)	33.18	0.004	1.91
13/12	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	5.63	0.001	1.38
12/14	Acero (S275)	#120x5 (Huecos cuadrados)	33.18	0.004	1.91
13/14	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	6.25	0.001	1.53
13/15	Acero (S275)	#120x5 (Huecos cuadrados)	33.18	0.004	1.91
15/14	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	5.63	0.001	1.38
14/16	Acero (S275)	#120x5 (Huecos cuadrados)	33.18	0.004	1.91
15/16	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	6.25	0.001	1.53
15/17	Acero (S275)	#120x5 (Huecos cuadrados)	33.18	0.004	1.91
17/16	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	5.63	0.001	1.38
16/18	Acero (S275)	#120x5 (Huecos cuadrados)	33.18	0.004	1.91
17/18	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	6.25	0.001	1.53
17/19	Acero (S275)	#120x5 (Huecos cuadrados)	33.18	0.004	1.91
19/18	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	5.63	0.001	1.38
18/20	Acero (S275)	#120x5 (Huecos cuadrados)	33.18	0.004	1.91
19/20	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	6.25	0.001	1.53
19/21	Acero (S275)	#120x5 (Huecos cuadrados)	33.18	0.004	1.91
21/20	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	5.63	0.001	1.38
20/22	Acero (S275)	#120x5 (Huecos cuadrados)	33.18	0.004	1.91
21/22	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	6.25	0.001	1.53
21/23	Acero (S275)	#120x5 (Huecos cuadrados)	33.18	0.004	1.91
23/22	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	5.63	0.001	1.38
22/25	Acero (S275)	#120x5 (Huecos cuadrados)	33.18	0.004	1.91
23/24	Acero (S275)	#120x5 (Huecos cuadrados)	16.59	0.002	0.96
23/25	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	6.25	0.001	1.53
24/25	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	4.49	0.001	1.10
26/24	Acero (S275)	#120x5 (Huecos cuadrados)	16.59	0.002	0.96
26/25	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	6.25	0.001	1.53
27/25	Acero (S275)	#120x5 (Huecos cuadrados)	33.18	0.004	1.91



Pórtico Viga Celosía 40 Metros De Luz

26/27	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	5.63	0.001	1.38
28/26	Acero (S275)	#120x5 (Huecos cuadrados)	33.18	0.004	1.91
28/27	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	6.25	0.001	1.53
29/27	Acero (S275)	#120x5 (Huecos cuadrados)	33.18	0.004	1.91
28/29	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	5.63	0.001	1.38
30/28	Acero (S275)	#120x5 (Huecos cuadrados)	33.18	0.004	1.91
30/29	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	6.25	0.001	1.53
31/29	Acero (S275)	#120x5 (Huecos cuadrados)	33.18	0.004	1.91
30/31	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	5.63	0.001	1.38
32/30	Acero (S275)	#120x5 (Huecos cuadrados)	33.18	0.004	1.91
32/31	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	6.25	0.001	1.53
33/31	Acero (S275)	#120x5 (Huecos cuadrados)	33.18	0.004	1.91
32/33	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	5.63	0.001	1.38
34/32	Acero (S275)	#120x5 (Huecos cuadrados)	33.18	0.004	1.91
34/33	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	6.25	0.001	1.53
35/33	Acero (S275)	#120x5 (Huecos cuadrados)	33.18	0.004	1.91
34/35	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	5.63	0.001	1.38
36/34	Acero (S275)	#120x5 (Huecos cuadrados)	33.18	0.004	1.91
36/35	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	6.25	0.001	1.53
37/35	Acero (S275)	#120x5 (Huecos cuadrados)	33.18	0.004	1.91
36/37	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	5.63	0.001	1.38
38/36	Acero (S275)	#120x5 (Huecos cuadrados)	33.18	0.004	1.91
38/37	Acero (S275)	#45x4 (Huecos cuadrados)	7.21	0.001	1.53
39/37	Acero (S275)	#120x5 (Huecos cuadrados)	33.18	0.004	1.91
38/39	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	5.63	0.001	1.38
40/38	Acero (S275)	#120x5 (Huecos cuadrados)	33.18	0.004	1.91
40/39	Acero (S275)	#50x4 (Huecos cuadrados)	8.17	0.001	1.53
41/39	Acero (S275)	#120x5 (Huecos cuadrados)	33.18	0.004	1.91
40/41	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	5.63	0.001	1.38
42/40	Acero (S275)	#120x5 (Huecos cuadrados)	33.18	0.004	1.91
42/41	Acero (S275)	#55x4 (Huecos cuadrados)	9.14	0.001	1.53
43/41	Acero (S275)	#120x5 (Huecos cuadrados)	33.18	0.004	1.91
42/43	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	5.63	0.001	1.38
44/42	Acero (S275)	#120x5 (Huecos cuadrados)	33.18	0.004	1.91
44/43	Acero (S275)	#55x4 (Huecos cuadrados)	9.14	0.001	1.53
45/43	Acero (S275)	#120x5 (Huecos cuadrados)	33.18	0.004	1.91
44/45	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	5.63	0.001	1.38
47/44	Acero (S275)	#120x5 (Huecos cuadrados)	33.32	0.004	1.92
47/45	Acero (S275)	#55x4 (Huecos cuadrados)	9.17	0.001	1.54
48/45	Acero (S275)	#120x5 (Huecos cuadrados)	16.73	0.002	0.97
46/47	Acero (S275)	IPE-450 (IPE)	380.03	0.048	4.90
47/48	Acero (S275)	IPE-450 (IPE)	85.31	0.011	1.10

2.5.- Barras: Resumen Medición (Acero)

Descripción			Peso (Kp)			Longitud (m)		
			Perfil	Serie	Acero	Perfil	Serie	Acero
Acero (S275)	IPE	IPE-450, Perfil simple	930.68	930.68		12.00	12.00	
		#40x4, Perfil simple	192.09			47.06		
		#45x4, Perfil simple	14.42			3.06		
		#50x4, Perfil simple	16.34			3.06		
		#55x4, Perfil simple	54.90			9.20		
		#120x5, Perfil simple	1394.12			80.28		
	Huecos cuadrados			1671.87	2602.55		142.66	154.66
								154.66



Como podemos apreciar en la tabla, el peso total de la estructura es de 2602,55 Kg, dicho peso es el menor de entre todas las tipologías estudiadas. Esta reducción de peso se debe al uso de la viga de celosía obteniendo así un pórtico más ligero.

2.6.- Cargas (Nudos)

Nudos	Hipót.	Tipo	Cargas				Dirección		
			P1	P2	L1 (m)	L2 (m)	X	Y	Z
3	1 (PP 1)	Puntual	3.270 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
4	1 (PP 1)	Puntual	6.545 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
6	1 (PP 1)	Puntual	6.545 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
8	1 (PP 1)	Puntual	6.545 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
10	1 (PP 1)	Puntual	6.545 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
12	1 (PP 1)	Puntual	6.545 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
14	1 (PP 1)	Puntual	6.545 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
16	1 (PP 1)	Puntual	6.545 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
18	1 (PP 1)	Puntual	6.545 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
20	1 (PP 1)	Puntual	6.545 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
22	1 (PP 1)	Puntual	6.545 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
25	1 (PP 1)	Puntual	6.545 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
27	1 (PP 1)	Puntual	6.545 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
29	1 (PP 1)	Puntual	6.545 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
31	1 (PP 1)	Puntual	6.545 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
33	1 (PP 1)	Puntual	6.545 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
35	1 (PP 1)	Puntual	6.545 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
37	1 (PP 1)	Puntual	6.545 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
39	1 (PP 1)	Puntual	6.545 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
41	1 (PP 1)	Puntual	6.545 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
43	1 (PP 1)	Puntual	6.545 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
45	1 (PP 1)	Puntual	6.545 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
48	1 (PP 1)	Puntual	3.270 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000

En la tabla superior podemos apreciar como se ha distribuido la carga calculada al principio en la celosía. Y en la tabla que hay a continuación, se detallan las cargas debidas al peso propio de la estructura que nos ha generado el programa.

2.7.- Cargas (Barras)

Barras	Hipót.	Tipo	Cargas				Dirección		
			P1	P2	L1 (m)	L2 (m)	X	Y	Z
2/3	1 (PP 1)	Uniforme	0.761 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
2/3	1 (PP 1)	Uniforme	2.340 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
46/47	1 (PP 1)	Uniforme	0.761 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000



Pórtico Viga Celosía 40 Metros De Luz

46/47	1 (PP 1)	Uniforme	1.020 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
1/2	1 (PP 1)	Uniforme	0.761 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Uniforme	2.340 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
47/48	1 (PP 1)	Uniforme	0.761 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
47/48	1 (PP 1)	Uniforme	1.020 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
24/25	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
26/25	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
23/25	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
26/27	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
23/22	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
28/27	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
21/22	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
28/29	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
21/20	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
30/29	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
19/20	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
30/31	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
19/18	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
32/31	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
17/18	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
32/33	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
17/16	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
34/33	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
15/16	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
34/35	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
15/14	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
36/35	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
13/14	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
36/37	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
13/12	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
38/39	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
11/10	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
40/41	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
9/8	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
42/43	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
7/6	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
44/45	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
5/4	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
11/12	1 (PP 1)	Uniforme	0.046 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
38/37	1 (PP 1)	Uniforme	0.046 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
9/10	1 (PP 1)	Uniforme	0.052 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
40/39	1 (PP 1)	Uniforme	0.052 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
7/8	1 (PP 1)	Uniforme	0.059 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
42/41	1 (PP 1)	Uniforme	0.059 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
5/6	1 (PP 1)	Uniforme	0.059 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
44/43	1 (PP 1)	Uniforme	0.059 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
47/45	1 (PP 1)	Uniforme	0.059 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
2/4	1 (PP 1)	Uniforme	0.059 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
23/24	1 (PP 1)	Uniforme	0.170 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
22/25	1 (PP 1)	Uniforme	0.170 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
26/24	1 (PP 1)	Uniforme	0.170 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
21/23	1 (PP 1)	Uniforme	0.170 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000



Pórtico Viga Celosía 40 Metros De Luz

27/25	1 (PP 1)	Uniforme	0.170 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
20/22	1 (PP 1)	Uniforme	0.170 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
28/26	1 (PP 1)	Uniforme	0.170 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
19/21	1 (PP 1)	Uniforme	0.170 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
29/27	1 (PP 1)	Uniforme	0.170 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
18/20	1 (PP 1)	Uniforme	0.170 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
30/28	1 (PP 1)	Uniforme	0.170 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
17/19	1 (PP 1)	Uniforme	0.170 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
31/29	1 (PP 1)	Uniforme	0.170 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
16/18	1 (PP 1)	Uniforme	0.170 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
32/30	1 (PP 1)	Uniforme	0.170 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
15/17	1 (PP 1)	Uniforme	0.170 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
33/31	1 (PP 1)	Uniforme	0.170 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
14/16	1 (PP 1)	Uniforme	0.170 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
34/32	1 (PP 1)	Uniforme	0.170 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
13/15	1 (PP 1)	Uniforme	0.170 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
35/33	1 (PP 1)	Uniforme	0.170 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
12/14	1 (PP 1)	Uniforme	0.170 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
36/34	1 (PP 1)	Uniforme	0.170 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
11/13	1 (PP 1)	Uniforme	0.170 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
37/35	1 (PP 1)	Uniforme	0.170 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
10/12	1 (PP 1)	Uniforme	0.170 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
38/36	1 (PP 1)	Uniforme	0.170 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
9/11	1 (PP 1)	Uniforme	0.170 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
39/37	1 (PP 1)	Uniforme	0.170 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
8/10	1 (PP 1)	Uniforme	0.170 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
40/38	1 (PP 1)	Uniforme	0.170 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
7/9	1 (PP 1)	Uniforme	0.170 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
41/39	1 (PP 1)	Uniforme	0.170 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
6/8	1 (PP 1)	Uniforme	0.170 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
42/40	1 (PP 1)	Uniforme	0.170 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
5/7	1 (PP 1)	Uniforme	0.170 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
43/41	1 (PP 1)	Uniforme	0.170 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
4/6	1 (PP 1)	Uniforme	0.170 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
44/42	1 (PP 1)	Uniforme	0.170 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
3/4	1 (PP 1)	Uniforme	0.170 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
45/43	1 (PP 1)	Uniforme	0.170 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
2/5	1 (PP 1)	Uniforme	0.170 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
47/44	1 (PP 1)	Uniforme	0.170 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
48/45	1 (PP 1)	Uniforme	0.170 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000

2.8.- Desplazamientos

Los desplazamientos que se producen normalmente en una celosía son muy pequeños y no va a ser este caso una excepción. En los demás pórticos estudiados para esta luz, los desplazamientos que se producen en la cumbrera son bastante mayores que en el caso que nos ocupa, siendo este de 12,02 cm.



2.9.- Reacciones

Nudos	Descripción	REACCIONES (EJES GENERALES)					
		RX (KN)	RY (KN)	RZ (KN)	MX (KN·m)	MY (KN·m)	MZ (KN·m)
1	Envolvente (Cim.equil.)	0.0000	94.0082	84.3415	-317.0254	0.0000	0.0000
		0.0000	141.0123	126.5122	-211.3503	0.0000	0.0000
1	Envolvente (Cim.tens.terr.)	0.0000	94.0082	84.3415	-211.3503	0.0000	0.0000
		0.0000	94.0082	84.3415	-211.3503	0.0000	0.0000
46	Envolvente (Cim.equil.)	0.0000	-171.2523	85.1747	255.1646	0.0000	0.0000
		0.0000	-114.1682	127.7621	382.7469	0.0000	0.0000
46	Envolvente (Cim.tens.terr.)	0.0000	-114.1682	85.1747	255.1646	0.0000	0.0000
		0.0000	-114.1682	85.1747	255.1646	0.0000	0.0000

2.10.-Tensiones

Barras	TENSION MÁXIMA								
	TENS. ()	APROV. (%)	Pos. (m)	N (KN)	Vy (KN)	Vz (KN)	Mt (KN·m)	My (KN·m)	Mz (KN·m)
2/3	0.8825	88.25	0.000	22.4381	0.0000	335.6773	0.0000	374.4651	0.0000
46/47	0.9265	92.65	4.900	-109.9529	0.0000	147.3798	0.0000	-394.2195	0.0000
1/2	0.8801	88.01	4.900	-108.8280	0.0000	-142.3902	0.0000	374.4651	0.0000
47/48	0.9323	93.23	0.000	24.4386	0.0000	-350.9727	0.0000	-394.2195	0.0000
24/25	0.2946	29.46	1.100	38.2783	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
26/25	0.0897	8.97	1.531	11.6616	0.0000	0.0257	0.0000	0.0000	0.0000
23/25	0.1017	10.17	1.531	13.2103	0.0000	0.0257	0.0000	0.0000	0.0000
26/27	0.1681	16.81	0.690	-10.9550	0.0000	0.0000	0.0000	0.0089	0.0000
23/22	0.1891	18.91	0.690	-12.3612	0.0000	0.0000	0.0000	0.0089	0.0000
28/27	0.0050	0.50	0.766	0.3064	0.0000	0.0000	0.0000	0.0098	0.0000
21/22	0.0146	1.46	1.531	1.8984	0.0000	0.0257	0.0000	0.0000	0.0000
28/29	0.0045	0.45	0.690	0.1953	0.0000	0.0000	0.0000	0.0089	0.0000
21/20	0.0225	2.25	0.690	-1.2058	0.0000	0.0000	0.0000	0.0089	0.0000
30/29	0.2366	23.66	0.766	-13.4627	0.0000	0.0000	0.0000	0.0098	0.0000
19/20	0.2099	20.99	0.766	-11.9080	0.0000	0.0000	0.0000	0.0098	0.0000
30/31	0.0984	9.84	1.380	12.7921	0.0000	0.0257	0.0000	0.0000	0.0000
19/18	0.0877	8.77	1.380	11.3897	0.0000	0.0257	0.0000	0.0000	0.0000
32/31	0.4689	46.89	0.766	-27.0700	0.0000	0.0000	0.0000	0.0098	0.0000
17/18	0.4424	44.24	0.766	-25.5144	0.0000	0.0000	0.0000	0.0098	0.0000
32/33	0.1927	19.27	1.380	25.0445	0.0000	0.0257	0.0000	0.0000	0.0000
17/16	0.1819	18.19	1.380	23.6422	0.0000	0.0257	0.0000	0.0000	0.0000
34/33	0.7024	70.24	0.766	-40.7650	0.0000	0.0000	0.0000	0.0098	0.0000
15/16	0.6758	67.58	0.766	-39.2089	0.0000	0.0000	0.0000	0.0098	0.0000
34/35	0.2873	28.73	1.380	37.3387	0.0000	0.0257	0.0000	0.0000	0.0000
15/14	0.2766	27.66	1.380	35.9402	0.0000	0.0257	0.0000	0.0000	0.0000
36/35	0.9332	93.32	0.766	-54.2891	0.0000	0.0000	0.0000	0.0098	0.0000
13/14	0.9067	90.67	0.766	-52.7396	0.0000	0.0000	0.0000	0.0098	0.0000
36/37	0.3818	38.18	1.381	49.6145	0.0000	0.0257	0.0000	0.0000	0.0000
13/12	0.3710	37.10	1.381	48.2130	0.0000	0.0257	0.0000	0.0000	0.0000
38/39	0.4766	47.66	1.381	61.9325	0.0000	0.0257	0.0000	0.0000	0.0000
11/10	0.4658	46.58	1.381	60.5313	0.0000	0.0257	0.0000	0.0000	0.0000
40/41	0.5729	57.29	1.381	74.4498	0.0000	0.0257	0.0000	0.0000	0.0000



Pórtico Viga Celosía 40 Metros De Luz

9/8	0.5621	56.21	1.381	73.0426	0.0000	0.0257	0.0000	0.0000	0.0000
42/43	0.6632	66.32	1.381	86.1793	0.0000	0.0257	0.0000	0.0000	0.0000
7/6	0.6526	65.26	1.381	84.7964	0.0000	0.0257	0.0000	0.0000	0.0000
44/45	0.7768	77.68	1.381	100.9334	0.0000	0.0257	0.0000	0.0000	0.0000
5/4	0.7654	76.54	1.381	99.4531	0.0000	0.0257	0.0000	0.0000	0.0000
11/12	0.8267	82.67	0.766	-66.4998	0.0000	0.0000	0.0000	0.0114	0.0000
38/37	0.8459	84.59	0.766	-68.0564	0.0000	0.0000	0.0000	0.0114	0.0000
9/10	0.7691	76.91	0.766	-80.1252	0.0000	0.0000	0.0000	0.0129	0.0000
40/39	0.7839	78.39	0.766	-81.6796	0.0000	0.0000	0.0000	0.0129	0.0000
7/8	0.7315	73.15	0.766	-93.9005	0.0000	0.0000	0.0000	0.0144	0.0000
42/41	0.7435	74.35	0.766	-95.4592	0.0000	0.0000	0.0000	0.0144	0.0000
5/6	0.8382	83.82	0.766	-107.7066	0.0000	0.0000	0.0000	0.0144	0.0000
44/43	0.8502	85.02	0.766	-109.2561	0.0000	0.0000	0.0000	0.0144	0.0000
47/45	0.9007	90.07	0.769	-115.4399	0.0000	0.0000	0.0000	0.0146	0.0000
2/4	0.8894	88.94	0.769	-113.9803	0.0000	0.0000	0.0000	0.0146	0.0000
23/24	0.3143	31.43	0.957	173.4780	0.0000	1.0831	0.0000	0.0000	0.0000
22/25	0.7407	74.07	0.000	-328.2272	0.0000	0.4760	0.0000	1.3297	0.0000
26/24	0.3143	31.43	0.957	173.4771	0.0000	1.0741	0.0000	0.0000	0.0000
21/23	0.3446	34.46	1.914	190.2162	0.0000	0.3248	0.0000	0.9322	0.0000
27/25	0.7383	73.83	0.000	-327.2596	0.0000	0.4722	0.0000	1.3224	0.0000
20/22	0.7618	76.18	1.675	-338.0137	0.0000	0.0157	0.0000	1.3400	0.0000
28/26	0.3411	34.11	1.914	188.2729	0.0000	0.3238	0.0000	0.9235	0.0000
19/21	0.3482	34.82	1.914	192.2042	0.0000	0.1868	0.0000	1.1357	0.0000
29/27	0.7552	75.52	1.675	-335.0962	0.0000	0.0116	0.0000	1.3317	0.0000
18/20	0.7375	73.75	0.957	-331.4074	0.0000	0.0078	0.0000	1.1580	0.0000
30/28	0.3412	34.12	1.914	188.3141	0.0000	0.1821	0.0000	1.1251	0.0000
17/19	0.3205	32.05	1.914	176.8796	0.0000	0.1697	0.0000	1.0750	0.0000
31/29	0.7263	72.63	0.957	-326.5464	0.0000	0.0038	0.0000	1.1391	0.0000
16/18	0.6848	68.48	1.197	-307.5826	0.0000	-0.0222	0.0000	1.1038	0.0000
32/30	0.3099	30.99	1.914	171.0453	0.0000	0.1658	0.0000	1.0554	0.0000
15/17	0.2619	26.19	1.914	144.5525	0.0000	0.1427	0.0000	0.9815	0.0000
33/31	0.6692	66.92	1.197	-300.7768	0.0000	-0.0263	0.0000	1.0782	0.0000
14/16	0.5914	59.14	1.436	-266.6938	0.0000	0.0204	0.0000	0.9497	0.0000
34/32	0.2478	24.78	1.914	136.7734	0.0000	0.1389	0.0000	0.9546	0.0000
13/15	0.1724	17.24	1.915	95.1334	0.0000	0.0575	0.0000	0.8365	0.0000
35/33	0.5715	57.15	1.436	-257.9428	0.0000	0.0167	0.0000	0.9174	0.0000
12/14	0.4611	46.11	1.675	-208.8343	0.0000	-0.0106	0.0000	0.7477	0.0000
36/34	0.1547	15.47	1.915	85.4115	0.0000	0.0525	0.0000	0.8022	0.0000
11/13	0.0521	5.21	1.914	28.7676	0.0000	0.0758	0.0000	0.5282	0.0000
37/35	0.4370	43.70	1.675	-198.1453	0.0000	-0.0155	0.0000	0.7089	0.0000
10/12	0.2907	29.07	1.675	-133.8689	0.0000	-0.0038	0.0000	0.4153	0.0000
38/36	0.0310	3.10	1.914	17.1060	0.0000	0.0724	0.0000	0.4844	0.0000
9/11	0.1218	12.18	1.914	-54.7453	0.0000	-0.0015	0.0000	0.2549	0.0000
39/37	0.2626	26.26	1.675	-121.2354	0.0000	-0.0074	0.0000	0.3674	0.0000
8/10	0.0970	9.70	0.000	-41.8923	0.0000	-0.4144	0.0000	-0.2864	0.0000
40/38	0.1484	14.84	0.000	-68.3972	0.0000	-0.4434	0.0000	-0.2259	0.0000
7/9	0.3341	33.41	0.000	-155.4746	0.0000	-0.3405	0.0000	-0.3998	0.0000
41/39	0.0698	6.98	0.000	-27.3158	0.0000	-0.4181	0.0000	-0.3474	0.0000
6/8	0.1222	12.22	1.914	67.4445	0.0000	-0.0865	0.0000	-0.2864	0.0000
42/40	0.3689	36.89	0.000	-171.0271	0.0000	-0.3406	0.0000	-0.4596	0.0000
5/7	0.6324	63.24	0.000	-272.9713	0.0000	-0.7745	0.0000	-1.4642	0.0000
43/41	0.1521	15.21	1.914	83.9705	0.0000	-0.0920	0.0000	-0.3474	0.0000



Pórtico Viga Celosía 40 Metros De Luz

4/6	0.3507	35.07	1.914	193.5696	0.0000	0.3520	0.0000	-0.8703	0.0000
44/42	0.6743	67.43	0.000	-290.4585	0.0000	-0.7921	0.0000	-1.5577	0.0000
¾	0.6039	60.39	0.965	333.3314	0.0000	-6.6407	0.0000	-0.6148	0.0000
45/43	0.3841	38.41	1.914	212.0239	0.0000	0.3575	0.0000	-0.9418	0.0000
2/5	0.9175	91.75	1.923	-409.0274	0.0000	0.9810	0.0000	-1.4642	0.0000
47/44	0.9626	96.26	1.923	-428.5022	0.0000	1.0297	0.0000	-1.5577	0.0000
48/45	0.6409	64.09	0.965	353.7143	0.0000	-6.7694	0.0000	-0.6758	0.0000

Como podemos apreciar en el pórtico de la imagen, los montantes tanto superior como inferior, son los que más tensión están soportando. En el montante superior el aprovechamiento máximo se produce en la cumbrera, siendo éste del 75,50%, conforme nos vamos acercando al pilar la tensión a la que está sometido el perfil va disminuyendo hasta tener el 15,2% de aprovechamiento del mismo, junto al pilar el aprovechamiento vuelve a ser mayor, llegando éste al 64,10%. En el montante inferior la distribución de tensiones es similar al montante superior pero con un aprovechamiento del perfil ligeramente inferior. En este caso el aprovechamiento máximo se produce junto al pilar teniendo 96,30%, después disminuye bastante conforme nos acercamos a la mitad del perfil, siendo bajísimo su aprovechamiento. Llegando a al cumbrera vuelve a aumentar dicho aprovechamiento llegando al 34,10%.

El aprovechamiento de las diagonales de la celosía es bastante diverso aunque este se distribuye de manera uniforme.

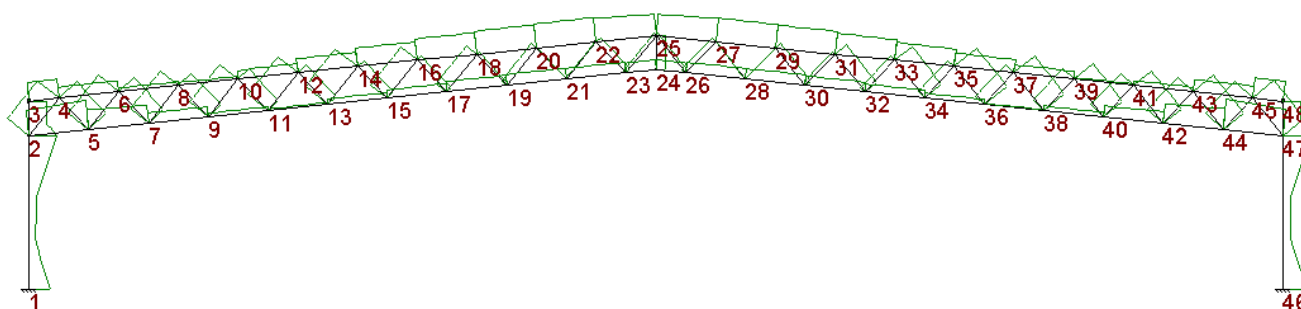


Diagrama de tensiones del pórtico.

Vamos a describir lo que le ocurre a las diagonales de la celosía que se encuentran de la cumbrera del pórtico hacia el pilar derecho dado que según hemos introducido la hipótesis de carga es la zona que más tensión está soportando. Para mayor comprensión y debido a que tenemos un número muy elevado de barras, vamos a dividir dichas diagonales en dos tipos: diagonales inclinadas hacia la derecha como por ejemplo (34-35) o (42-43), y diagonales inclinadas a la izquierda como es el caso de la (45-47) o (35-36). En general las diagonales que están soportando más tensión son las que se encuentran junto al pilar. En el caso de las diagonales inclinadas hacia la izquierda, el aprovechamiento medio de las barras (35-36), (37-38), (39-40), (41-42), (43-44), (45-47) está en torno al 90,50%. A partir de la barra (35-36) y en dirección



a la cumbrera, el aprovechamiento de las diagonales va disminuyendo, llegando al valor del 10%. Para las diagonales inclinadas a la derecha, la barra (44-45), que es la más cercana al pilar, tiene un aprovechamiento del 77%. A partir de dicha barra y en dirección a la cumbrera el aprovechamiento de las diagonales va disminuyendo hasta alcanzar el valor del 16,80%.

Como hemos podido apreciar el aprovechamiento de las barras va aumentando con respecto a luces estudiadas anteriormente. La elección de las barras, descritas al inicio de este pórtico, se ha realizado en función de dicho aprovechamiento de las mismas.

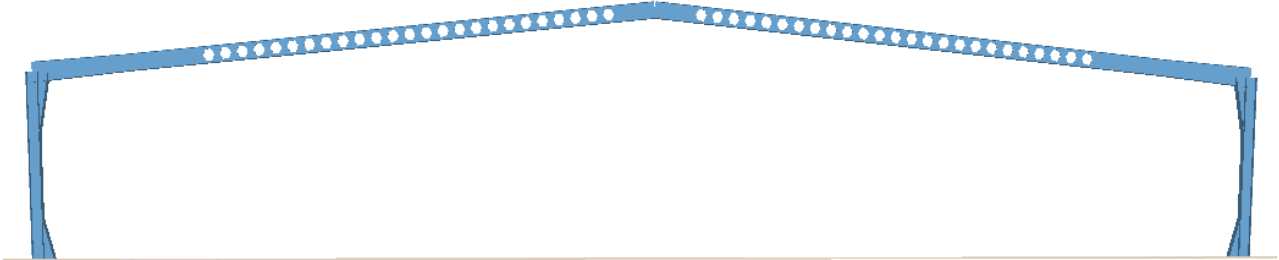
A continuación vamos a describir lo que le ocurre al pilar derecho en cuanto a las tensiones. Si nos fijamos en la imagen anterior el pilar tiene tres zonas bien diferenciadas: inferior, media y superior. La zona inferior comprende 1,5m, donde el diagrama de tensiones tiene forma de triángulo recto, teniendo en la base del pilar un aprovechamiento de 81% y disminuyendo éste hasta el 24,80%. En la zona media del pilar de 1,90 m el aprovechamiento del perfil es totalmente uniforme pero muy bajo, de tan solo el 24,80%. En la parte superior del pilar la distribución de tensiones es exactamente igual a la inferior pero a la inversa, partiendo de un aprovechamiento del 24,80% y llegando en la parte superior del mismo al 92,60%. Como hemos podido apreciar la distribución de tensiones no es constante a lo largo del perfil, esto es debido a que el perfil utilizado como pilar no está reforzado en los nudos y teniendo así una zona bastante amplia donde el aprovechamiento es muy bajo.



PÓRTICO VIGA VOID

PÓRTICO VIGA VOID 40 METROS DE LUZ

1. Descripción general del pórtico:



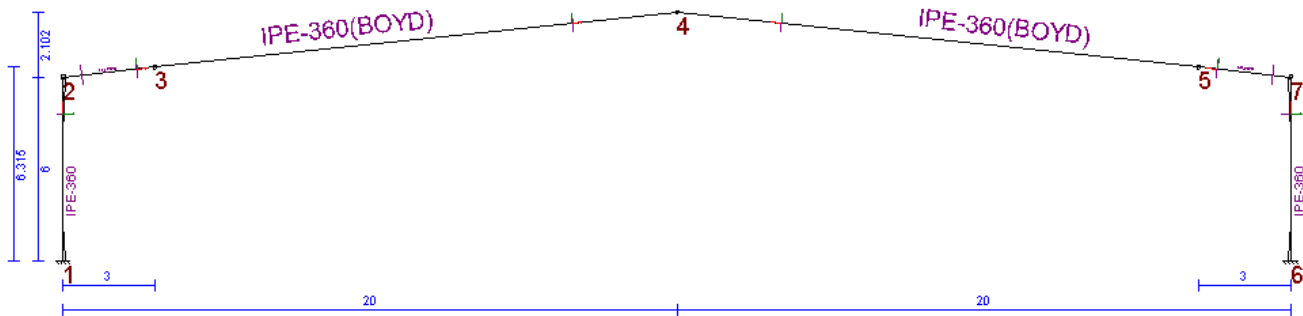
Interpretación real del pórtico

El pórtico que nos ocupa tiene 40 metros de luz y sus pilares están formados por perfiles IPE, cuya viga es de tipo VOID con perfil IPE de 360 mm junto con tramo de sección Variable. Los pilares son IPE 360, están reforzados en su parte inferior y superior por cartelas. Las cartelas inferiores tienen una longitud de 1,30 metros y las superiores 1,90 metros. El hecho de colocar unas cartelas tan grandes es para conseguir un mayor aprovechamiento del perfil utilizando una sección de perfil menor.

El diseño de la viga empezando de izquierda a derecha es el siguiente: empezamos colocando un perfil de sección variable, seguido de viga VOID con perfil IPE y el otro agua igual, viga VOID y último tramo con sección variable. Los tramos de sección variable los describimos a continuación: la unión con el pilar tiene un canto de 650 mm y junto a la viga de 540 mm que coincide con el alma de la viga utilizada posteriormente para que se pueda unir a ella con la mayor facilidad. Como podemos apreciar el canto de la viga de Sección Variable es bastante grande y según el CTE hay que comprobar que el perfil no falle por abolladura del alma, dado el caso que el perfil falle, se realizará un cálculo de rigidizadores. En este caso es necesario colocar rigidizadores y las comprobaciones y el cálculo de los mismos se encuentran al final de éste pórtico. El alma tiene un espesor de 10 mm. y el ala de 14 mm. Este espesor se ha elegido lo más próximo superior al perfil IPE que se ha utilizado en la viga, debido a que nos tenemos que regir por espesores comerciales. La longitud de dicho perfil es de 3,02 metros. Los tramos VOID para esta luz se han diseñado de la siguiente manera: el perfil que se ha utilizado como ya hemos dicho es un IPE 360 mm., el cual se convierte al hacerlo VOID en un perfil que tiene 540 mm. de alma. Para este pórtico se le han rellenado cuatro huecos en origen y dos más en la cumbrera de cada viga, adecuándonos de esta manera a lo solicitado en el diagrama de tensiones que se comentará más adelante.



A continuación mostramos un esquema del pórtico donde se detallan los nudos, perfiles utilizados y las cotas del mismo.



Esquema de nudos, cotas y tipo de perfil.

2. Descripción de valores aportados por Cype

Ahora se detallan los datos que nos aporta el programa en forma de tablas que describiremos a continuación:

2.1 - Nudos

Nudos	Coordenadas (m)			Vínculos
	X	Y	Z	
1	0.000	0.000	0.000	Empotrado
2	0.000	0.000	6.000	Empotrado
3	0.000	3.000	6.315	Empotrado
4	0.000	20.000	8.102	Empotrado
5	0.000	37.000	6.315	Empotrado
6	0.000	40.000	0.000	Empotrado
7	0.000	40.000	6.000	Empotrado

2.2 - Barras: Características Mecánicas

Descripción	Inerc.Tor. cm4	Inerc.y cm4	Inerc.z cm4	Sección cm2
Acero, Sección Variable, Perfil simple + Separación 622/512 mm	49.999	55367.889	1151.092	104.300
Acero, IPE-360, Simple con cartelas (IPE)	37.300	16270.000	1040.000	72.700
Acero, IPE-360, Boyd (alma aligerada) (IPE) H: 540.0 mm, S: 540.0 mm, macizados (4, 2)	37.300	36741.418	1040.578	72.700

2.3.- Barras: Materiales Utilizados

Material	Mód.elást. (GPa)	Mód.el.trans. (GPa)	Lím.elás.\Fck (MPa)	Co.dilat. (m/m°C)	Peso espec. (KN/m3)
Acero (S275)	206.01	79.23	275.00	1.2e-005	77.01



2.4.- Barras: Descripción

Barras	Material	Perfil	Peso (Kp)	Volumen (m3)	Longitud (m)
1/2	Acero (S275)	IPE-360 (IPE) + carts. sup. 1.300 m y 1.900 m	430.24	0.055	6.00
2/3	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 622/512 mm	247.04	0.031	3.02
3/4	Acero (S275)	IPE-360(BOYD) (IPE) H: 540.0 mm, S: 540.0 mm, macizados (4, 2)	1005.09	0.128	17.09
5/4	Acero (S275)	IPE-360(BOYD) (IPE) H: 540.0 mm, S: 540.0 mm, macizados (4, 2)	1005.09	0.128	17.09
7/5	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 622/512 mm	247.04	0.031	3.02
6/7	Acero (S275)	IPE-360 (IPE) + carts. inf. 1.300 m y 1.900 m	430.24	0.055	6.00

2.5.- Barras: Resumen Medición (Acero)

Descripción			Peso (Kp)			Longitud (m)		
			Perfil	Serie	Acero	Perfil	Serie	Acero
Acero (S275)	Sección	Sección Variable, Perfil	494.08			6.04		
		IPE-360, Simple con c...	860.48	494.08		12.00	6.04	
	IPE	IPE-360, Boyd (alma a...	2010.18	860.48		34.18	12.00	
				2010.18			34.18	
	IPE				3364.74			52.22
					3364.74			52.22

Como podemos apreciar en la tabla, el utilizar la viga VOID hace que se aligere bastante la estructura como veremos más adelante, teniendo un peso total de la misma de 3364,74 Kg.

2.6.- Cargas (Barras)

Barras	Hipót.	Tipo	Cargas				Dirección		
			P1	P2	L1 (m)	L2 (m)	X	Y	Z
2/3	1 (PP 1)	Trapez.	0.846 KN/m	0.761 KN/m	0.000	3.016	0.000	0.000	-1.000
2/3	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
7/5	1 (PP 1)	Trapez.	0.846 KN/m	0.761 KN/m	0.000	3.016	0.000	0.000	-1.000
7/5	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Trapez.	0.932 KN/m	0.829 KN/m	0.000	0.650	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Trapez.	0.829 KN/m	0.726 KN/m	0.650	1.300	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Faja	0.560 KN/m	-	1.300	4.100	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Trapez.	0.726 KN/m	0.829 KN/m	4.100	5.050	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Trapez.	0.829 KN/m	0.932 KN/m	5.050	6.000	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Uniforme	2.340 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
6/7	1 (PP 1)	Trapez.	0.932 KN/m	0.829 KN/m	0.000	0.650	0.000	0.000	-1.000
6/7	1 (PP 1)	Trapez.	0.829 KN/m	0.726 KN/m	0.650	1.300	0.000	0.000	-1.000
6/7	1 (PP 1)	Faja	0.560 KN/m	-	1.300	4.100	0.000	0.000	-1.000



Pórtico Viga Void 40 Metros De Luz

6/7	1 (PP 1)	Trapez.	0.726 KN/m	0.829 KN/m	4.100	5.050	0.000	0.000	-1.000
6/7	1 (PP 1)	Trapez.	0.829 KN/m	0.932 KN/m	5.050	6.000	0.000	0.000	-1.000
6/7	1 (PP 1)	Uniforme	1.020 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
3/4	1 (PP 1)	Faja	0.650 KN/m	-	0.000	2.157	0.000	0.000	-1.000
3/4	1 (PP 1)	Faja	0.560 KN/m	-	2.157	16.017	0.000	0.000	-1.000
3/4	1 (PP 1)	Faja	0.650 KN/m	-	16.017	17.094	0.000	0.000	-1.000
3/4	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
5/4	1 (PP 1)	Faja	0.650 KN/m	-	0.000	2.157	0.000	0.000	-1.000
5/4	1 (PP 1)	Faja	0.560 KN/m	-	2.157	16.017	0.000	0.000	-1.000
5/4	1 (PP 1)	Faja	0.650 KN/m	-	16.017	17.094	0.000	0.000	-1.000
5/4	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000

2.7.- Desplazamientos

Nudos	Descripción	DESPLAZAMIENTOS (EJES GENERALES)					
		DX (m)	DY (m)	DZ (m)	GX (rad)	GY (rad)	GZ (rad)
1	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	-0.0210	0.0000	-0.0034	0.0000	0.0000
		0.0000	-0.0210	0.0000	-0.0034	0.0000	0.0000
3	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	-0.0187	-0.0240	-0.0119	0.0000	0.0000
		0.0000	-0.0187	-0.0240	-0.0119	0.0000	0.0000
4	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0028	-0.2421	0.0003	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0028	-0.2421	0.0003	0.0000	0.0000
5	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0245	-0.0217	0.0113	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0245	-0.0217	0.0113	0.0000	0.0000
6	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
7	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0266	0.0000	0.0025	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0266	0.0000	0.0025	0.0000	0.0000

El desplazamiento vertical que se produce en la cumbrera es de 24,21cm, como podemos apreciar en la tabla.

2.8.- Reacciones

Nudos	Descripción	REACCIONES (EJES GENERALES)					
		RX (KN)	RY (KN)	RZ (KN)	MX (KN·m)	MY (KN·m)	MZ (KN·m)
1	Envolvente (Cim.equil.)	0.0000	115.4347	88.5967	-464.1928	0.0000	0.0000
		0.0000	173.1521	132.8950	-309.4619	0.0000	0.0000
1	Envolvente (Cim.tens.terr.)	0.0000	115.4347	88.5967	-309.4619	0.0000	0.0000
		0.0000	115.4347	88.5967	-309.4619	0.0000	0.0000
6	Envolvente (Cim.equil.)	0.0000	-203.3920	89.2040	357.7956	0.0000	0.0000
		0.0000	-135.5947	133.8060	536.6934	0.0000	0.0000
6	Envolvente (Cim.tens.terr.)	0.0000	-135.5947	89.2040	357.7956	0.0000	0.0000
		0.0000	-135.5947	89.2040	357.7956	0.0000	0.0000



2.9.-Tensiones

Barras	TENSIÓN MÁXIMA								
	TENS. ()	APROV. (%)	Pos. (m)	N (KN)	Vy (KN)	Vz (KN)	Mt (KN·m)	My (KN·m)	Mz (KN·m)
2/3	0.9249	92.49	0.000	-185.7301	0.0000	-95.0318	0.0000	-573.6339	0.0000
7/5	0.9513	95.13	0.000	-185.8157	0.0000	-95.8472	0.0000	-590.0314	0.0000
1/2	0.9510	95.10	4.100	-116.0341	0.0000	-168.7887	0.0000	242.5110	0.0000
6/7	0.9861	98.61	1.300	-101.5093	0.0000	191.5880	0.0000	251.4518	0.0000
3/4	0.9543	95.43	0.000	-183.8666	0.0000	-77.1774	0.0000	-313.9541	0.0000
5/4	0.9928	99.28	0.000	-183.9523	0.0000	-77.9928	0.0000	-327.8919	0.0000

La descripción de las tensiones para este pórtico se reduce a la descripción del pilar y viga derecha del mismo, ya que en estas zonas es donde se producen las mayores tensiones. Vamos a empezar comentando el pilar: como ya sabemos, dicho pilar está formado por IPE 360mm reforzado con cartela inferior de 1,30 metros de longitud y cartela superior de 1,90 metros de longitud. Las tensiones en el pilar están distribuidas de manera que quedan tres zonas bien diferenciadas. En la primera zona junto al suelo las tensiones son bastante altas y por eso el hecho de colocar cartelas para que el perfil sea capaz de aguantar dicha tensión quedando éste aprovechado en un 98,60%. La zona intermedia tiene una longitud aproximada de 1,80 metros, en la cual el aprovechamiento medio del perfil es del 43,10%. Por último, en el pilar tenemos una zona junto a la viga en la que el aprovechamiento vuelve a ser bastante alto, alcanzando éste el 98,30%. Como podemos apreciar en el diagrama de tensiones de esta zona, la distribución de tensiones es bastante uniforme cubriendo una zona muy amplia, debido a esto se ha elegido la cartela correspondiente, la cual se ha descrito anteriormente.

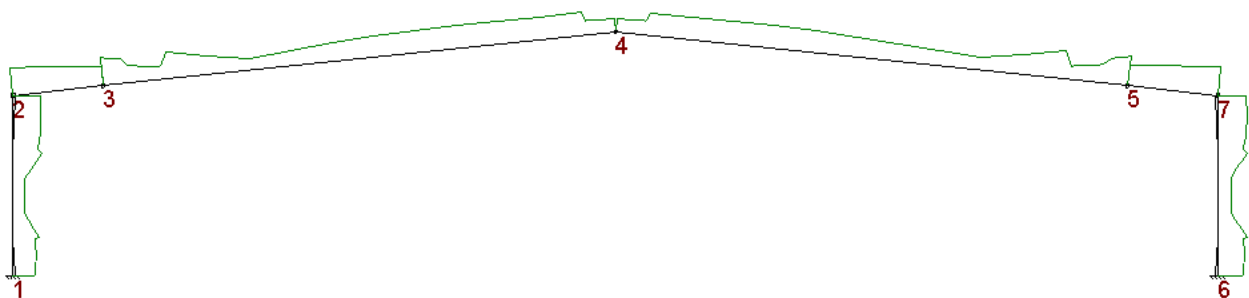


Diagrama de tensiones del pórtico.

En cuanto a la viga, podemos apreciar como el reparto de tensiones es bastante uniforme a lo largo de la misma. En este tipo de pórticos me he visto

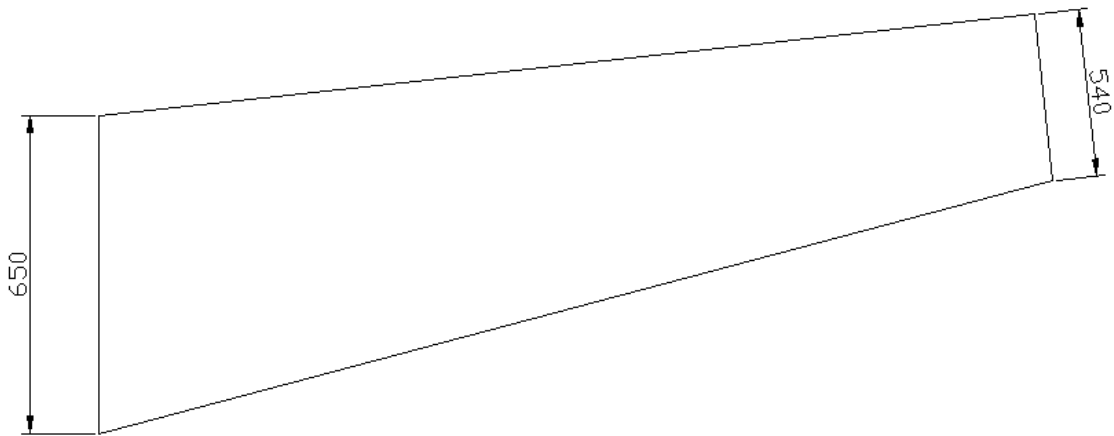


obligado a colocar un pequeño tramo de perfil de sección variable (5/7), debido a que el IPE tipo Void utilizado como viga no era capaz de aguantar la tensión en esta zona ni aún rellenando los huecos hexagonales de dicho perfil, tenía que aumentar el perfil y ya no sería una solución viable económicamente. Dicho tramo (5/7) está aprovechado de manera uniforme en un 95,10%, lo cual es una cifra bastante buena. El salto de aprovechamiento de perfil que se produce en el nudo 5 es debido a que el espesor del alma del tramo de sección variable es 2mm mayor al del IPE tipo Void. La barra (4-5) se ha realizado como ya sabemos con IPE 360 Void al cual se le ha rellenado dos huecos en la cumbrera y cuatro junto al tramo de sección variable para que la sección utilizada no fallara por cuestiones de tensión, debido a esto se produce el salto que podemos ver en el diagrama de tensiones. El aprovechamiento máximo de dicho tramo (4/5) es del 99,30%. La viga también tiene una zona intermedia en la que el aprovechamiento del perfil disminuye, pero si comparamos con las luces estudiadas anteriormente, vemos como este aprovechamiento ha aumentado considerablemente. En la última zona junto a la cumbrera, el aprovechamiento del perfil disminuye un poco respecto a la primera zona antes comentada, estando ésta en 75,80%.

3. Cálculo de rigidizadores

Según el CTE no es necesario colocar rigidizadores en perfiles laminados ya que éstos vienen diseñados de manera que no se produce abolladura del alma. En este caso, dado que hemos utilizado un pequeño tramo de Sección Variable, hay que hacer las comprobaciones que nos dice el CTE y ver si es necesario colocar rigidizadores del alma para corregir la abolladura del alma.

La pieza a comprobar es la que vemos a continuación:



1ª Comprobación sin rigidizadores:

$$\frac{d}{t} < 70 \times \varepsilon \quad \text{siendo } d \text{ y } t \text{ dimensiones del alma (altura y espesor)}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}} \quad \text{con } f_{ref} = 235 \text{ N/mm}^2 \quad \text{y con } f_y = 275 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{650}{10} < 70 \times 0,9244$$

$$65 < 64,708 \quad \text{No cumple.}$$

Vamos a diseñarlo de manera que se cumpla que $a \geq d$

donde a = separación entre rigidizadores

$$\frac{L}{d} = \frac{3,02}{0,650} = 4,646 \quad R = 5$$

$$a = \frac{L}{R - 1} = \frac{3,02}{4} = 0,755$$

$$a \geq d \quad ; \quad 0,755 \geq 0,65$$



2ª Comprobación con Rigidizadores:

$$\frac{d}{t} < 30 \times \varepsilon \times \sqrt{K_t}$$

Según CTE para $a \geq d$:

$$K_t = 5,34 + \frac{4}{\left(\frac{a}{d}\right)^2} \quad ; \quad K_t = 5,34 + \frac{4}{\left(\frac{0,755}{0,65}\right)^2} = 8,304$$

Los cálculos de la segunda comprobación son:

$$\frac{650}{10} < 30 \times 0,9244 \times \sqrt{8,304}$$

$$65 < 79,91 \quad \text{OK}$$

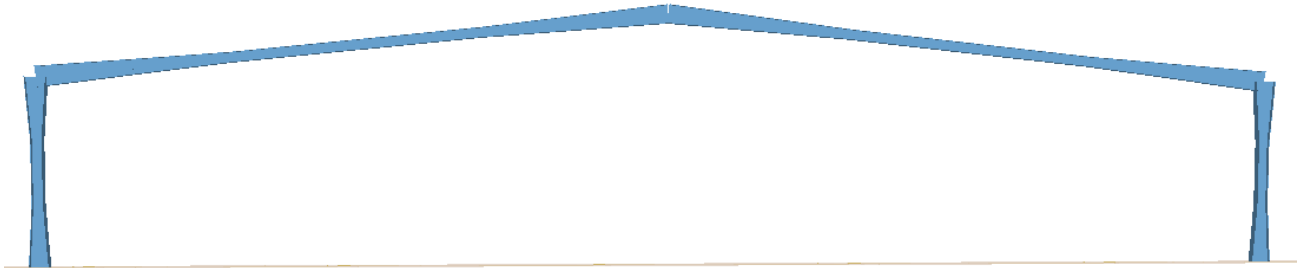
Hay que colocar 5 rigidizadores separados 755 mm.



PÓRTICO DE SECCIÓN VARIABLE

PÓRTICO SECCIÓN VARIABLE DE 40 METROS DE LUZ

1. Descripción general del pórtico:



Interpretación real del pórtico

El pórtico que vamos a describir a continuación tiene 40 metros de luz y está formado en su totalidad por perfiles de sección variable. Con este tipo de diseño lo que intentamos conseguir es minimizar la cantidad de acero a utilizar en el pórtico para así poder reducir los costes del mismo, disminuyendo o aumentando el canto y espesor del perfil según nos vaya haciendo falta realmente.

Para el diseño del pórtico hemos creado 19 nudos, de los cuales dos son empotramientos y los demás nudos rígidos, por tanto tenemos dieciocho barras. El espesor utilizado en los perfiles es el siguiente: el alma tiene un espesor de 9mm y las alas de 13mm, a excepción de la unión entre viga y pilar, es decir; las barras (13-19), (18-19) donde el espesor del ala es de 14mm y del alma de 10mm.

El pilar lo he dividido en cinco partes, teniendo así cinco barras diferentes. El fin de tal división es conseguir un mayor aprovechamiento de los perfiles. La primera barra (1-2), tiene una longitud de 1,00 metros con un canto inicial de 608mm y final de 470mm. A continuación la barra (2-3) tiene un canto inicial de 470mm y final de 350mm, con una longitud de 1,00 metro. La tercera barra (3-4) es de sección constante debido a que en esta zona las tensiones sobre el perfil son pequeñas y se mantienen a lo largo de esta barra, el canto de dicha barra es de 350mm y la longitud de la misma es de 2,00 metros. La barra (4-5), vuelve a ser de sección variable con una longitud de 1,50 metros, teniendo un canto inicial de 350mm y final de 590mm. Por último, la barra (5-6) tiene una longitud de 0,50 metros, con un canto inicial de 590 mm y final de 660mm.

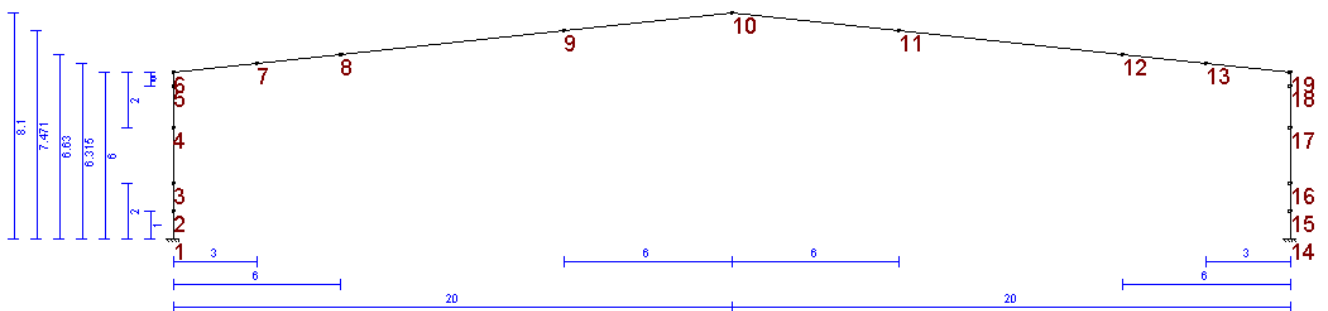
En la viga tenemos cuatro barras diferentes, continuando con la última del pilar, seguimos con la primera de la viga (6-7), la cual tiene una longitud de 3,02 metros con un canto inicial igual al del pilar de 660mm y final de 490mm. A continuación la barra (7-8) tiene una longitud de 3,02 metros, con un canto



inicial de 490mm y final de 320mm. La tercera barra (8-9) al igual que ocurre en el pilar, es de sección constante pero en este caso tiene 320mm de canto y una longitud de 8,04 metros. Por último la cuarta barra (9-10) tiene una longitud de 6,03 metros, el canto inicial es de 320mm y el final 600mm.

Para este caso es necesario el uso de rigidizadores en las barras (5-6), (6-7) y sus simétricas ya que los cantos utilizados son muy grandes. El cálculo de los rigidizadores se detalla al final de este pórtico.

A continuación mostramos un esquema del pórtico donde se detallan los nudos y las cotas del mismo.



Esquema de nudos, cotas y tipo de perfil.

2. Descripción de valores aportados por Cype

Ahora se detallan los datos que nos aporta el programa en forma de tablas en las cuales podemos apreciar nudos, cargas, tensiones, pesos, cotas, etc., que describiremos a continuación:

2.1 - Nudos

Nudos	Coordenadas (m)			Vínculos
	X	Y	Z	
1	0.000	0.000	0.000	Empotrado
2	0.000	0.000	1.000	Empotrado
3	0.000	0.000	2.000	Empotrado
4	0.000	0.000	4.000	Empotrado
5	0.000	0.000	5.500	Empotrado
6	0.000	0.000	6.000	Empotrado
7	0.000	3.000	6.315	Empotrado
8	0.000	6.000	6.630	Empotrado
9	0.000	14.000	7.471	Empotrado
10	0.000	20.000	8.100	Empotrado
11	0.000	26.000	7.471	Empotrado
12	0.000	34.000	6.630	Empotrado
13	0.000	37.000	6.315	Empotrado



Pórtico Sección Variable 40 Metros De Luz

14	0.000	40.000	0.000	Empotrado
15	0.000	40.000	1.000	Empotrado
16	0.000	40.000	2.000	Empotrado
17	0.000	40.000	4.000	Empotrado
18	0.000	40.000	5.500	Empotrado
19	0.000	40.000	6.000	Empotrado

2.2 - Barras: Características Mecánicas

Descripción	Inerc.Tor. cm4	Inerc.y cm4	Inerc.z cm4	Sección cm2
Acero, Sección Variable, Perfil simple + Separación 294/294 mm	33.508	12939.638	1265.386	73.260
Acero, Sección Variable, Perfil simple + Separación 324/324 mm	34.237	15845.081	1265.568	75.960
Acero, Sección Variable, Perfil simple + Separación 464/294 mm	35.574	22068.274	1265.902	80.910
Acero, Sección Variable, Perfil simple + Separación 444/324 mm	35.695	22693.577	1265.933	81.360
Acero, Sección Variable, Perfil simple + Separación 294/574 mm	36.910	29515.232	1266.237	85.860
Acero, Sección Variable, Perfil simple + Separación 324/564 mm	37.153	31006.553	1266.297	86.760
Acero, Sección Variable, Perfil simple + Separación 580/442 mm	49.961	45856.385	1365.058	101.500
Acero, Sección Variable, Perfil simple + Separación 632/462 mm	51.161	53302.022	1365.358	105.100
Acero, Sección Variable, Perfil simple + Separación 562/632 mm	52.828	64778.026	1365.775	110.100

2.3.- Barras: Materiales Utilizados

Material	Mód.elást. (GPa)	Mód.el.trans. (GPa)	Lím.elás.\Fck (MPa)	Co.dilat. (m/m°C)	Peso espec. (KN/m3)
Acero (S275)	206.01	79.23	275.00	1.2e-005	77.01

2.4.- Barras: Descripción

Barras	Material	Perfil	Peso (Kp)	Volumen (m3)	Longitud (m)
1/2	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 580/442 mm	79.69	0.010	1.00
2/3	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 444/324 mm	63.88	0.008	1.00
3/4	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 324/324 mm	119.26	0.015	2.00
4/5	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 324/564 mm	102.14	0.013	1.50
5/6	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 562/632 mm	43.21	0.006	0.50
6/7	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 632/462 mm	248.93	0.032	3.02
7/8	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 464/294 mm	191.63	0.024	3.02
8/9	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 294/294 mm	462.61	0.059	8.04
9/10	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 294/574 mm	406.51	0.052	6.03
11/10	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 294/574 mm	406.51	0.052	6.03
12/11	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 294/294 mm	462.61	0.059	8.04
13/12	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 464/294 mm	191.63	0.024	3.02
19/13	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 632/462 mm	248.93	0.032	3.02
14/15	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 580/442 mm	79.69	0.010	1.00
15/16	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 444/324 mm	63.88	0.008	1.00
16/17	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 324/324 mm	119.26	0.015	2.00
17/18	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 324/564 mm	102.14	0.013	1.50
18/19	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 562/632 mm	43.21	0.006	0.50



2.5.- Barras: Resumen Medición (Acero)

Descripción			Peso (Kp)			Longitud (m)		
			Perfil	Serie	Acero	Perfil	Serie	Acero
Acero (S275)	Sección	Sección Variable, Perfil	2692.06	3435.72	3435.72	43.18	52.22	52.22
		Sección Variable, Perfil	743.66			9.04		

El peso total del pórtico como podemos apreciar en la tabla es de 3435,72 Kg., es muy similar al pórtico Void y bastante inferior al de IPE, como veremos más adelante.

2.6.- Cargas (Barras)

Barras	Hipót.	Tipo	Cargas				Dirección		
			P1	P2	L1 (m)	L2 (m)	X	Y	Z
9/10	1 (PP 1)	Trapez.	0.564 KN/m	0.758 KN/m	0.000	6.033	0.000	0.000	-1.000
9/10	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
11/10	1 (PP 1)	Trapez.	0.564 KN/m	0.758 KN/m	0.000	6.033	0.000	0.000	-1.000
11/10	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
8/9	1 (PP 1)	Uniforme	0.564 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
8/9	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
12/11	1 (PP 1)	Uniforme	0.564 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
12/11	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
7/8	1 (PP 1)	Trapez.	0.682 KN/m	0.564 KN/m	0.000	3.016	0.000	0.000	-1.000
7/8	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
13/12	1 (PP 1)	Trapez.	0.682 KN/m	0.564 KN/m	0.000	3.016	0.000	0.000	-1.000
13/12	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
4/5	1 (PP 1)	Trapez.	0.585 KN/m	0.751 KN/m	0.000	1.500	0.000	0.000	-1.000
4/5	1 (PP 1)	Uniforme	2.340 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
15/16	1 (PP 1)	Trapez.	0.668 KN/m	0.585 KN/m	0.000	1.000	0.000	0.000	-1.000
15/16	1 (PP 1)	Uniforme	1.020 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
3/4	1 (PP 1)	Uniforme	0.585 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
3/4	1 (PP 1)	Uniforme	2.340 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
16/17	1 (PP 1)	Uniforme	0.585 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
16/17	1 (PP 1)	Uniforme	1.020 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
2/3	1 (PP 1)	Trapez.	0.668 KN/m	0.585 KN/m	0.000	1.000	0.000	0.000	-1.000
2/3	1 (PP 1)	Uniforme	2.340 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
17/18	1 (PP 1)	Trapez.	0.585 KN/m	0.751 KN/m	0.000	1.500	0.000	0.000	-1.000
17/18	1 (PP 1)	Uniforme	1.020 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
19/13	1 (PP 1)	Trapez.	0.875 KN/m	0.744 KN/m	0.000	3.016	0.000	0.000	-1.000
19/13	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
6/7	1 (PP 1)	Trapez.	0.875 KN/m	0.744 KN/m	0.000	3.016	0.000	0.000	-1.000
6/7	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
14/15	1 (PP 1)	Trapez.	0.835 KN/m	0.729 KN/m	0.000	1.000	0.000	0.000	-1.000
14/15	1 (PP 1)	Uniforme	1.020 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
5/6	1 (PP 1)	Trapez.	0.821 KN/m	0.875 KN/m	0.000	0.500	0.000	0.000	-1.000



Pórtico Sección Variable 40 Metros De Luz

5/6	1 (PP 1)	Uniforme	2.340 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
1/2	1 (PP 1)	Trapez.	0.835 KN/m	0.729 KN/m	0.000	1.000	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Uniforme	2.340 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
18/19	1 (PP 1)	Trapez.	0.821 KN/m	0.875 KN/m	0.000	0.500	0.000	0.000	-1.000
18/19	1 (PP 1)	Uniforme	1.020 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000

2.7.- Desplazamientos

Nudos	Descripción	DESPLAZAMIENTOS (EJES GENERALES)					
		DX (m)	DY (m)	DZ (m)	GX (rad)	GY (rad)	GZ (rad)
1	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	-0.0019	0.0000	0.0032	0.0000	0.0000
		0.0000	-0.0019	0.0000	0.0032	0.0000	0.0000
3	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	-0.0075	-0.0001	0.0068	0.0000	0.0000
		0.0000	-0.0075	-0.0001	0.0068	0.0000	0.0000
4	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	-0.0236	-0.0002	0.0052	0.0000	0.0000
		0.0000	-0.0236	-0.0002	0.0052	0.0000	0.0000
5	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	-0.0271	-0.0003	-0.0011	0.0000	0.0000
		0.0000	-0.0271	-0.0003	-0.0011	0.0000	0.0000
6	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	-0.0263	-0.0003	-0.0026	0.0000	0.0000
		0.0000	-0.0263	-0.0003	-0.0026	0.0000	0.0000
7	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	-0.0242	-0.0226	-0.0120	0.0000	0.0000
		0.0000	-0.0242	-0.0226	-0.0120	0.0000	0.0000
8	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	-0.0189	-0.0762	-0.0232	0.0000	0.0000
		0.0000	-0.0189	-0.0762	-0.0232	0.0000	0.0000
9	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0006	-0.2689	-0.0136	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0006	-0.2689	-0.0136	0.0000	0.0000
10	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0033	-0.2987	0.0004	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0033	-0.2987	0.0004	0.0000	0.0000
11	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0064	-0.2639	0.0143	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0064	-0.2639	0.0143	0.0000	0.0000
12	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0260	-0.0701	0.0227	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0260	-0.0701	0.0227	0.0000	0.0000
13	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0311	-0.0191	0.0110	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0311	-0.0191	0.0110	0.0000	0.0000
14	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
15	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0022	0.0000	-0.0036	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0022	0.0000	-0.0036	0.0000	0.0000
16	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0086	-0.0001	-0.0078	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0086	-0.0001	-0.0078	0.0000	0.0000
17	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0274	-0.0002	-0.0066	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0274	-0.0002	-0.0066	0.0000	0.0000
18	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0330	-0.0003	-0.0002	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0330	-0.0003	-0.0002	0.0000	0.0000
19	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0328	-0.0003	0.0014	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0328	-0.0003	0.0014	0.0000	0.0000

El desplazamiento vertical que se produce debido a la flexión en el nudo



10 (cumbreira) es de 29,87 cm. Éste valor es muy importante tenerlo en cuenta a la hora del diseño del pórtico, porque este desplazamiento no puede ser excesivo.

2.8.- Reacciones

Nudos	Descripción	REACCIONES (EJES GENERALES)					
		RX (KN)	RY (KN)	RZ (KN)	MX (KN·m)	MY (KN·m)	MZ (KN·m)
1	Envolvente (Cim.equil.)	0.0000	127.6935	89.0344	-550.1636	0.0000	0.0000
		0.0000	191.5402	133.5516	-366.7757	0.0000	0.0000
1	Envolvente (Cim.tens.terr.)	0.0000	127.6935	89.0344	-366.7757	0.0000	0.0000
		0.0000	127.6935	89.0344	-366.7757	0.0000	0.0000
14	Envolvente (Cim.equil.)	0.0000	-221.7802	89.4617	418.7108	0.0000	0.0000
		0.0000	-147.8535	134.1925	628.0662	0.0000	0.0000
14	Envolvente (Cim.tens.terr.)	0.0000	-147.8535	89.4617	418.7108	0.0000	0.0000
		0.0000	-147.8535	89.4617	418.7108	0.0000	0.0000

2.9.-Tensiones

Barras	TENSIÓN MÁXIMA								
	TENS. ()	APROV. (%)	Pos. (m)	N (KN)	Vy (KN)	Vz (KN)	Mt (KN·m)	My (KN·m)	Mz (KN·m)
9/10	0.7038	70.38	0.000	-193.8857	0.0000	-14.2794	0.0000	160.6142	0.0000
11/10	0.6886	68.86	0.000	-193.9458	0.0000	-14.8530	0.0000	157.1535	0.0000
8/9	0.7038	70.38	8.044	-193.8898	0.0000	-14.2234	0.0000	160.6142	0.0000
12/11	0.6886	68.86	8.044	-193.9501	0.0000	-14.7970	0.0000	157.1535	0.0000
7/8	0.8472	84.72	0.000	-200.4061	0.0000	-76.3244	0.0000	-338.9991	0.0000
13/12	0.8717	87.17	0.000	-200.4664	0.0000	-76.8980	0.0000	-348.8044	0.0000
4/5	0.9696	96.96	1.500	-115.3631	0.0000	-189.7607	0.0000	500.7567	0.0000
15/16	0.9686	96.86	0.000	-119.7180	0.0000	198.2252	0.0000	366.3459	0.0000
3/4	0.8574	85.74	2.000	-116.7160	0.0000	-185.0222	0.0000	219.6695	0.0000
16/17	0.8671	86.71	2.000	-117.2928	0.0000	194.0942	0.0000	-222.1332	0.0000
2/3	0.8492	84.92	0.000	-119.1413	0.0000	-175.5452	0.0000	-321.1815	0.0000
17/18	0.9908	99.08	1.425	-116.0155	0.0000	192.1320	0.0000	-497.3193	0.0000
19/13	0.9253	92.53	0.000	-202.3414	0.0000	-94.7559	0.0000	-607.5676	0.0000
6/7	0.9077	90.77	0.000	-202.2812	0.0000	-94.1823	0.0000	-596.0319	0.0000
14/15	0.9671	96.71	0.000	-120.7733	0.0000	199.6022	0.0000	565.2596	0.0000
5/6	0.9077	90.77	0.500	-114.7908	0.0000	-191.3402	0.0000	596.0319	0.0000
1/2	0.8472	84.72	0.000	-120.1965	0.0000	-172.3862	0.0000	-495.1472	0.0000
18/19	0.9253	92.53	0.500	-115.3676	0.0000	191.3402	0.0000	-607.5676	0.0000

La descripción de las tensiones para este pórtico se reduce a la descripción del pilar y viga derecha del mismo, ya que en estos es donde se produce las mayores tensiones. Vamos a empezar comentando el pilar: si echamos un vistazo al diagrama de tensiones podemos ver como el reparto de tensiones en el pilar es uniforme a lo largo del mismo exceptuando la zona intermedia, pero siendo esta última un tramo muy corto de tan solo 1,60 metro del longitud. El valor de aprovechamiento de los perfiles es el siguiente: el que se encuentra junto al suelo (14-15) tiene un aprovechamiento del 96,70%, totalmente uniforme y constante en dicha barra. La barra (15-16) al igual que la



Pórtico Sección Variable 40 Metros De Luz

anterior tiene un aprovechamiento uniforme y constante con un valor del 96,90%. Como podemos apreciar el aprovechamiento de la barra (15-16) es ligeramente superior al de la barra (14-15), esto no es lo que ocurre normalmente ya que el perfil que se encuentra junto al suelo siempre está soportando mayor tensión, que en este caso también sigue siendo así, pero este cambio de aprovechamiento es debido a que el espesor utilizado en ambos perfiles es diferente, según se ha comentado más arriba, ya que un perfil con los mismos espesores de la barra (15-16) no era capaz de aguantar la tensión en dicha zona ni aun aumentando los cantos del perfil. En la barra intermedia (16-17) el aprovechamiento medio es del 46,50% pero como hemos dicho anteriormente es una barra muy corta. La barra (17-18) tiene un aprovechamiento del 99,10% uniforme en toda la barra. Por último, la barra que se encuentra junto a la viga, (18-19), también tiene un espesor superior al resto del pórtico, siendo éste igual al de la barra (14-15) comentada anteriormente. Esto es debido a que hay un aumento de tensión bastante considerable en esta zona de unión con la viga, con lo cual me he visto obligado a aumentar el espesor del perfil, dicha barra tiene un aprovechamiento del 92,50%, siendo este valor uniforme y constante en toda la barra.

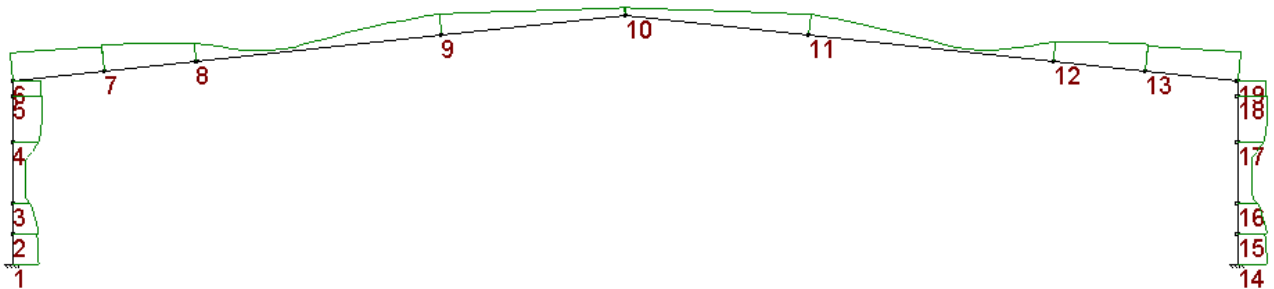


Diagrama de tensiones del pórtico.

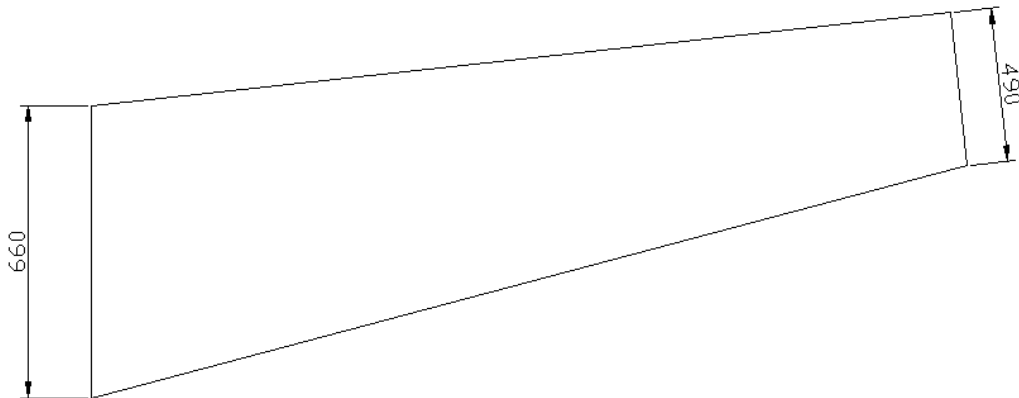
La viga como ya sabemos consta de cuatro tramos. El tramo (13-19) pertenece a la zona anteriormente comentada, por lo tanto el espesor del perfil utilizado es igual al de la barra (18-19), esta barra está aprovechada al 92,50% aunque disminuye dicho aprovechamiento conforme nos acercamos a la barra (12-13), la cual tiene un aprovechamiento del 87,20% y el espesor de la misma ya es igual al resto del pórtico. En la barra intermedia (11-12) existe una variación en el aprovechamiento del perfil, oscilando entre un 68,90% de máximo y el 11,40% de mínimo. Por último en la barra (10-11), como podemos apreciar en el diagrama de tensiones, el nudo 11 tiene un aprovechamiento del perfil de 68,90% y que dicho aprovechamiento va disminuyendo conforme nos acercamos a la cumbrera, siendo éste de 27,10%. Ésta disminución de aprovechamiento a lo largo del perfil se produce porque conforme nos acercamos a la cumbrera, el canto del perfil utilizado va siendo mayor. Es verdad que podríamos haber disminuido dicho canto para poder aprovecharlo

mejor, pero si lo hubiéramos hecho el desplazamiento vertical que se produce en el nudo 10 sería demasiado grande y no lo podríamos permitir.

3. Cálculo de rigidizadores

Según el CTE no es necesario colocar rigidizadores en perfiles laminados ya que éstos vienen diseñados de manera que no se produce abolladura del alma. En este caso, dado que todos los perfiles son de sección variable habría que comprobarlos todos, pero después de haber realizado una primera valoración, en este caso solo hay que colocar rigidizadores en las barras (13-19) perteneciente a la viga y (18-19) del pilar.

La pieza ha comprobar de la viga, (13-19), es la que vemos a continuación:



1ª Comprobación sin rigidizadores:

$$\frac{d}{t} < 70 \times \varepsilon \quad \text{siendo } d \text{ y } t \text{ dimensiones del alma (altura y espesor)}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}} \quad \text{con } f_{ref} = 235 \text{ N/mm}^2 \quad \text{y con } f_y = 275 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{660}{10} < 70 \times 0,9244$$

$$66 < 64,708 \quad \text{No cumple.}$$

Vamos a diseñarlo de manera que se cumpla que $a \geq d$

donde a = separación entre rigidizadores

$$\frac{L}{d} = \frac{3,02}{0,660} = 4,576 \quad R = 5$$



$$a = \frac{L}{R - 1} = \frac{3,02}{4} = 0,755$$

$$a \geq d \quad ; \quad 0,755 \geq 0,660$$

2ª Comprobación con Rigidizadores:

$$\frac{d}{t} < 30 \times \varepsilon \times \sqrt{K_t}$$

Según CTE para $a \geq d$:

$$K_t = 5,34 + \frac{4}{\left(\frac{a}{d}\right)^2} \quad ; \quad K_t = 5,34 + \frac{4}{\left(\frac{0,755}{0,660}\right)^2} = 8,39$$

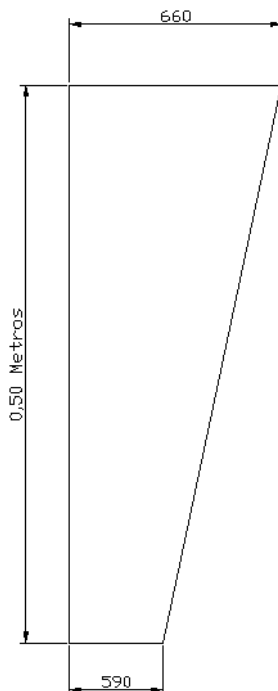
Los cálculos de la segunda comprobación son:

$$\frac{660}{10} < 30 \times 0,9244 \times \sqrt{8,39}$$

$$66 < 80,359 \text{ OK}$$

Hay que colocar 5 rigidizadores separados 755 mm.

La pieza (18-19), perteneciente al pilar es la siguiente:



1ª Comprobación sin rigidizadores:

$$\frac{d}{t} < 70 \times \varepsilon$$

Siendo d y t dimensiones del alma (altura y espesor)

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}} \quad \text{con} \quad f_{ref} = 235 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{y con} \quad f_y = 275 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{660}{10} < 70 \times 0,9244$$

$$66 < 64,708 \text{ No cumple.}$$



En este caso al ser un perfil tan corto vamos a colocar 2 rigidizadores uno en cada punta del perfil de manera que quedaría lo siguiente:

Hay que colocar 2 rigidizadores separados 500 mm.



RESUMEN PARA 40 METROS DE LUZ



RESUMEN DEL ESTUDIO REALIZADO PARA 40 METROS

A continuación vamos a hacer una comparación entre los cuatro tipos de diseños descritos anteriormente para 40 metros de luz, eligiendo en base al estudio realizado la solución más aconsejable.

En la tabla que vemos justo debajo aparece a modo de resumen los datos más significativos de cada uno de los pórticos. Estos datos a los que hacemos referencia son: las tensiones o grado de aprovechamiento del perfil, el desplazamiento que se produce en el punto más alto de los pórticos (cumbreira) y por último, siendo éste el más importante, el peso total de la estructura. Decimos que es el más importante porque la finalidad de este estudio es conseguir la solución estructural más económica de entre las posibles y esto está relacionado directamente con el peso de la estructura.

(+Peso → +Coste)

Tabla 1. Resumen de los datos más significativos de los diseños estudiados

TIPO DE PÓRTICO	(APROVECHAMIENTO) TENSIONES %		DESPL. VERTICAL CUMBRERA (CM)	PESO PROPIO (KP)
	DINTEL DERECHO	PILAR DERECHO		
IPE 400	89,80%	98,20%	23,73 cm	4075,10
VIGA VOID 360	95,13%	98,61%	24,21 cm	3364,74
SECCIÓN VARIABLE*	92,50%	96,90%	29,87 cm	3435,72
VIGA CELOSÍA*		92,65%	12,02 cm	2602,55

SECCIÓN VARIABLE* Es el único pórtico en el que el pilar no es un IPE, siendo éste de sección variable.

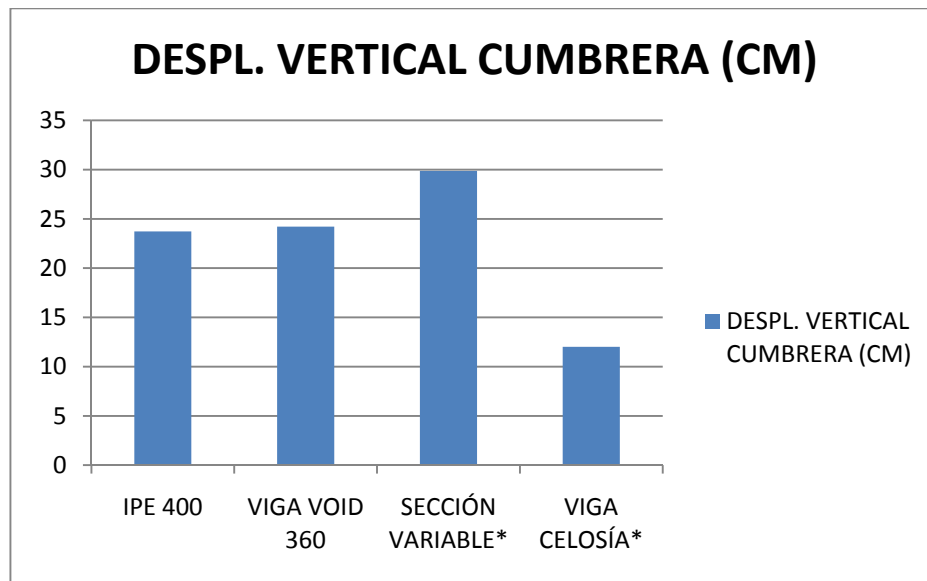
VIGA CELOSÍA* Debido a que la celosía tiene tantas barras, el aprovechamiento de las mismas es muy diverso, no teniendo muy claro el aprovechamiento medio de la misma.

En la tabla podemos ver cómo se van produciendo diferencias sobre todo en desplazamiento en cumbreira y el peso total de la estructura.

En cuanto a las tensiones o grado de aprovechamiento del perfil, se ha intentado que en cada uno de los pórticos estos valores sean máximos, por tanto la diferencia entre los mismos es muy pequeña. Atendiendo a la tabla, el tipo de pórtico que tiene un grado de aprovechamiento más alto en general es el Void.

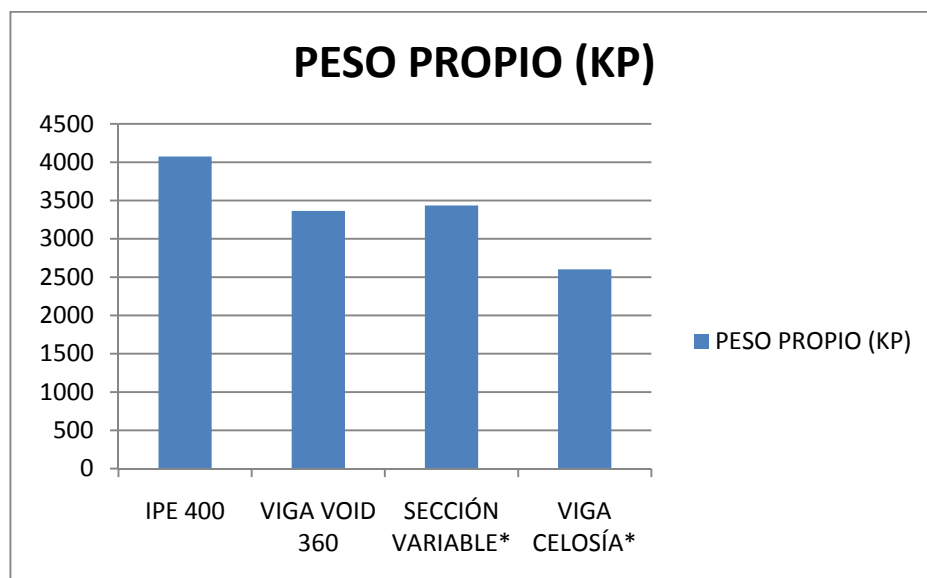


Gráfica 1. Desplazamiento vertical en función del tipo de pórtico



El desplazamiento vertical producido en la cumbre para el pórtico en Celosía es de 12,02 cm, es en el que se produce menos deformación. Los demás pórticos tienen desplazamientos bastante superiores a la Celosía pero son muy parecidos entre ellos, variando solo entre 23cm y 29cm, siendo en el pórtico de sección Variable en el que más desplazamiento se produce, como podemos apreciar en la tabla.

Gráfica 2. Kilos de acero en función del tipo de pórtico



El pórtico IPE como podemos apreciar en la tabla es el más pesado de todos con 4075,10 Kg., justo después está Sección Variable y Void con 3435,72 Kg y 3364,74 Kg respectivamente. Como podemos apreciar la



diferencia que existe entre Variable y Void es de apenas 70 Kg, atendiendo a esto, podemos descartar de inmediato la solución Void ya que, como ya hemos comentado en otra ocasión sus costes de fabricación son muy elevados. A continuación valoraremos las soluciones Variable y IPE, ambas se comportan de manera muy similar, con desplazamientos en cumbrera y valores de tensiones muy parecidos. La principal diferencia que existe entre ellos es el peso, siendo este de 639,38 Kg y el coste de fabricación de los mismos, siendo muy superior el de sección variable sobre el IPE. Como podemos apreciar la diferencia de peso entre ambas soluciones es bastante grande, decantándonos en este caso por el diseño de Sección Variable.

Como podemos apreciar en la tabla el pórtico más ligero de todos es el de Celosía con un peso de 2602,55 Kp.

Tras lo comentado anteriormente vemos como la diferencia de peso con respecto al pórtico de Celosía cada vez es mayor. Descartadas ya las opciones de pórtico IPE y viga VOID, nos centramos en los pórticos Sección Variable y Celosía. La diferencia de peso entre ambos es de aproximadamente 833,17 Kg. También es de valorar a la hora de decidirnos por la solución más acertada, los tiempos de fabricación de ambos pórticos. En este caso, estos tiempos son muy parecidos.

En este caso, y atendiendo a lo descrito anteriormente me voy a inclinar por el diseño Celosía aun sabiendo la incertidumbre que crea la elección de este diseño para una luz tan grande, ya que el grado de aprovechamiento de los perfiles es inferior al de Sección Variable y los desplazamientos que se producen en la cumbrera también son menores, quedándonos así por el lado de la seguridad.



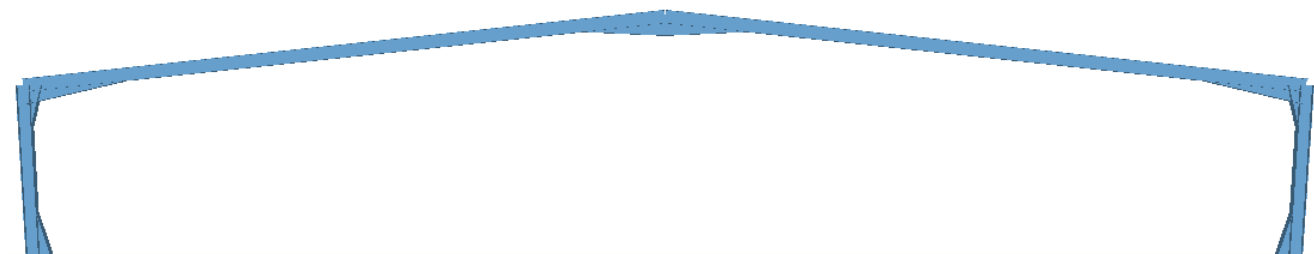
PÓRTICOS PARA 45 METROS DE LUZ



PÓRTICO PERFILES IPE

PÓRTICO IPE 45 METROS DE LUZ

1. Descripción general del pórtico:

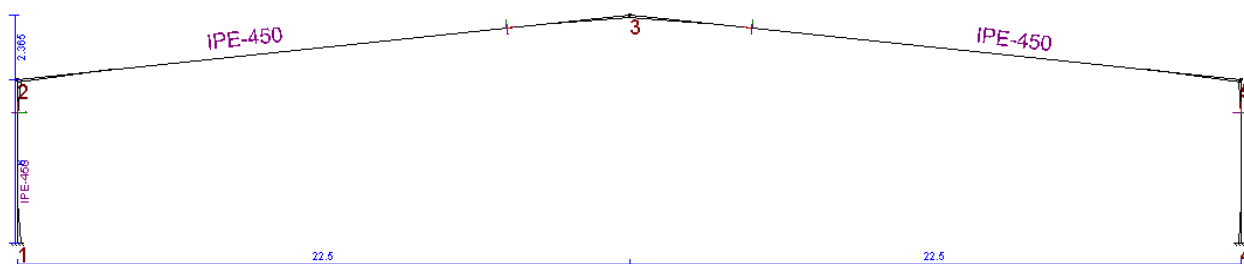


Interpretación real del pórtico

Este pórtico tiene 45 metros de luz y se ha realizado con perfil IPE de 450 milímetros de alma, para poder bajar el perfil lo máximo posible, ha sido necesaria la colocación de refuerzos “cartelas” en todos sus nudos. Estas cartelas se construyen con el mismo perfil utilizado en el pórtico pero cortado a la mitad en ángulo y colocándolas como aparecen en la imagen superior. La longitud de las cartelas superiores e inferiores del pilar son de 1,40 metros y 1,50 metros respectivamente, las cuales son relativamente grandes, pero que ha sido necesario colocar al ser el pilar de dicha sección.

Las vigas que conforman el dintel del pórtico también son IPE de 450 milímetros de alma. Estas vigas también han sido reforzadas en sus nudos con cartelas. La cartela de la cumbrera tiene una longitud de 2,80 metros y la que se encuentra junto al pilar tiene 3,50 metros. El diagrama de tensiones es similar a las luces estudiadas anteriormente, con la salvedad de que las zonas de aprovechamiento son mayores.

En la imagen que podemos apreciar más abajo, aparece a modo de esquema los perfiles utilizados en el pórtico, las cotas y la numeración de los nudos del mismo.



Esquema de nudos, cotas y tipo de perfil.



2. Descripción de valores aportados por Cype

A continuación aparecen unos listados con todos los datos de mediciones, tensiones, peso, reacciones, etc... que nos ha aportado Cype, junto con algunas aclaraciones para su mejor comprensión.

2.1 - Nudos

Nudos	Coordenadas (m)			Vínculos
	X	Y	Z	
1	0.000	0.000	0.000	Empotrado
2	0.000	0.000	6.000	Empotrado
3	0.000	22.500	8.365	Empotrado
4	0.000	45.000	0.000	Empotrado
5	0.000	45.000	6.000	Empotrado

2.2 - Barras: Características Mecánicas

Descripción	Inerc.Tor. cm4	Inerc.y cm4	Inerc.z cm4	Sección cm2
Acero, IPE-450, Simple con cartelas (IPE)	65.900	33740.000	1680.000	98.800

2.3.- Barras: Materiales Utilizados

Material	Mód.elást. (GPa)	Mód.el.trans. (GPa)	Lím.elás.\Fck (MPa)	Co.dilat. (m/m°C)	Peso espec. (KN/m3)
Acero (S275)	206.01	79.23	275.00	1.2e-005	77.01

2.4.- Barras: Descripción

Barras	Material	Perfil	Peso (Kp)	Volumen (m3)	Longitud (m)
1/2	Acero (S275)	IPE-450 (IPE) + carts. sup. 1.500 m y 1.400 m	573.53	0.073	6.00
2/3	Acero (S275)	IPE-450 (IPE) + carts. inf. 3.500 m y 2.800 m	1989.72	0.253	22.62
5/3	Acero (S275)	IPE-450 (IPE) + carts. inf. 3.500 m y 2.800 m	1989.72	0.253	22.62
4/5	Acero (S275)	IPE-450 (IPE) + carts. inf. 1.500 m y 1.400 m	573.53	0.073	6.00

En esta tabla podemos apreciar las longitudes de las cartelas junto con la longitud de los perfiles utilizados y el peso de los mismos.



2.5.- Barras: Resumen Medición (Acero)

Descripción			Peso (Kp)			Longitud (m)		
			Perfil	Serie	Acero	Perfil	Serie	Acero
Acero (S275)	IPE	IPE-450, Simple con c...	5126.50	5126.50		57.24	57.24	
					5126.50			57.24
					5126.50			57.24

El peso total de la estructura como podemos apreciar en la tabla es de 5126,50 kg. Este peso es el más alto de entre todos los diseños estudiados como veremos más adelante.

2.6.- Cargas (Barras)

Barras	Hipót.	Tipo	Cargas				Dirección		
			P1	P2	L1 (m)	L2 (m)	X	Y	Z
2/3	1 (PP 1)	Trapez.	1.279 KN/m	1.127 KN/m	0.000	1.750	0.000	0.000	-1.000
2/3	1 (PP 1)	Trapez.	1.127 KN/m	0.974 KN/m	1.750	3.500	0.000	0.000	-1.000
2/3	1 (PP 1)	Faja	0.761 KN/m	-	3.500	19.824	0.000	0.000	-1.000
2/3	1 (PP 1)	Trapez.	0.974 KN/m	1.127 KN/m	19.824	21.224	0.000	0.000	-1.000
2/3	1 (PP 1)	Trapez.	1.127 KN/m	1.279 KN/m	21.224	22.624	0.000	0.000	-1.000
2/3	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
5/3	1 (PP 1)	Trapez.	1.279 KN/m	1.127 KN/m	0.000	1.750	0.000	0.000	-1.000
5/3	1 (PP 1)	Trapez.	1.127 KN/m	0.974 KN/m	1.750	3.500	0.000	0.000	-1.000
5/3	1 (PP 1)	Faja	0.761 KN/m	-	3.500	19.824	0.000	0.000	-1.000
5/3	1 (PP 1)	Trapez.	0.974 KN/m	1.127 KN/m	19.824	21.224	0.000	0.000	-1.000
5/3	1 (PP 1)	Trapez.	1.127 KN/m	1.279 KN/m	21.224	22.624	0.000	0.000	-1.000
5/3	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Trapez.	1.279 KN/m	1.127 KN/m	0.000	0.750	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Trapez.	1.127 KN/m	0.974 KN/m	0.750	1.500	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Faja	0.761 KN/m	-	1.500	4.600	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Trapez.	0.974 KN/m	1.127 KN/m	4.600	5.300	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Trapez.	1.127 KN/m	1.279 KN/m	5.300	6.000	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Uniforme	2.340 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
4/5	1 (PP 1)	Trapez.	1.279 KN/m	1.127 KN/m	0.000	0.750	0.000	0.000	-1.000
4/5	1 (PP 1)	Trapez.	1.127 KN/m	0.974 KN/m	0.750	1.500	0.000	0.000	-1.000
4/5	1 (PP 1)	Faja	0.761 KN/m	-	1.500	4.600	0.000	0.000	-1.000
4/5	1 (PP 1)	Trapez.	0.974 KN/m	1.127 KN/m	4.600	5.300	0.000	0.000	-1.000
4/5	1 (PP 1)	Trapez.	1.127 KN/m	1.279 KN/m	5.300	6.000	0.000	0.000	-1.000
4/5	1 (PP 1)	Uniforme	1.020 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000



2.7.- Desplazamientos

Nudos	Descripción	DESPLAZAMIENTOS (EJES GENERALES)					
		DX (m)	DY (m)	DZ (m)	GX (rad)	GY (rad)	GZ (rad)
1	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	-0.0237	-0.0003	-0.0004	0.0000	0.0000
		0.0000	-0.0237	-0.0003	-0.0004	0.0000	0.0000
3	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0016	-0.2557	0.0002	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0016	-0.2557	0.0002	0.0000	0.0000
4	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
5	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0270	-0.0003	-0.0002	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0270	-0.0003	-0.0002	0.0000	0.0000

El desplazamiento que se produce en la cumbrera como podemos ver en la tabla es de 25,57 cm. Este desplazamiento se debe a la flexión que se produce en las vigas.

2.8.- Reacciones

Nudos	Descripción	REACCIONES (EJES GENERALES)					
		RX (KN)	RY (KN)	RZ (KN)	MX (KN·m)	MY (KN·m)	MZ (KN·m)
1	Envolvente (Cim.equil.)	0.0000	175.9123	106.4193	-796.0902	0.0000	0.0000
		0.0000	263.8684	159.6289	-530.7268	0.0000	0.0000
1	Envolvente (Cim.tens.terr.)	0.0000	175.9123	106.4193	-530.7268	0.0000	0.0000
		0.0000	175.9123	106.4193	-530.7268	0.0000	0.0000
4	Envolvente (Cim.equil.)	0.0000	-294.1084	106.7629	583.4748	0.0000	0.0000
		0.0000	-196.0723	160.1444	875.2122	0.0000	0.0000
4	Envolvente (Cim.tens.terr.)	0.0000	-196.0723	106.7629	583.4748	0.0000	0.0000
		0.0000	-196.0723	106.7629	583.4748	0.0000	0.0000

2.9.- Tensiones

Barras	TENSION MÁXIMA								
	TENS. ()	APROV. (%)	Pos. (m)	N (KN)	Vy (KN)	Vz (KN)	Mt (KN·m)	My (KN·m)	Mz (KN·m)
2/3	0.9638	96.38	3.500	-270.4830	0.0000	-74.3919	0.0000	-410.0918	0.0000
5/3	0.9845	98.45	3.500	-270.5519	0.0000	-74.8506	0.0000	-418.9126	0.0000
1/2	0.9444	94.44	4.600	-138.2002	0.0000	-252.0130	0.0000	401.8510	0.0000
4/5	0.9584	95.84	4.600	-138.6641	0.0000	258.3634	0.0000	-407.8202	0.0000

El pórtico que nos ocupa consta de cuatro barras, pero realmente a efectos de estudio solo vamos a describir la viga de la derecha y el pilar



derecho ya que, según hemos aplicado la hipótesis de carga, son los que están soportando más tensión.

Como podemos apreciar en la tabla el grado de aprovechamiento del pilar y viga derecha es bastante alto 95,84% y 98,45% respectivamente, lo cual nos indica que el diseño utilizado es bastante bueno.

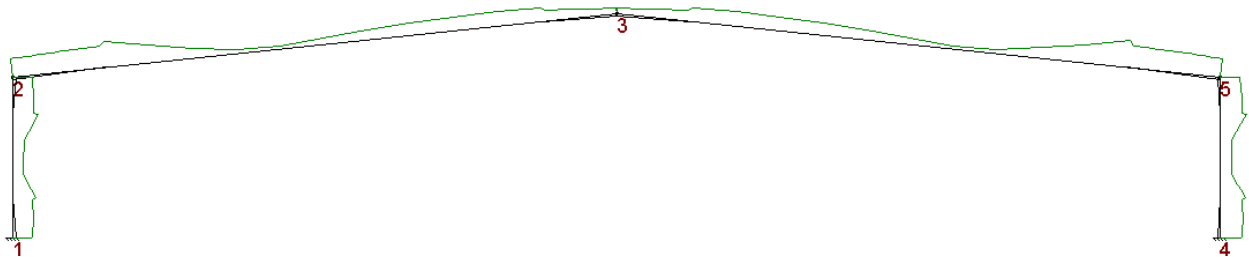


Diagrama de tensiones del pórtico.

Si nos fijamos ahora en el diagrama de tensiones vemos como este alto aprovechamiento de los perfiles se produce en las cercanías de los nudos, habiendo una zona tanto en el pilar como en la viga en la que este aprovechamiento disminuye considerablemente, pero al ser un perfil constante esta zona no se puede aprovechar mejor. Utilizando otros diseños como sección variable o Void veremos que esta zona se disminuye de manera considerable.

A continuación vamos a describir lo que le ocurre al pilar y viga derecho en cuanto al grado de aprovechamiento del perfil.

El pilar tiene tres zonas bien diferenciadas, la primera junto al suelo tiene una longitud de unos 1,8 metros en la que el reparto de tensiones es uniforme y bastante alto, debido a esto se ha colocado la cartela reforzando esta zona, con una longitud de 1,5 metros. El aprovechamiento en esta zona está en torno al 93,90% justo en el punto donde acaba la cartela. En la zona intermedia del pilar, de unos 2,4 metros de longitud, el aprovechamiento medio está en torno al 47%, habiendo una pequeña zona donde dicho aprovechamiento es del 42,70%. Por último, en la zona junto a la viga, el aprovechamiento vuelve a subir hasta el 95,80% manteniéndose casi constante en un tramo de 1,80 metros de longitud. Debido al aumento de la tensión hasta tal punto, ha sido necesaria la colocación de la cartela de 1,40 metros de longitud para reforzar esta zona.

Para la viga, en la primera zona que está pegando a la cumbrera, la tensión es inferior a la que se produce junto al pilar, si atendemos al estudio realizado en las luces anteriores para este diseño vemos que conforme aumenta la luz, el aprovechamiento del perfil en la zona de la cumbrera va disminuyendo, siendo el aprovechamiento para esta zona del 52,60%. La



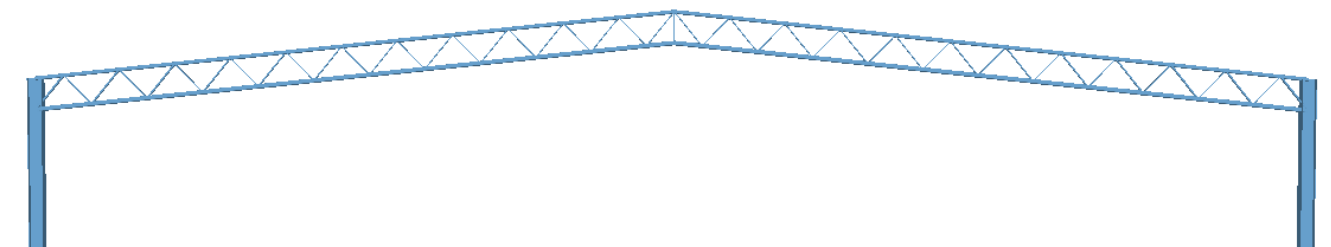
cartela colocada en dicha zona tiene una longitud de 2,80 metros, este refuerzo no le hace falta por cuestiones de tensión sino por reforzar una zona bastante delicada, debido a los desplazamientos que se producen en ella. La zona intermedia del perfil comprende unos 15 metros de longitud. En dicha zona la tensión que soporta el perfil es bastante inferior a la del resto del mismo, teniendo una pequeña zona con tan solo el 12,30% de aprovechamiento del perfil. El último tramo junto al pilar, el aprovechamiento como podemos apreciar es más alto y más uniforme a lo largo del perfil, teniendo un valor de 98,50%. Por tanto ha sido necesaria la colocación de una cartela con una longitud de 3,50 metros.



PÓRTICO VIGA DE CELOSÍA

PÓRTICO VIGA DE CELOSÍA 45 METROS DE LUZ

1. Descripción general del pórtico:

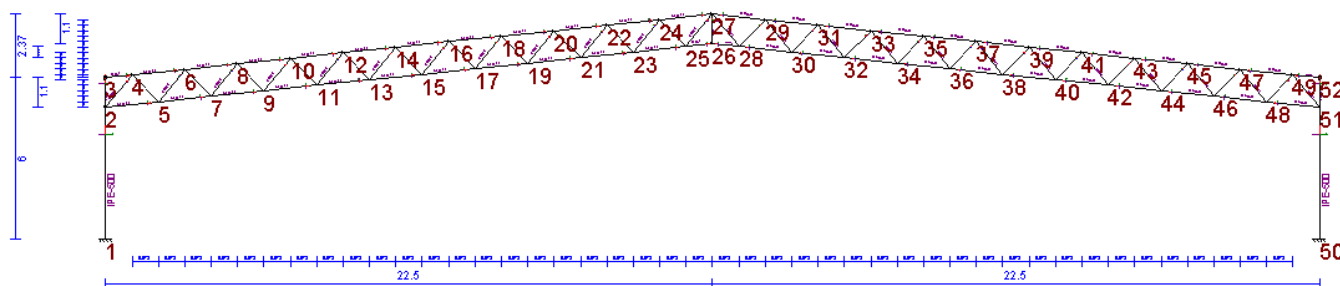


Interpretación real del pórtico

El pórtico que nos ocupa como ya sabemos tiene 45 metros de luz, sus pilares son IPE y la viga es una celosía cuyo diseño es el mismo de las estudiadas anteriormente.

Para los pilares se ha utilizado una sección de IPE 500 mm. En este caso no ha sido necesaria la colocación de cartelas inferiores ya que en el diagrama de tensiones del pilar, se ha equilibrado el aprovechamiento de la zona inferior con la superior del mismo. Esto quiere decir que el aprovechamiento de la parte inferior del perfil es muy similar al de la parte superior y como en la parte superior no colocamos cartelas por cuestiones de diseño en la parte inferior no son necesarias.

La viga como ya hemos comentado se ha solucionado con una celosía, formada en su totalidad por perfiles cuadrados huecos. Dicha celosía está formada por un montante vertical en la cumbrera y cuarenta y seis diagonales, las cuales forman un ángulo con el montante inferior de 46° . La celosía tiene una altura entre montantes de 1,1 m. El montante superior tiene 120 mm de lado y 6 mm de espesor y el inferior tiene 140 mm de lado y 6 mm de espesor. Todas las diagonales tienen un espesor de 4mm. La primera diagonal, (2-4), tiene un lado de 60 mm. Las diagonales (5-6) y (7-8) tienen 55 mm de lado y las (9-10) y (11-12) tienen 50 mm de lado. Por último las diagonales (13-14) y la (15-16) tienen un lado de 45mm. El resto de diagonales están formadas por perfil cuadrado hueco de 40 mm de lado y 4 mm de espesor.



Esquema de nudos, cotas y tipo de perfil.



En la imagen superior como podemos apreciar aparecen los nudos, cotas y perfiles utilizados, los cuales se describen a continuación:

2. Descripción de valores aportados por Cype

2.1 - Nudos

Nudos	Coordenadas (m)			Vínculos
	X	Y	Z	
1	0.000	0.000	0.000	Empotrado
2	0.000	0.000	4.900	Articulado
3	0.000	0.000	6.000	Empotrado
4	0.000	0.984	6.104	Articulado
5	0.000	1.962	5.107	Articulado
6	0.000	2.940	6.310	Articulado
7	0.000	3.918	5.313	Articulado
8	0.000	4.896	6.516	Articulado
9	0.000	5.874	5.519	Articulado
10	0.000	6.852	6.722	Articulado
11	0.000	7.830	5.725	Articulado
12	0.000	8.808	6.928	Articulado
13	0.000	9.786	5.931	Articulado
14	0.000	10.764	7.134	Articulado
15	0.000	11.742	6.137	Articulado
16	0.000	12.720	7.340	Articulado
17	0.000	13.698	6.343	Articulado
18	0.000	14.676	7.546	Articulado
19	0.000	15.654	6.549	Articulado
20	0.000	16.632	7.752	Articulado
21	0.000	17.610	6.755	Articulado
22	0.000	18.588	7.958	Articulado
23	0.000	19.566	6.961	Articulado
24	0.000	20.544	8.164	Articulado
25	0.000	21.522	7.167	Articulado
26	0.000	22.500	7.270	Articulado

Nudos	Coordenadas (m)			Vínculos
	X	Y	Z	
27	0.000	22.500	8.370	Articulado
28	0.000	23.478	7.167	Articulado
29	0.000	24.456	8.164	Articulado
30	0.000	25.434	6.961	Articulado
31	0.000	26.412	7.958	Articulado
32	0.000	27.390	6.755	Articulado
33	0.000	28.368	7.752	Articulado
34	0.000	29.346	6.549	Articulado
35	0.000	30.324	7.546	Articulado
36	0.000	31.302	6.343	Articulado
37	0.000	32.280	7.340	Articulado
38	0.000	33.258	6.137	Articulado
39	0.000	34.236	7.134	Articulado
40	0.000	35.214	5.931	Articulado
41	0.000	36.192	6.928	Articulado
42	0.000	37.170	5.725	Articulado
43	0.000	38.148	6.722	Articulado
44	0.000	39.126	5.519	Articulado
45	0.000	40.104	6.516	Articulado
46	0.000	41.082	5.313	Articulado
47	0.000	42.060	6.310	Articulado
48	0.000	43.038	5.107	Articulado
49	0.000	44.016	6.104	Articulado
50	0.000	45.000	0.000	Empotrado
51	0.000	45.000	4.900	Articulado
52	0.000	45.000	6.000	Empotrado

Hay un total de cincuenta y dos nudos, los cuales se han considerado todos articulados salvo las vinculaciones exteriores que son empotramientos y las uniones entre celosía y pilar que se han considerado nudos rígidos.

2.2 - Barras: Características Mecánicas

Descripción	Inerc.Tor. cm4	Inerc.y cm4	Inerc.z cm4	Sección cm2
Acero, IPE-500, Perfil simple (IPE)	91.800	48200.000	2140.000	116.000
Acero, #40x4, Perfil simple (Huecos cuadrados)	19.017	10.347	10.347	5.198
Acero, #45x4, Perfil simple (Huecos cuadrados)	28.276	15.702	15.702	5.998
Acero, #50x4, Perfil simple (Huecos cuadrados)	40.067	22.627	22.627	6.798



Pórtico Viga Celosía 45 Metros De Luz

Acero, #55x4, Perfil simple (Huecos cuadrados)	54.689	31.322	31.322	7.598
Acero, #60x4, Perfil simple (Huecos cuadrados)	72.442	41.986	41.986	8.398
Acero, #120x6, Perfil simple (Huecos cuadrados)	915.088	548.474	548.474	26.095
Acero, #140x6, Perfil simple (Huecos cuadrados)	1483.023	902.058	902.058	30.895

2.3.- Barras: Materiales Utilizados

Material	Mód.elást. (GPa)	Mód.el.trans. (GPa)	Lím.elás.\Fck (MPa)	Co.dilat. (m/m°C)	Peso espec. (KN/m3)
Acero (S275)	206.01	79.23	275.00	1.2e-005	77.01

2.4.- Barras: Descripción

Barras	Material	Perfil	Peso (Kp)	Volumen (m3)	Longitud (m)
1/2	Acero (S275)	IPE-500 (IPE)	446.19	0.057	4.90
2/3	Acero (S275)	IPE-500 (IPE)	100.17	0.013	1.10
2/4	Acero (S275)	#60x4 (Huecos cuadrados)	10.25	0.001	1.55
2/5	Acero (S275)	#140x6 (Huecos cuadrados)	47.85	0.006	1.97
3/4	Acero (S275)	#120x6 (Huecos cuadrados)	20.27	0.003	0.99
5/4	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	5.70	0.001	1.40
4/6	Acero (S275)	#120x6 (Huecos cuadrados)	40.29	0.005	1.97
5/6	Acero (S275)	#55x4 (Huecos cuadrados)	9.25	0.001	1.55
5/7	Acero (S275)	#140x6 (Huecos cuadrados)	47.70	0.006	1.97
7/6	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	5.70	0.001	1.40
6/8	Acero (S275)	#120x6 (Huecos cuadrados)	40.29	0.005	1.97
7/8	Acero (S275)	#55x4 (Huecos cuadrados)	9.25	0.001	1.55
7/9	Acero (S275)	#140x6 (Huecos cuadrados)	47.70	0.006	1.97
9/8	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	5.70	0.001	1.40
8/10	Acero (S275)	#120x6 (Huecos cuadrados)	40.29	0.005	1.97
9/10	Acero (S275)	#50x4 (Huecos cuadrados)	8.27	0.001	1.55
9/11	Acero (S275)	#140x6 (Huecos cuadrados)	47.70	0.006	1.97
11/10	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	5.70	0.001	1.40
10/12	Acero (S275)	#120x6 (Huecos cuadrados)	40.29	0.005	1.97
11/12	Acero (S275)	#50x4 (Huecos cuadrados)	8.27	0.001	1.55
11/13	Acero (S275)	#140x6 (Huecos cuadrados)	47.70	0.006	1.97
13/12	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	5.70	0.001	1.40
12/14	Acero (S275)	#120x6 (Huecos cuadrados)	40.29	0.005	1.97
13/14	Acero (S275)	#45x4 (Huecos cuadrados)	7.30	0.001	1.55
13/15	Acero (S275)	#140x6 (Huecos cuadrados)	47.70	0.006	1.97
15/14	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	5.70	0.001	1.40
14/16	Acero (S275)	#120x6 (Huecos cuadrados)	40.29	0.005	1.97
15/16	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	6.33	0.001	1.55
15/17	Acero (S275)	#140x6 (Huecos cuadrados)	47.70	0.006	1.97
17/16	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	5.70	0.001	1.40
16/18	Acero (S275)	#120x6 (Huecos cuadrados)	40.29	0.005	1.97
17/18	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	6.33	0.001	1.55
17/19	Acero (S275)	#140x6 (Huecos cuadrados)	47.70	0.006	1.97
19/18	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	5.70	0.001	1.40
18/20	Acero (S275)	#120x6 (Huecos cuadrados)	40.29	0.005	1.97
19/20	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	6.33	0.001	1.55
19/21	Acero (S275)	#140x6 (Huecos cuadrados)	47.70	0.006	1.97
21/20	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	5.70	0.001	1.40
20/22	Acero (S275)	#120x6 (Huecos cuadrados)	40.29	0.005	1.97
21/22	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	6.33	0.001	1.55



Pórtico Viga Celosía 45 Metros De Luz

21/23	Acero (S275)	#140x6 (Huecos cuadrados)	47.70	0.006	1.97
23/22	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	5.70	0.001	1.40
22/24	Acero (S275)	#120x6 (Huecos cuadrados)	40.29	0.005	1.97
23/24	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	6.33	0.001	1.55
23/25	Acero (S275)	#140x6 (Huecos cuadrados)	47.70	0.006	1.97
25/24	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	5.70	0.001	1.40
24/27	Acero (S275)	#120x6 (Huecos cuadrados)	40.29	0.005	1.97
25/26	Acero (S275)	#140x6 (Huecos cuadrados)	23.85	0.003	0.98
25/27	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	6.33	0.001	1.55
26/27	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	4.49	0.001	1.10
28/26	Acero (S275)	#140x6 (Huecos cuadrados)	23.85	0.003	0.98
28/27	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	6.33	0.001	1.55
29/27	Acero (S275)	#120x6 (Huecos cuadrados)	40.29	0.005	1.97
28/29	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	5.70	0.001	1.40
30/28	Acero (S275)	#140x6 (Huecos cuadrados)	47.70	0.006	1.97
30/29	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	6.33	0.001	1.55
31/29	Acero (S275)	#120x6 (Huecos cuadrados)	40.29	0.005	1.97
30/31	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	5.70	0.001	1.40
32/30	Acero (S275)	#140x6 (Huecos cuadrados)	47.70	0.006	1.97
32/31	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	6.33	0.001	1.55
33/31	Acero (S275)	#120x6 (Huecos cuadrados)	40.29	0.005	1.97
32/33	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	5.70	0.001	1.40
34/32	Acero (S275)	#140x6 (Huecos cuadrados)	47.70	0.006	1.97
34/33	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	6.33	0.001	1.55
35/33	Acero (S275)	#120x6 (Huecos cuadrados)	40.29	0.005	1.97
34/35	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	5.70	0.001	1.40
36/34	Acero (S275)	#140x6 (Huecos cuadrados)	47.70	0.006	1.97
36/35	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	6.33	0.001	1.55
37/35	Acero (S275)	#120x6 (Huecos cuadrados)	40.29	0.005	1.97
36/37	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	5.70	0.001	1.40
38/36	Acero (S275)	#140x6 (Huecos cuadrados)	47.70	0.006	1.97
38/37	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	6.33	0.001	1.55
39/37	Acero (S275)	#120x6 (Huecos cuadrados)	40.29	0.005	1.97
38/39	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	5.70	0.001	1.40
40/38	Acero (S275)	#140x6 (Huecos cuadrados)	47.70	0.006	1.97
40/39	Acero (S275)	#45x4 (Huecos cuadrados)	7.30	0.001	1.55
41/39	Acero (S275)	#120x6 (Huecos cuadrados)	40.29	0.005	1.97
40/41	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	5.70	0.001	1.40
42/40	Acero (S275)	#140x6 (Huecos cuadrados)	47.70	0.006	1.97
42/41	Acero (S275)	#50x4 (Huecos cuadrados)	8.27	0.001	1.55
43/41	Acero (S275)	#120x6 (Huecos cuadrados)	40.29	0.005	1.97
42/43	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	5.70	0.001	1.40
44/42	Acero (S275)	#140x6 (Huecos cuadrados)	47.70	0.006	1.97
44/43	Acero (S275)	#50x4 (Huecos cuadrados)	8.27	0.001	1.55
45/43	Acero (S275)	#120x6 (Huecos cuadrados)	40.29	0.005	1.97
44/45	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	5.70	0.001	1.40
46/44	Acero (S275)	#140x6 (Huecos cuadrados)	47.70	0.006	1.97
46/45	Acero (S275)	#55x4 (Huecos cuadrados)	9.25	0.001	1.55
47/45	Acero (S275)	#120x6 (Huecos cuadrados)	40.29	0.005	1.97
46/47	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	5.70	0.001	1.40
48/46	Acero (S275)	#140x6 (Huecos cuadrados)	47.70	0.006	1.97
48/47	Acero (S275)	#55x4 (Huecos cuadrados)	9.25	0.001	1.55
49/47	Acero (S275)	#120x6 (Huecos cuadrados)	40.29	0.005	1.97
48/49	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	5.70	0.001	1.40
51/48	Acero (S275)	#140x6 (Huecos cuadrados)	47.85	0.006	1.97
51/49	Acero (S275)	#60x4 (Huecos cuadrados)	10.25	0.001	1.55
52/49	Acero (S275)	#120x6 (Huecos cuadrados)	20.27	0.003	0.99
50/51	Acero (S275)	IPE-500 (IPE)	446.19	0.057	4.90
51/52	Acero (S275)	IPE-500 (IPE)	100.17	0.013	1.10



2.5.- Barras: Resumen Medición (Acero)

Descripción			Peso (Kp)			Longitud (m)		
			Perfil	Serie	Acero	Perfil	Serie	Acero
Acero (S275)	IPE	IPE-500, Perfil simple	1092.72	1092.72		12.00	12.00	
		#40x4, Perfil simple	205.85			50.50		
		#45x4, Perfil simple	14.60			3.10		
		#50x4, Perfil simple	33.08			6.20		
		#55x4, Perfil simple	37.00			6.20		
		#60x4, Perfil simple	20.50			3.10		
		#120x6, Perfil simple	926.92			45.32		
		#140x6, Perfil simple	1097.40			45.30		
	Huecos cuadrados			2335.35			159.72	
					3428.07			171.72
					3428.07			171.72

Como podemos apreciar en la tabla, el peso total de la estructura es de 3428,07 Kg, dicho peso es el menor de entre todas las tipologías estudiadas. Esta reducción de peso se debe al uso de la viga de celosía obteniendo así un pórtico más ligero.

2.6.- Cargas (Nudos)

Nudos	Hipót.	Tipo	Cargas				Dirección		
			P1	P2	L1 (m)	L2 (m)	X	Y	Z
3	1 (PP 1)	Puntual	3.375 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
4	1 (PP 1)	Puntual	6.750 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
6	1 (PP 1)	Puntual	6.750 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
8	1 (PP 1)	Puntual	6.750 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
10	1 (PP 1)	Puntual	6.750 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
12	1 (PP 1)	Puntual	6.750 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
14	1 (PP 1)	Puntual	6.750 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
16	1 (PP 1)	Puntual	6.750 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
18	1 (PP 1)	Puntual	6.750 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
20	1 (PP 1)	Puntual	6.750 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
22	1 (PP 1)	Puntual	6.750 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
24	1 (PP 1)	Puntual	6.750 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
27	1 (PP 1)	Puntual	6.750 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
29	1 (PP 1)	Puntual	6.750 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
31	1 (PP 1)	Puntual	6.750 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
33	1 (PP 1)	Puntual	6.750 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
35	1 (PP 1)	Puntual	6.750 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
37	1 (PP 1)	Puntual	6.750 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
39	1 (PP 1)	Puntual	6.750 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
41	1 (PP 1)	Puntual	6.750 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
43	1 (PP 1)	Puntual	6.750 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
45	1 (PP 1)	Puntual	6.750 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000



Pórtico Viga Celosía 45 Metros De Luz

47	1 (PP 1)	Puntual	6.750 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
49	1 (PP 1)	Puntual	6.750 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
52	1 (PP 1)	Puntual	3.375 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000

En la tabla superior podemos apreciar como se ha distribuido la carga calculada al principio en la celosía. Y en la tabla que hay a continuación, se detallan las cargas debidas al peso propio de la estructura que nos ha generado el programa.

2.7.- Cargas (Barras)

Barras	Hipót.	Tipo	Cargas				Dirección		
			P1	P2	L1 (m)	L2 (m)	X	Y	Z
2/3	1 (PP 1)	Uniforme	0.893 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
2/3	1 (PP 1)	Uniforme	2.340 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
50/51	1 (PP 1)	Uniforme	0.893 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
50/51	1 (PP 1)	Uniforme	1.020 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
1/2	1 (PP 1)	Uniforme	0.893 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Uniforme	2.340 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
51/52	1 (PP 1)	Uniforme	0.893 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
51/52	1 (PP 1)	Uniforme	1.020 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
26/27	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
28/27	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
25/27	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
28/29	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
25/24	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
30/29	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
23/24	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
30/31	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
23/22	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
32/31	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
21/22	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
32/33	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
21/20	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
34/33	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
19/20	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
34/35	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
19/18	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
36/35	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
17/18	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
36/37	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
17/16	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
38/37	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
15/16	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
38/39	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
15/14	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
40/41	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
13/12	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
42/43	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000



Pórtico Viga Celosía 45 Metros De Luz

11/10	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
44/45	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
9/8	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
46/47	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
7/6	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
48/49	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
5/4	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
13/14	1 (PP 1)	Uniforme	0.046 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
40/39	1 (PP 1)	Uniforme	0.046 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
11/12	1 (PP 1)	Uniforme	0.052 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
42/41	1 (PP 1)	Uniforme	0.052 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
9/10	1 (PP 1)	Uniforme	0.052 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
44/43	1 (PP 1)	Uniforme	0.052 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
7/8	1 (PP 1)	Uniforme	0.059 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
46/45	1 (PP 1)	Uniforme	0.059 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
5/6	1 (PP 1)	Uniforme	0.059 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
48/47	1 (PP 1)	Uniforme	0.059 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
51/49	1 (PP 1)	Uniforme	0.065 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
2/4	1 (PP 1)	Uniforme	0.065 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
24/27	1 (PP 1)	Uniforme	0.201 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
29/27	1 (PP 1)	Uniforme	0.201 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
22/24	1 (PP 1)	Uniforme	0.201 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
31/29	1 (PP 1)	Uniforme	0.201 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
20/22	1 (PP 1)	Uniforme	0.201 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
33/31	1 (PP 1)	Uniforme	0.201 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
18/20	1 (PP 1)	Uniforme	0.201 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
35/33	1 (PP 1)	Uniforme	0.201 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
16/18	1 (PP 1)	Uniforme	0.201 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
37/35	1 (PP 1)	Uniforme	0.201 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
14/16	1 (PP 1)	Uniforme	0.201 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
39/37	1 (PP 1)	Uniforme	0.201 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
12/14	1 (PP 1)	Uniforme	0.201 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
41/39	1 (PP 1)	Uniforme	0.201 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
10/12	1 (PP 1)	Uniforme	0.201 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
43/41	1 (PP 1)	Uniforme	0.201 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
8/10	1 (PP 1)	Uniforme	0.201 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
45/43	1 (PP 1)	Uniforme	0.201 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
6/8	1 (PP 1)	Uniforme	0.201 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
47/45	1 (PP 1)	Uniforme	0.201 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
4/6	1 (PP 1)	Uniforme	0.201 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
49/47	1 (PP 1)	Uniforme	0.201 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
3/4	1 (PP 1)	Uniforme	0.201 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
52/49	1 (PP 1)	Uniforme	0.201 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
25/26	1 (PP 1)	Uniforme	0.238 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
28/26	1 (PP 1)	Uniforme	0.238 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
23/25	1 (PP 1)	Uniforme	0.238 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
30/28	1 (PP 1)	Uniforme	0.238 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
21/23	1 (PP 1)	Uniforme	0.238 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
32/30	1 (PP 1)	Uniforme	0.238 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
19/21	1 (PP 1)	Uniforme	0.238 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
34/32	1 (PP 1)	Uniforme	0.238 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
17/19	1 (PP 1)	Uniforme	0.238 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000



Pórtico Viga Celosía 45 Metros De Luz

36/34	1 (PP 1)	Uniforme	0.238 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
15/17	1 (PP 1)	Uniforme	0.238 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
38/36	1 (PP 1)	Uniforme	0.238 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
13/15	1 (PP 1)	Uniforme	0.238 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
40/38	1 (PP 1)	Uniforme	0.238 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
11/13	1 (PP 1)	Uniforme	0.238 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
42/40	1 (PP 1)	Uniforme	0.238 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
9/11	1 (PP 1)	Uniforme	0.238 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
44/42	1 (PP 1)	Uniforme	0.238 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
7/9	1 (PP 1)	Uniforme	0.238 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
46/44	1 (PP 1)	Uniforme	0.238 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
5/7	1 (PP 1)	Uniforme	0.238 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
48/46	1 (PP 1)	Uniforme	0.238 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
2/5	1 (PP 1)	Uniforme	0.238 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
51/48	1 (PP 1)	Uniforme	0.238 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000

2.8.- Desplazamientos

Los desplazamientos que se producen normalmente en una celosía son muy pequeños y no va a ser este caso una excepción. En los demás pórticos estudiados para esta luz, los desplazamientos que se producen en la cumbrera son bastante mayores que en el caso que nos ocupa, siendo este de 13,43 cm.

2.9.- Reacciones

Nudos	Descripción	REACCIONES (EJES GENERALES)					
		RX (KN)	RY (KN)	RZ (KN)	MX (KN·m)	MY (KN·m)	MZ (KN·m)
1	Envolvente (Cim.equil.)	0.0000	129.7523	97.4670	-448.9421	0.0000	0.0000
		0.0000	194.6284	146.2006	-299.2947	0.0000	0.0000
1	Envolvente (Cim.tens.terr.)	0.0000	129.7523	97.4670	-299.2947	0.0000	0.0000
		0.0000	129.7523	97.4670	-299.2947	0.0000	0.0000
50	Envolvente (Cim.equil.)	0.0000	-224.8684	98.1613	344.1545	0.0000	0.0000
		0.0000	-149.9123	147.2419	516.2318	0.0000	0.0000
50	Envolvente (Cim.tens.terr.)	0.0000	-149.9123	98.1613	344.1545	0.0000	0.0000
		0.0000	-149.9123	98.1613	344.1545	0.0000	0.0000

2.10.-Tensiones

Barras	TENSION MÁXIMA								
	TENS. ()	APROV. (%)	Pos. (m)	N (KN)	Vy (KN)	Vz (KN)	Mt (KN·m)	My (KN·m)	Mz (KN·m)
2/3	0.9052	90.52	0.000	31.5725	0.0000	440.8738	0.0000	492.1872	0.0000
50/51	0.9282	92.82	4.900	-126.6085	0.0000	195.6343	0.0000	-510.5301	0.0000
1/2	0.8949	89.49	4.900	-125.6713	0.0000	-190.6447	0.0000	492.1872	0.0000
51/52	0.9434	94.34	0.000	33.4274	0.0000	-454.8817	0.0000	-510.5301	0.0000
26/27	0.2935	29.35	1.100	38.1432	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
28/27	0.1370	13.70	1.550	17.7974	0.0000	0.0264	0.0000	0.0000	0.0000
25/27	0.1470	14.70	1.550	19.0972	0.0000	0.0264	0.0000	0.0000	0.0000
28/29	0.2651	26.51	0.698	-17.1728	0.0000	0.0000	0.0000	0.0092	0.0000



Pórtico Viga Celosía 45 Metros De Luz

25/24	0.2830	28.30	0.698	-18.3583	0.0000	0.0000	0.0000	0.0092	0.0000
30/29	0.0502	5.02	1.550	6.5238	0.0000	0.0264	0.0000	0.0000	0.0000
23/24	0.0603	6.03	1.550	7.8393	0.0000	0.0264	0.0000	0.0000	0.0000
30/31	0.0834	8.34	0.698	-5.1916	0.0000	0.0000	0.0000	0.0092	0.0000
23/22	0.1013	10.13	0.698	-6.3700	0.0000	0.0000	0.0000	0.0092	0.0000
32/31	0.1479	14.79	0.775	-8.1467	0.0000	0.0000	0.0000	0.0102	0.0000
21/22	0.1250	12.50	0.775	-6.8382	0.0000	0.0000	0.0000	0.0102	0.0000
32/33	0.0633	6.33	1.397	8.2253	0.0000	0.0264	0.0000	0.0000	0.0000
21/20	0.0542	5.42	1.397	7.0452	0.0000	0.0264	0.0000	0.0000	0.0000
34/33	0.4016	40.16	0.775	-22.6961	0.0000	0.0000	0.0000	0.0102	0.0000
19/20	0.3788	37.88	0.775	-21.3863	0.0000	0.0000	0.0000	0.0102	0.0000
34/35	0.1641	16.41	1.397	21.3206	0.0000	0.0264	0.0000	0.0000	0.0000
19/18	0.1550	15.50	1.397	20.1406	0.0000	0.0264	0.0000	0.0000	0.0000
36/35	0.6554	65.54	0.775	-37.3312	0.0000	0.0000	0.0000	0.0102	0.0000
17/18	0.6327	63.27	0.775	-36.0208	0.0000	0.0000	0.0000	0.0102	0.0000
36/37	0.2647	26.47	1.397	34.3909	0.0000	0.0264	0.0000	0.0000	0.0000
17/16	0.2556	25.56	1.397	33.2126	0.0000	0.0264	0.0000	0.0000	0.0000
38/37	0.9053	90.53	0.775	-51.7384	0.0000	0.0000	0.0000	0.0102	0.0000
15/16	0.8827	88.27	0.775	-50.4318	0.0000	0.0000	0.0000	0.0102	0.0000
38/39	0.3658	36.58	1.397	47.5304	0.0000	0.0264	0.0000	0.0000	0.0000
15/14	0.3567	35.67	1.397	46.3513	0.0000	0.0264	0.0000	0.0000	0.0000
40/41	0.4682	46.82	1.397	60.8395	0.0000	0.0264	0.0000	0.0000	0.0000
13/12	0.4591	45.91	1.397	59.6577	0.0000	0.0264	0.0000	0.0000	0.0000
42/43	0.5680	56.80	1.397	73.8095	0.0000	0.0264	0.0000	0.0000	0.0000
11/10	0.5589	55.89	1.397	72.6317	0.0000	0.0264	0.0000	0.0000	0.0000
44/45	0.6720	67.20	1.397	87.3270	0.0000	0.0264	0.0000	0.0000	0.0000
9/8	0.6629	66.29	1.397	86.1408	0.0000	0.0264	0.0000	0.0000	0.0000
46/47	0.7651	76.51	1.397	99.4152	0.0000	0.0264	0.0000	0.0000	0.0000
7/6	0.7562	75.62	1.397	98.2609	0.0000	0.0264	0.0000	0.0000	0.0000
48/49	0.8981	89.81	1.397	116.7015	0.0000	0.0264	0.0000	0.0000	0.0000
5/4	0.8882	88.82	1.397	115.4164	0.0000	0.0264	0.0000	0.0000	0.0000
13/14	0.8222	82.22	0.775	-65.1375	0.0000	0.0000	0.0000	0.0118	0.0000
40/39	0.8386	83.86	0.775	-66.4479	0.0000	0.0000	0.0000	0.0118	0.0000
11/12	0.7770	77.70	0.775	-79.9478	0.0000	0.0000	0.0000	0.0134	0.0000
42/41	0.7897	78.97	0.775	-81.2604	0.0000	0.0000	0.0000	0.0134	0.0000
9/10	0.9140	91.40	0.775	-94.1627	0.0000	0.0000	0.0000	0.0134	0.0000
44/43	0.9266	92.66	0.775	-95.4688	0.0000	0.0000	0.0000	0.0134	0.0000
7/8	0.8591	85.91	0.775	-109.2767	0.0000	0.0000	0.0000	0.0150	0.0000
46/45	0.8693	86.93	0.775	-110.5917	0.0000	0.0000	0.0000	0.0150	0.0000
5/6	0.9696	96.96	0.775	-123.4317	0.0000	0.0000	0.0000	0.0150	0.0000
48/47	0.9797	97.97	0.775	-124.7311	0.0000	0.0000	0.0000	0.0150	0.0000
51/49	0.8677	86.77	0.777	-131.0440	0.0000	0.0000	0.0000	0.0167	0.0000
2/4	0.8597	85.97	0.777	-129.8316	0.0000	0.0000	0.0000	0.0167	0.0000
24/27	0.7070	70.70	0.000	-371.7680	0.0000	0.4126	0.0000	1.3332	0.0000
29/27	0.7053	70.53	0.000	-370.9438	0.0000	0.4097	0.0000	1.3277	0.0000
22/24	0.7408	74.08	1.475	-389.6892	0.0000	0.0100	0.0000	1.3708	0.0000
31/29	0.7360	73.60	1.475	-387.1959	0.0000	0.0068	0.0000	1.3637	0.0000
20/22	0.7347	73.47	0.983	-389.8362	0.0000	0.0197	0.0000	1.2418	0.0000
33/31	0.7266	72.66	0.983	-385.6831	0.0000	0.0168	0.0000	1.2272	0.0000
18/20	0.7002	70.02	1.229	-371.3305	0.0000	0.0064	0.0000	1.2088	0.0000
35/33	0.6890	68.90	1.229	-365.5156	0.0000	0.0033	0.0000	1.1891	0.0000
16/18	0.6287	62.87	1.229	-334.3207	0.0000	-0.0048	0.0000	1.0827	0.0000



Pórtico Viga Celosía 45 Metros De Luz

37/35	0.6142	61.42	1.229	-326.8438	0.0000	-0.0076	0.0000	1.0572	0.0000
14/16	0.5223	52.23	1.475	-278.9661	0.0000	-0.0207	0.0000	0.8954	0.0000
39/37	0.5048	50.48	1.475	-269.8306	0.0000	-0.0245	0.0000	0.8646	0.0000
12/14	0.3793	37.93	1.475	-205.0306	0.0000	-0.0247	0.0000	0.5919	0.0000
41/39	0.3588	35.88	1.475	-194.2336	0.0000	-0.0275	0.0000	0.5540	0.0000
10/12	0.2053	20.53	1.475	-112.3291	0.0000	-0.0079	0.0000	0.2906	0.0000
43/41	0.1820	18.20	1.475	-99.8674	0.0000	-0.0103	0.0000	0.2475	0.0000
8/10	0.0204	2.04	0.000	-1.5315	0.0000	-0.5217	0.0000	-0.5189	0.0000
45/43	0.0195	1.95	0.000	12.5879	0.0000	-0.5251	0.0000	-0.5720	0.0000
6/8	0.1969	19.69	1.967	128.4711	0.0000	-0.0307	0.0000	-0.5189	0.0000
47/45	0.2211	22.11	1.967	144.2599	0.0000	-0.0353	0.0000	-0.5720	0.0000
4/6	0.4230	42.30	1.967	275.9829	0.0000	0.4236	0.0000	-1.1011	0.0000
49/47	0.4498	44.98	1.967	293.4099	0.0000	0.4318	0.0000	-1.1633	0.0000
3/4	0.7403	74.03	0.000	438.9160	0.0000	-8.5700	0.0000	-9.1372	0.0000
52/49	0.8299	82.99	0.000	458.0033	0.0000	-8.7154	0.0000	-9.3272	0.0000
25/26	0.2133	21.33	0.983	164.7153	0.0000	1.8033	0.0000	0.0000	0.0000
28/26	0.2133	21.33	0.983	164.7140	0.0000	1.7912	0.0000	0.0000	0.0000
23/25	0.2455	24.55	1.967	189.5958	0.0000	0.4819	0.0000	1.6189	0.0000
30/28	0.2433	24.33	1.967	187.9365	0.0000	0.4812	0.0000	1.6070	0.0000
21/23	0.2577	25.77	1.967	199.0131	0.0000	0.2932	0.0000	1.9489	0.0000
32/30	0.2534	25.34	1.967	195.6891	0.0000	0.2874	0.0000	1.9356	0.0000
19/21	0.2456	24.56	1.967	189.7301	0.0000	0.2583	0.0000	1.9078	0.0000
34/32	0.2392	23.92	1.967	184.7452	0.0000	0.2535	0.0000	1.8830	0.0000
17/19	0.2097	20.97	1.967	161.9973	0.0000	0.2158	0.0000	1.7979	0.0000
36/34	0.2011	20.11	1.967	155.3507	0.0000	0.2112	0.0000	1.7638	0.0000
15/17	0.1499	14.99	1.967	115.7682	0.0000	0.0867	0.0000	1.6047	0.0000
38/36	0.1391	13.91	1.967	107.4605	0.0000	0.0805	0.0000	1.5613	0.0000
13/15	0.0662	6.62	1.967	51.1595	0.0000	0.0809	0.0000	1.1574	0.0000
40/38	0.0533	5.33	1.967	41.1929	0.0000	0.0763	0.0000	1.1017	0.0000
11/13	0.0635	6.35	1.721	-32.1507	0.0000	0.0369	0.0000	0.7175	0.0000
42/40	0.0784	7.84	1.721	-43.7805	0.0000	0.0333	0.0000	0.6518	0.0000
9/11	0.2052	20.52	0.000	-134.0713	0.0000	-0.7724	0.0000	-0.5933	0.0000
44/42	0.2264	22.64	0.000	-147.3634	0.0000	-0.7795	0.0000	-0.6792	0.0000
7/9	0.3858	38.58	0.000	-254.4047	0.0000	-0.4801	0.0000	-0.9198	0.0000
46/44	0.4096	40.96	0.000	-269.3597	0.0000	-0.4797	0.0000	-1.0049	0.0000
5/7	0.6496	64.96	0.000	-392.9833	0.0000	-1.3649	0.0000	-2.9864	0.0000
48/46	0.6782	67.82	0.000	-409.5877	0.0000	-1.3882	0.0000	-3.1174	0.0000
2/5	0.8835	88.35	1.973	-552.1908	0.0000	1.8288	0.0000	-2.9864	0.0000
51/48	0.9150	91.50	1.973	-570.5148	0.0000	1.8952	0.0000	-3.1174	0.0000

Como podemos apreciar en el pórtico de la imagen, los montantes tanto superior como inferior, son los que más tensión están soportando. En el montante superior el aprovechamiento que se produce en la cumbrera es del 70,50%, conforme nos vamos acercando al pilar la tensión a la que está sometido el perfil va disminuyendo hasta tener el 17,50% de aprovechamiento del mismo y junto al pilar el aprovechamiento vuelve a ser mayor, llegando éste al 83%. En el montante inferior la distribución de tensiones es similar al montante superior pero con un aprovechamiento del perfil ligeramente inferior. En este caso el aprovechamiento máximo se produce junto al pilar teniendo



91,50%, después disminuye bastante conforme nos acercamos a la mitad del perfil, siendo bajísimo su aprovechamiento. Llegando a al cumbrera vuelve a aumentar dicho aprovechamiento llegando al 24,30%.

El aprovechamiento de las diagonales de la celosía es bastante diverso aunque este se distribuye de manera uniforme.

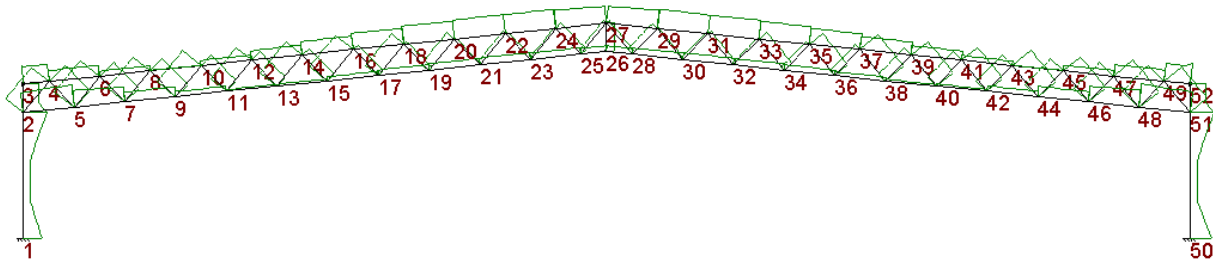


Diagrama de tensiones del pórtico.

Vamos a describir lo que le ocurre a las diagonales de la celosía que se encuentran de la cumbrera del pórtico hacia el pilar derecho, dado que según hemos introducido la hipótesis de carga es la zona que más tensión está soportando. Para mayor comprensión y debido a que tenemos un número muy elevado de barras, vamos a dividir dichas diagonales en dos tipos: diagonales inclinadas hacia la derecha como por ejemplo (34-35) o (42-43), y diagonales inclinadas a la izquierda como es el caso de la (45-46) o (35-36). En general las diagonales que están soportando más tensión son las que se encuentran junto al pilar. En el caso de las diagonales inclinadas hacia la izquierda, el aprovechamiento medio de las barras (37-38), (39-40), (41-42), (43-44), (45-46), (47-48) y (49-51) está en torno al 92,70%. A partir de la barra (35-36) y en dirección a la cumbrera, el aprovechamiento de las diagonales va disminuyendo, llegando al valor del 13,70%. Para las diagonales inclinadas a la derecha, la barra (48-49), que es la más cercana al pilar, tiene un aprovechamiento del 89,80%. A partir de dicha barra y en dirección a la cumbrera el aprovechamiento de las diagonales va disminuyendo hasta alcanzar el valor del 26,50%.

Como hemos podido apreciar el aprovechamiento de las barras va aumentando con respecto a luces estudiadas anteriormente. La elección de las barras, descritas al inicio de este pórtico, se ha realizado en función de dicho aprovechamiento de las mismas.

A continuación vamos a describir lo que le ocurre al pilar derecho en cuanto a las tensiones. Si nos fijamos en la imagen anterior el pilar tiene tres zonas bien diferenciadas: inferior, media y superior. La zona inferior



comprende 1,25m, donde el diagrama de tensiones tiene forma de triángulo recto, teniendo en la base del pilar un aprovechamiento de 84,50% y disminuyendo éste hasta el 27,10%. En la zona media del pilar de 1,25 m, el aprovechamiento del perfil es totalmente uniforme pero muy bajo, de tan solo el 27,10%. En la parte superior del pilar la distribución de tensiones es exactamente igual a la inferior pero a la inversa, partiendo de un aprovechamiento del 27,10% y llegando en la parte superior del mismo al 92,80%. Como hemos podido apreciar la distribución de tensiones no es constante a lo largo del perfil, esto es debido a que el perfil utilizado como pilar no está reforzado en los nudos y teniendo así una zona bastante amplia donde el aprovechamiento es muy bajo.

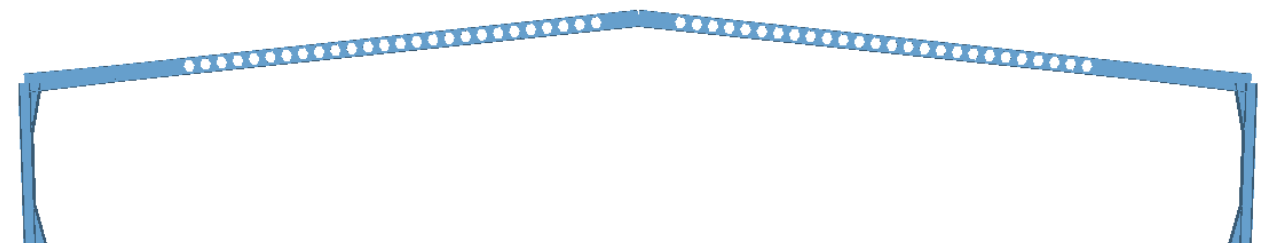


PÓRTICO VIGA VOID



PÓRTICO VIGA VOID 45 METROS DE LUZ

1. Descripción general del pórtico:

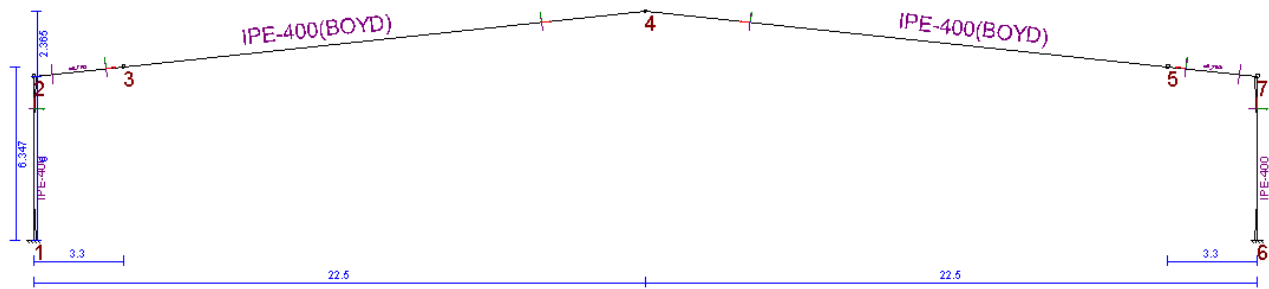


Interpretación real del pórtico

El pórtico que nos ocupa tiene 45 metros de luz y sus pilares están formados por perfiles IPE, y cuya viga es de tipo VOID con perfil IPE de 400 mm junto con tramo de sección Variable. Los pilares son IPE 400, están reforzados en su parte inferior y superior por cartelas. Las cartelas inferiores tienen una longitud de 1,50 metros y las superiores 1,80 metros. El hecho de colocar unas cartelas tan grandes es para conseguir un mayor aprovechamiento del perfil utilizando una sección de perfil menor.

El diseño de la viga empezando de izquierda a derecha es el siguiente: empezamos colocando un perfil de sección variable, seguido de viga VOID con perfil IPE y el otro agua igual, viga VOID y último tramo con sección variable. Los tramos de sección variable los describimos a continuación: la unión con el pilar tiene un canto de 694 mm y junto a la viga de 600 mm que coincide con el alma de la viga utilizada posteriormente para que se pueda unir a ella con la mayor facilidad. Según el CTE hay que comprobar que el perfil no falle por abolladura del alma, dado el caso que el perfil falle, se realizará un cálculo de rigidizadores. En este caso no es necesario colocar rigidizadores y las comprobaciones se encuentran al final de éste pórtico. El alma tiene un espesor de 11 mm. y el ala de 15 mm. Este espesor se ha elegido lo más próximo superior al perfil IPE que se ha utilizado en la viga, debido a que nos tenemos que regir por espesores comerciales. La longitud de dicho perfil es de 3,32 metros. Los tramos VOID para esta luz se han diseñado de la siguiente manera: el perfil que se ha utilizado como ya hemos dicho es un IPE 400 mm., el cual se convierte al hacerlo VOID en un perfil que tiene 600 mm. de alma. Para este pórtico se le han rellenado cuatro huecos en origen y dos más en la cumbrera de cada viga, adecuándonos de esta manera a lo solicitado en el diagrama de tensiones que se comentará más adelante.

A continuación mostramos un esquema del pórtico donde se detallan los nudos, perfiles utilizados y las cotas del mismo.



Esquema de nudos, cotas y tipo de perfil.

2. Descripción de valores aportados por Cype

Ahora se detallan los datos que nos aporta el programa en forma de tablas que describiremos a continuación:

2.1 - Nudos

Nudos	Coordenadas (m)			Vínculos
	X	Y	Z	
1	0.000	0.000	0.000	Empotrado
2	0.000	0.000	6.000	Empotrado
3	0.000	3.300	6.347	Empotrado
4	0.000	22.500	8.365	Empotrado
5	0.000	41.700	6.347	Empotrado
6	0.000	45.000	0.000	Empotrado
7	0.000	45.000	6.000	Empotrado

2.2 - Barras: Características Mecánicas

Descripción	Inerc.Tor. cm4	Inerc.y cm4	Inerc.z cm4	Sección cm2
Acero, Sección Variable, Perfil simple + Separación 664/570 mm	67.874	75463.500	1464.844	121.870
Acero, IPE-400, Simple con cartelas (IPE)	48.300	23130.000	1320.000	84.500
Acero, IPE-400, Boyd (alma aligerada) (IPE) H: 600.0 mm, S: 600.0 mm, macizados (4, 2)	48.300	51950.914	1313.117	84.500

2.3.- Barras: Materiales Utilizados

Material	Mód.elást. (GPa)	Mód.el.trans. (GPa)	Lím.elás.\Fck (MPa)	Co.dilat. (m/m°C)	Peso espec. (KN/m3)
Acero (S275)	206.01	79.23	275.00	1.2e-005	77.01



2.4.- Barras: Descripción

Barras	Material	Perfil	Peso (Kp)	Volumen (m3)	Longitud (m)
1/2	Acero (S275)	IPE-400 (IPE) + carts. sup. 1.500 m y 1.800 m	502.48	0.064	6.00
2/3	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 664/570 mm	317.51	0.040	3.32
3/4	Acero (S275)	IPE-400(BOYD) (IPE) H: 600.0 mm, S: 600.0 mm, macizados (4, 2)	1315.32	0.168	19.31
5/4	Acero (S275)	IPE-400(BOYD) (IPE) H: 600.0 mm, S: 600.0 mm, macizados (4, 2)	1315.32	0.168	19.31
7/5	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 664/570 mm	317.51	0.040	3.32
6/7	Acero (S275)	IPE-400 (IPE) + carts. inf. 1.500 m y 1.800 m	502.48	0.064	6.00

2.5.- Barras: Resumen Medición (Acero)

Descripción			Peso (Kp)			Longitud (m)		
			Perfil	Serie	Acero	Perfil	Serie	Acero
Acero (S275)	Sección	Sección Variable, Perfil	635.02			6.64		
				635.02		6.64		
	IPE	IPE-400, Simple con c...	1004.96			12.00		
				1004.96		12.00		
	IPE	IPE-400, Boyd (alma a...	2630.64			38.62		
				2630.64		38.62		
			4270.62					
			4270.62					



Pórtico Viga Void 45 Metros De Luz

6/7	1 (PP 1)	Uniforme	1.020 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
3/4	1 (PP 1)	Faja	0.754 KN/m	-	0.000	2.253	0.000	0.000	-1.000
3/4	1 (PP 1)	Faja	0.651 KN/m	-	2.253	18.253	0.000	0.000	-1.000
3/4	1 (PP 1)	Faja	0.754 KN/m	-	18.253	19.306	0.000	0.000	-1.000
3/4	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
5/4	1 (PP 1)	Faja	0.754 KN/m	-	0.000	2.253	0.000	0.000	-1.000
5/4	1 (PP 1)	Faja	0.651 KN/m	-	2.253	18.253	0.000	0.000	-1.000
5/4	1 (PP 1)	Faja	0.754 KN/m	-	18.253	19.306	0.000	0.000	-1.000
5/4	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000

2.7.- Desplazamientos

Nudos	Descripción	DESPLAZAMIENTOS (EJES GENERALES)					
		DX (m)	DY (m)	DZ (m)	GX (rad)	GY (rad)	GZ (rad)
1	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	-0.0227	-0.0003	-0.0022	0.0000	0.0000
		0.0000	-0.0227	-0.0003	-0.0022	0.0000	0.0000
3	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	-0.0205	-0.0230	-0.0108	0.0000	0.0000
		0.0000	-0.0205	-0.0230	-0.0108	0.0000	0.0000
4	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0020	-0.2546	0.0002	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0020	-0.2546	0.0002	0.0000	0.0000
5	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0246	-0.0212	0.0104	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0246	-0.0212	0.0104	0.0000	0.0000
6	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
7	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0266	-0.0003	0.0015	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0266	-0.0003	0.0015	0.0000	0.0000

El desplazamiento vertical que se produce en la cumbrera es de 25,46cm, como podemos apreciar en la tabla.

2.8.- Reacciones

Nudos	Descripción	REACCIONES (EJES GENERALES)					
		RX (KN)	RY (KN)	RZ (KN)	MX (KN·m)	MY (KN·m)	MZ (KN·m)
1	Envolvente (Cim.equil.)	0.0000	154.0562	102.0648	-650.8792	0.0000	0.0000
		0.0000	231.0844	153.0972	-433.9195	0.0000	0.0000
1	Envolvente (Cim.tens.terr.)	0.0000	154.0562	102.0648	-433.9195	0.0000	0.0000
		0.0000	154.0562	102.0648	-433.9195	0.0000	0.0000
6	Envolvente (Cim.equil.)	0.0000	-261.3243	102.5529	483.4183	0.0000	0.0000
		0.0000	-174.2162	153.8293	725.1274	0.0000	0.0000
6	Envolvente (Cim.tens.terr.)	0.0000	-174.2162	102.5529	483.4183	0.0000	0.0000
		0.0000	-174.2162	102.5529	483.4183	0.0000	0.0000



2.9.-Tensiones

Barras	TENSIÓN MÁXIMA								
	TENS. ()	APROV. (%)	Pos. (m)	N (KN)	Vy (KN)	Vz (KN)	Mt (KN·m)	My (KN·m)	Mz (KN·m)
2/3	0.9435	94.35	0.000	-239.4108	0.0000	-106.7956	0.0000	-718.3921	0.0000
7/5	0.9629	96.29	0.000	-239.4797	0.0000	-107.4509	0.0000	-733.2167	0.0000
1/2	0.9642	96.42	4.200	-129.6661	0.0000	-223.4937	0.0000	315.2841	0.0000
6/7	0.9870	98.70	4.200	-130.1852	0.0000	231.6686	0.0000	-322.7604	0.0000
3/4	0.9601	96.01	0.000	-237.2806	0.0000	-86.5877	0.0000	-397.6670	0.0000
5/4	0.9876	98.76	0.000	-237.3495	0.0000	-87.2430	0.0000	-410.3173	0.0000

La descripción de las tensiones para este pórtico se reduce a la descripción del pilar y viga derecha del mismo, ya que en estas zonas es donde se producen las mayores tensiones. Vamos a empezar comentando el pilar: como ya sabemos, dicho pilar está formado por IPE 400mm reforzado con cartela inferior de 1,50 metros de longitud y cartela superior de 1,80 metros de longitud. Las tensiones en el pilar están distribuidas de manera que quedan tres zonas bien diferenciadas. En la primera zona junto al suelo las tensiones son bastante altas y por eso el hecho de colocar cartelas para que el perfil sea capaz de aguantar dicha tensión quedando éste aprovechado en un 94,20%. La zona intermedia tiene una longitud aproximada de 1,70 metros, en la cual el aprovechamiento medio del perfil es del 47,10%. Por último, en el pilar tenemos una zona junto a la viga en la que el aprovechamiento vuelve a ser bastante alto, alcanzando éste el 98,70%. Como podemos apreciar en el diagrama de tensiones de esta zona, la distribución de tensiones es bastante uniforme cubriendo una zona muy amplia, debido a esto se ha elegido la cartela correspondiente, la cual se ha descrito anteriormente.

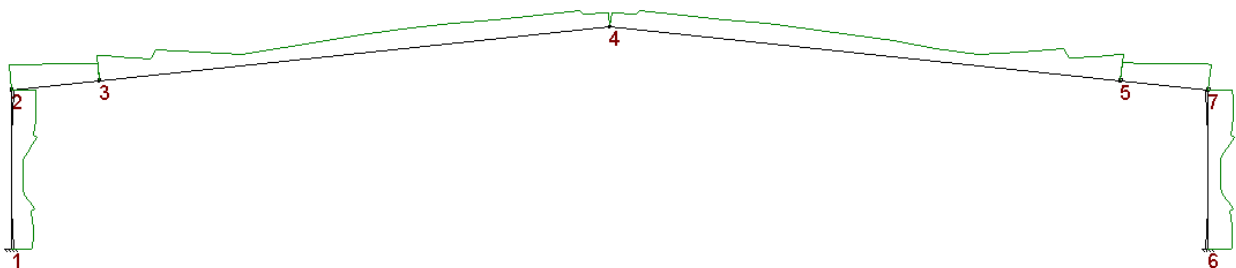


Diagrama de tensiones del pórtico.

En cuanto a la viga, podemos apreciar como el reparto de tensiones es bastante uniforme a lo largo de la misma. En este tipo de pórticos me he visto obligado a colocar un pequeño tramo de perfil de sección variable (5/7), debido a que el IPE tipo Void utilizado como viga no era capaz de aguantar la tensión en esta zona ni aún rellenando los huecos hexagonales de dicho perfil, tenía



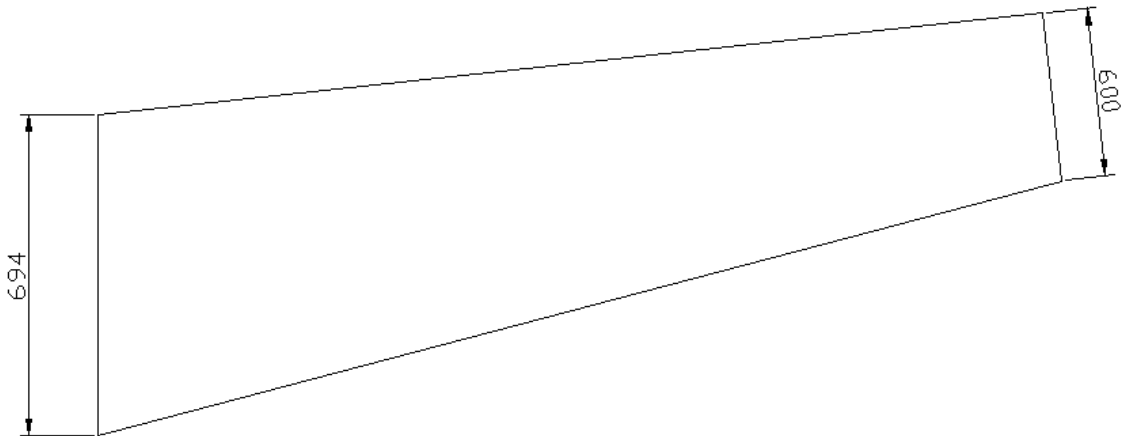
que aumentar el perfil y ya no sería una solución viable económicamente. Dicho tramo (5/7) está aprovechado de manera uniforme en un 96,30%, lo cual es una cifra bastante buena. El salto de aprovechamiento de perfil que se produce en el nudo 5 es debido a que el espesor del alma del tramo de sección variable es 2mm mayor al del IPE tipo Void. La barra (4-5) se ha realizado como ya sabemos con IPE 400 Void al cual se le ha rellenado dos huecos en la cumbrera y cuatro junto al tramo de sección variable para que la sección utilizada no fallara por cuestiones de tensión, debido a esto se produce el salto que podemos ver en el diagrama de tensiones. El aprovechamiento máximo de dicho tramo (4/5) es del 98,80%. La viga también tiene una zona intermedia en la que el aprovechamiento del perfil disminuye, pero si comparamos con las luces estudiadas anteriormente, vemos como este aprovechamiento ha aumentado considerablemente. En la última zona junto a la cumbrera, el aprovechamiento del perfil disminuye un poco respecto a la primera zona antes comentada, estando ésta en 73,20%.



3. Cálculo de rigidizadores

Según el CTE no es necesario colocar rigidizadores en perfiles laminados ya que éstos vienen diseñados de manera que no se produce abolladura del alma. En este caso, dado que hemos utilizado un pequeño tramo de Sección Variable, hay que hacer las comprobaciones que nos dice el CTE y ver si es necesario colocar rigidizadores del alma para corregir la abolladura del alma.

La pieza es comprobar es la que vemos a continuación:



1ª Comprobación sin rigidizadores:

$$\frac{d}{t} < 70 \times \varepsilon \quad \text{siendo } d \text{ y } t \text{ dimensiones del alma (altura y espesor)}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{\text{ref}}}{f_y}} \quad \text{con } f_{\text{ref}} = 235 \text{ N/mm}^2 \quad \text{y con } f_y = 275 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{694}{11} < 70 \times 0,9244$$

$$63,09 < 64,708 \quad \text{OK.}$$

En este caso no es necesario colocar rigidizadores.

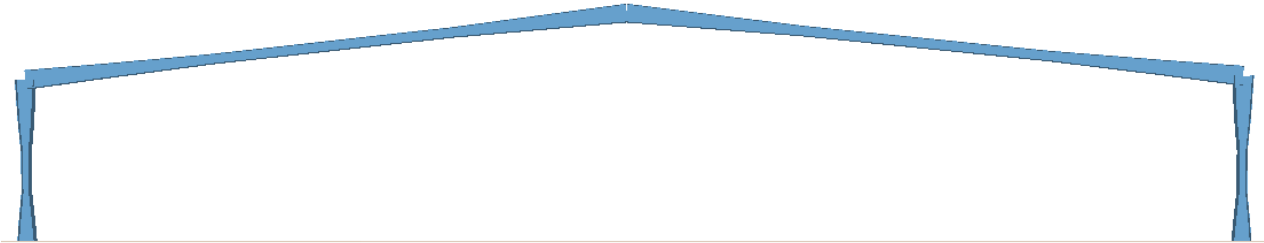


PÓRTICO DE SECCIÓN VARIABLE



PÓRTICO SECCIÓN VARIABLE DE 45 METROS DE LUZ

1. Descripción general del pórtico:



Interpretación real del pórtico

El pórtico que vamos a describir a continuación tiene 45 metros de luz y está formado en su totalidad por perfiles de sección variable. Con este tipo de diseño lo que intentamos conseguir es minimizar la cantidad de acero a utilizar en el pórtico para así poder reducir los costes del mismo, disminuyendo o aumentando el canto y espesor del perfil según nos vaya haciendo falta realmente.

Para el diseño del pórtico hemos creado 19 nudos, de los cuales dos son empotramientos y los demás nudos rígidos, por tanto tenemos dieciocho barras. El espesor utilizado en los perfiles es el siguiente: el alma tiene un espesor de 10mm y las alas de 15mm, a excepción de la unión entre viga y pilar, es decir; las barras (13-19), (18-19) donde el espesor del ala es de 16mm y del alma de 10mm.

El pilar lo he dividido en cinco partes, teniendo así cinco barras diferentes. El fin de tal división es conseguir un mayor aprovechamiento de los perfiles. La primera barra (1-2), tiene una longitud de 0,90 metros con un canto inicial de 630mm y final de 470mm. A continuación la barra (2-3) tiene un canto inicial de 470mm y final de 280mm, con una longitud de 0,90 metro. La tercera barra (3-4) es de sección constante debido a que en esta zona las tensiones sobre el perfil son pequeñas y se mantienen a lo largo de esta barra, el canto de dicha barra es de 280mm y la longitud de la misma es de 1,50 metros. La barra (4-5), vuelve a ser de sección variable con una longitud de 1,10 metros, teniendo un canto inicial de 280mm y final de 490mm. Por último, la barra (5-6) tiene una longitud de 1,60 metros, con un canto inicial de 490 mm y final de 690mm.

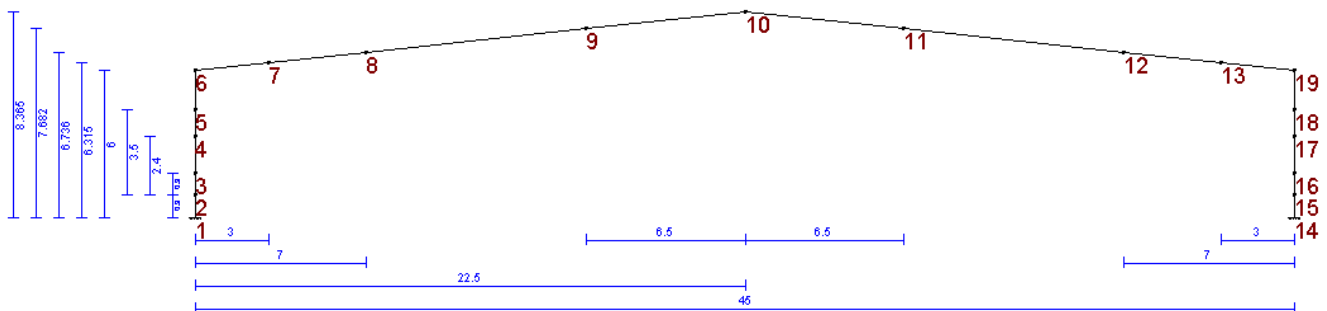
En la viga tenemos cuatro barras diferentes, continuando con la última del pilar, seguimos con la primera de la viga (6-7), la cual tiene una longitud de 3,02 metros con un canto inicial igual al del pilar de 690mm y final de 520mm. A continuación la barra (7-8) tiene una longitud de 4,02 metros, con un canto inicial de 520mm y final de 350mm. La tercera barra (8-9) al igual que ocurre en



el pilar, es de sección constante pero en este caso tiene 350mm de canto y una longitud de 9,05 metros. Por último la cuarta barra (9-10) tiene una longitud de 6,54 metros, el canto inicial es de 350mm y el final 650mm.

Para este caso es necesario el uso de rigidizadores en las barras (5-6), (6-7) y sus simétricas ya que los cantos utilizados son muy grandes. El cálculo de los rigidizadores se detalla al final de este pórtico.

A continuación mostramos un esquema del pórtico donde se detallan los nudos y las cotas del mismo.



Esquema de nudos, cotas y tipo de perfil.

2. Descripción de valores aportados por Cype

Ahora se detallan los datos que nos aporta el programa en forma de tablas en las cuales podemos apreciar nudos, cargas, tensiones, pesos, cotas, etc., que describiremos a continuación:

2.1 - Nudos

Nudos	Coordenadas (m)			Vínculos
	X	Y	Z	
1	0.000	0.000	0.000	Empotrado
2	0.000	0.000	0.900	Empotrado
3	0.000	0.000	1.800	Empotrado
4	0.000	0.000	3.300	Empotrado
5	0.000	0.000	4.400	Empotrado
6	0.000	0.000	6.000	Empotrado
7	0.000	3.000	6.315	Empotrado
8	0.000	7.000	6.736	Empotrado
9	0.000	16.000	7.682	Empotrado
10	0.000	22.500	8.365	Empotrado
11	0.000	29.000	7.682	Empotrado
12	0.000	38.000	6.736	Empotrado
13	0.000	42.000	6.315	Empotrado



Pórtico Sección Variable 45 Metros De Luz

14	0.000	45.000	0.000	Empotrado
15	0.000	45.000	0.900	Empotrado
16	0.000	45.000	1.800	Empotrado
17	0.000	45.000	3.300	Empotrado
18	0.000	45.000	4.400	Empotrado
19	0.000	45.000	6.000	Empotrado

2.2 - Barras: Características Mecánicas

Descripción	Inerc.Tor. cm4	Inerc.y cm4	Inerc.z cm4	Sección cm2
Acero, Sección Variable, Perfil simple + Separación 250/250 mm	51.083	11319.833	1716.833	82.000
Acero, Sección Variable, Perfil simple + Separación 320/320 mm	53.417	18733.417	1717.417	89.000
Acero, Sección Variable, Perfil simple + Separación 440/250 mm	54.250	21900.656	1717.625	91.500
Acero, Sección Variable, Perfil simple + Separación 250/460 mm	54.583	23247.177	1717.708	92.500
Acero, Sección Variable, Perfil simple + Separación 490/320 mm	56.250	30683.531	1718.125	97.500
Acero, Sección Variable, Perfil simple + Separación 320/620 mm	58.417	42182.167	1718.667	104.000
Acero, Sección Variable, Perfil simple + Separación 600/440 mm	60.083	52515.083	1719.083	109.000
Acero, Sección Variable, Perfil simple + Separación 458/658 mm	70.483	64571.749	1833.717	116.600
Acero, Sección Variable, Perfil simple + Separación 658/488 mm	70.983	68422.672	1833.842	118.100

2.3.- Barras: Materiales Utilizados

Material	Mód.elást. (GPa)	Mód.el.trans. (GPa)	Lím.elás.\Fck (MPa)	Co.dilat. (m/m°C)	Peso espec. (KN/m3)
Acero (S275)	206.01	79.23	275.00	1.2e-005	77.01

2.4.- Barras: Descripción

Barras	Material	Perfil	Peso (Kp)	Volumen (m3)	Longitud (m)
1/2	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 600/440 mm	77.03	0.010	0.90
2/3	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 440/250 mm	64.66	0.008	0.90
3/4	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 250/250 mm	96.55	0.012	1.50
4/5	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 250/460 mm	79.86	0.010	1.10
5/6	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 458/658 mm	146.41	0.019	1.60
6/7	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 658/488 mm	279.71	0.036	3.02
7/8	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 490/320 mm	307.90	0.039	4.02
8/9	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 320/320 mm	632.25	0.081	9.05
9/10	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 320/620 mm	533.44	0.068	6.54
11/10	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 320/620 mm	533.44	0.068	6.54
12/11	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 320/320 mm	632.25	0.081	9.05



Pórtico Sección Variable 45 Metros De Luz

13/12	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 490/320 mm	307.90	0.039	4.02
19/13	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 658/488 mm	279.71	0.036	3.02
14/15	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 600/440 mm	77.03	0.010	0.90
15/16	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 440/250 mm	64.66	0.008	0.90
16/17	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 250/250 mm	96.55	0.012	1.50
17/18	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 250/460 mm	79.86	0.010	1.10
18/19	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 458/658 mm	146.41	0.019	1.60

2.5.- Barras: Resumen Medición (Acero)

Descripción			Peso (Kp)			Longitud (m)		
			Perfil	Serie	Acero	Perfil	Serie	Acero
Acero (S275)	Sección	Sección Variable, Perfil	3583.38			48.02		
		Sección Variable, Perfil	852.24			9.24		
				4435.62			57.26	
					4435.62			57.26

El peso total del pórtico como podemos apreciar en la tabla es de 4435,62 Kg., es muy similar al pórtico Void y bastante inferior al de IPE, como veremos más adelante.

2.6.- Cargas (Barras)

Barras	Hipót.	Tipo	Cargas				Dirección		
			P1	P2	L1 (m)	L2 (m)	X	Y	Z
11/10	1 (PP 1)	Trapez.	0.685 KN/m	0.916 KN/m	0.000	6.536	0.000	0.000	-1.000
11/10	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
9/10	1 (PP 1)	Trapez.	0.685 KN/m	0.916 KN/m	0.000	6.536	0.000	0.000	-1.000
9/10	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
12/11	1 (PP 1)	Uniforme	0.685 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
12/11	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
8/9	1 (PP 1)	Uniforme	0.685 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
8/9	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
13/12	1 (PP 1)	Trapez.	0.816 KN/m	0.685 KN/m	0.000	4.022	0.000	0.000	-1.000
13/12	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
7/8	1 (PP 1)	Trapez.	0.816 KN/m	0.685 KN/m	0.000	4.022	0.000	0.000	-1.000
7/8	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
14/15	1 (PP 1)	Trapez.	0.901 KN/m	0.778 KN/m	0.000	0.900	0.000	0.000	-1.000
14/15	1 (PP 1)	Uniforme	1.020 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
4/5	1 (PP 1)	Trapez.	0.631 KN/m	0.793 KN/m	0.000	1.100	0.000	0.000	-1.000
4/5	1 (PP 1)	Uniforme	2.340 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
15/16	1 (PP 1)	Trapez.	0.778 KN/m	0.631 KN/m	0.000	0.900	0.000	0.000	-1.000
15/16	1 (PP 1)	Uniforme	1.020 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
3/4	1 (PP 1)	Uniforme	0.631 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
3/4	1 (PP 1)	Uniforme	2.340 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000



Pórtico Sección Variable 45 Metros De Luz

16/17	1 (PP 1)	Uniforme	0.631 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
16/17	1 (PP 1)	Uniforme	1.020 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
2/3	1 (PP 1)	Trapez.	0.778 KN/m	0.631 KN/m	0.000	0.900	0.000	0.000	-1.000
2/3	1 (PP 1)	Uniforme	2.340 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
17/18	1 (PP 1)	Trapez.	0.631 KN/m	0.793 KN/m	0.000	1.100	0.000	0.000	-1.000
17/18	1 (PP 1)	Uniforme	1.020 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
1/2	1 (PP 1)	Trapez.	0.901 KN/m	0.778 KN/m	0.000	0.900	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Uniforme	2.340 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
6/7	1 (PP 1)	Trapez.	0.975 KN/m	0.844 KN/m	0.000	3.016	0.000	0.000	-1.000
6/7	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
5/6	1 (PP 1)	Trapez.	0.821 KN/m	0.975 KN/m	0.000	1.600	0.000	0.000	-1.000
5/6	1 (PP 1)	Uniforme	2.340 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
19/13	1 (PP 1)	Trapez.	0.975 KN/m	0.844 KN/m	0.000	3.016	0.000	0.000	-1.000
19/13	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
18/19	1 (PP 1)	Trapez.	0.821 KN/m	0.975 KN/m	0.000	1.600	0.000	0.000	-1.000
18/19	1 (PP 1)	Uniforme	1.020 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000

2.7.- Desplazamientos

Nudos	Descripción	DESPLAZAMIENTOS (EJES GENERALES)					
		DX (m)	DY (m)	DZ (m)	GX (rad)	GY (rad)	GZ (rad)
1	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	-0.0017	0.0000	0.0030	0.0000	0.0000
		0.0000	-0.0017	0.0000	0.0030	0.0000	0.0000
3	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	-0.0067	-0.0001	0.0072	0.0000	0.0000
		0.0000	-0.0067	-0.0001	0.0072	0.0000	0.0000
4	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	-0.0216	-0.0002	0.0081	0.0000	0.0000
		0.0000	-0.0216	-0.0002	0.0081	0.0000	0.0000
5	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	-0.0286	-0.0002	0.0036	0.0000	0.0000
		0.0000	-0.0286	-0.0002	0.0036	0.0000	0.0000
6	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	-0.0309	-0.0003	-0.0016	0.0000	0.0000
		0.0000	-0.0309	-0.0003	-0.0016	0.0000	0.0000
7	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	-0.0291	-0.0198	-0.0112	0.0000	0.0000
		0.0000	-0.0291	-0.0198	-0.0112	0.0000	0.0000
8	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	-0.0216	-0.0940	-0.0249	0.0000	0.0000
		0.0000	-0.0216	-0.0940	-0.0249	0.0000	0.0000
9	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0006	-0.3136	-0.0131	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0006	-0.3136	-0.0131	0.0000	0.0000
10	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0033	-0.3444	0.0004	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0033	-0.3444	0.0004	0.0000	0.0000
11	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0066	-0.3083	0.0138	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0066	-0.3083	0.0138	0.0000	0.0000
12	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0289	-0.0871	0.0244	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0289	-0.0871	0.0244	0.0000	0.0000
13	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0360	-0.0162	0.0101	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0360	-0.0162	0.0101	0.0000	0.0000
14	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
15	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0019	0.0000	-0.0033	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0019	0.0000	-0.0033	0.0000	0.0000



Pórtico Sección Variable 45 Metros De Luz

		0.0000	0.0019	0.0000	-0.0033	0.0000	0.0000
16	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0075	-0.0001	-0.0081	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0075	-0.0001	-0.0081	0.0000	0.0000
17	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0243	-0.0002	-0.0096	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0243	-0.0002	-0.0096	0.0000	0.0000
18	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0330	-0.0002	-0.0050	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0330	-0.0002	-0.0050	0.0000	0.0000
19	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0375	-0.0003	0.0003	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0375	-0.0003	0.0003	0.0000	0.0000

El desplazamiento vertical que se produce debido a la flexión en el nudo 10 (cubriera) es de 34,44 cm. Éste valor es muy importante tenerlo en cuenta a la hora del diseño del pórtico, porque este desplazamiento no puede ser excesivo.

2.8.- Reacciones

Nudos	Descripción	REACCIONES (EJES GENERALES)					
		RX (KN)	RY (KN)	RZ (KN)	MX (KN·m)	MY (KN·m)	MZ (KN·m)
1	Envolvente (Cim.equil.)	0.0000	158.0319	102.9623	-638.1979	0.0000	0.0000
		0.0000	237.0479	154.4434	-425.4653	0.0000	0.0000
1	Envolvente (Cim.tens.terr.)	0.0000	158.0319	102.9623	-425.4653	0.0000	0.0000
		0.0000	158.0319	102.9623	-425.4653	0.0000	0.0000
14	Envolvente (Cim.equil.)	0.0000	-267.2879	103.4446	475.0934	0.0000	0.0000
		0.0000	-178.1919	155.1668	712.6401	0.0000	0.0000
14	Envolvente (Cim.tens.terr.)	0.0000	-178.1919	103.4446	475.0934	0.0000	0.0000
		0.0000	-178.1919	103.4446	475.0934	0.0000	0.0000

2.9.- Tensiones

Barras	TENSION MÁXIMA								
	TENS. ()	APROV. (%)	Pos. (m)	N (KN)	Vy (KN)	Vz (KN)	Mt (KN·m)	My (KN·m)	Mz (KN·m)
11/10	0.6804	68.04	0.000	-235.1171	0.0000	-14.6662	0.0000	205.9485	0.0000
9/10	0.6944	69.44	0.000	-235.0490	0.0000	-14.0186	0.0000	210.1807	0.0000
12/11	0.6804	68.04	9.050	-235.1176	0.0000	-14.6582	0.0000	205.9485	0.0000
8/9	0.6944	69.44	9.050	-235.0495	0.0000	-14.0107	0.0000	210.1807	0.0000
13/12	0.9366	93.66	0.000	-243.0724	0.0000	-90.1870	0.0000	-477.5507	0.0000
7/8	0.9117	91.17	0.000	-243.0042	0.0000	-89.5394	0.0000	-464.8541	0.0000
14/15	0.9699	96.99	0.300	-139.2936	0.0000	240.1460	0.0000	569.2704	0.0000
4/5	0.8390	83.90	1.100	-134.7865	0.0000	-227.2427	0.0000	394.9108	0.0000
15/16	0.9619	96.19	0.315	-138.3104	0.0000	238.8861	0.0000	350.1131	0.0000
3/4	0.8193	81.93	0.000	-137.1231	0.0000	-219.0293	0.0000	-185.2429	0.0000
16/17	0.9407	94.07	0.000	-137.7742	0.0000	238.0805	0.0000	210.6004	0.0000
2/3	0.8597	85.97	0.270	-137.7037	0.0000	-217.0392	0.0000	-322.6045	0.0000
17/18	0.8578	85.78	1.100	-135.4376	0.0000	234.5003	0.0000	-403.7547	0.0000
1/2	0.8693	86.93	0.343	-138.5929	0.0000	-214.4262	0.0000	-501.0462	0.0000
6/7	0.9741	97.41	0.000	-244.8997	0.0000	-107.8629	0.0000	-762.5426	0.0000



Pórtico Sección Variable 45 Metros De Luz

5/6	0.9741	97.41	1.600	-132.8470	0.0000	-232.2971	0.0000	762.5426	0.0000
19/13	0.9928	99.28	0.000	-244.9677	0.0000	-108.5104	0.0000	-777.1926	0.0000
18/19	0.9928	99.28	1.600	-133.4981	0.0000	232.2971	0.0000	-777.1926	0.0000

La descripción de las tensiones para este pórtico se reduce a la descripción del pilar y viga derecha del mismo, ya que en estos es donde se produce las mayores tensiones. Vamos a empezar comentando el pilar: si echamos un vistazo al diagrama de tensiones podemos ver como el reparto de tensiones en el pilar es uniforme a lo largo del mismo exceptuando la zona intermedia, pero siendo esta última un tramo muy corto de tan solo 1,50 metros del longitud. El valor de aprovechamiento de los perfiles es el siguiente: el que se encuentra junto al suelo (14-15) tiene un aprovechamiento del 97%, totalmente uniforme y constante en dicha barra. La barra (15-16) al igual que la anterior tiene un aprovechamiento uniforme y constante con un valor del 96,20%. En la barra intermedia (16-17) el aprovechamiento medio es del 65,70% pero como hemos dicho anteriormente es una barra muy corta. La barra (17-18) tiene un aprovechamiento del 85,80% uniforme en toda la barra. Por último, la barra que se encuentra junto a la viga, (18-19), tiene un espesor superior al resto del pórtico. Esto es debido a que hay un aumento de tensión bastante considerable en esta zona de unión con la viga, con lo cual me he visto obligado a aumentar el espesor del perfil, dicha barra tiene un aprovechamiento del 99,30%.

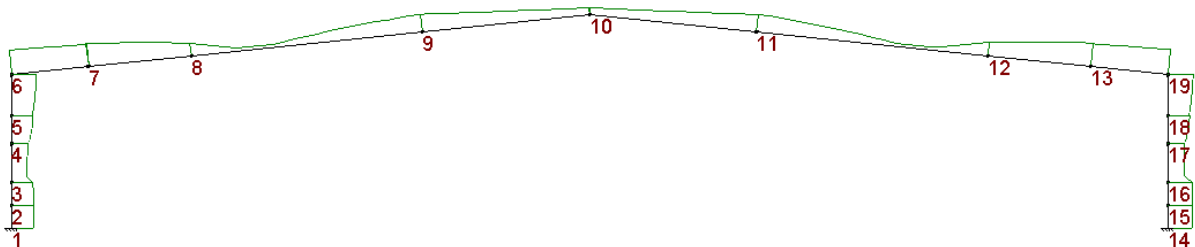


Diagrama de tensiones del pórtico.

La viga como ya sabemos consta de cuatro tramos. El tramo (13-19) pertenece a la zona anteriormente comentada, por lo tanto el espesor del perfil utilizado es igual al de la barra (18-19), esta barra está aprovechada al 99,30% aunque disminuye dicho aprovechamiento conforme nos acercamos a la barra (12-13), la cual tiene un aprovechamiento del 93,70% y el espesor de la misma ya es igual al resto del pórtico. En la barra intermedia (11-12) existe una variación en el aprovechamiento del perfil, oscilando entre un 68% de máximo y el 10,90% de mínimo. Por último en la barra (10-11), como podemos apreciar en el diagrama de tensiones, el nudo 11 tiene un aprovechamiento del perfil de 68% y que dicho aprovechamiento va disminuyendo conforme nos acercamos a la cumbrera, siendo éste de 25,50%. Ésta disminución de aprovechamiento a lo largo del perfil se produce porque conforme nos acercamos a la cumbrera, el

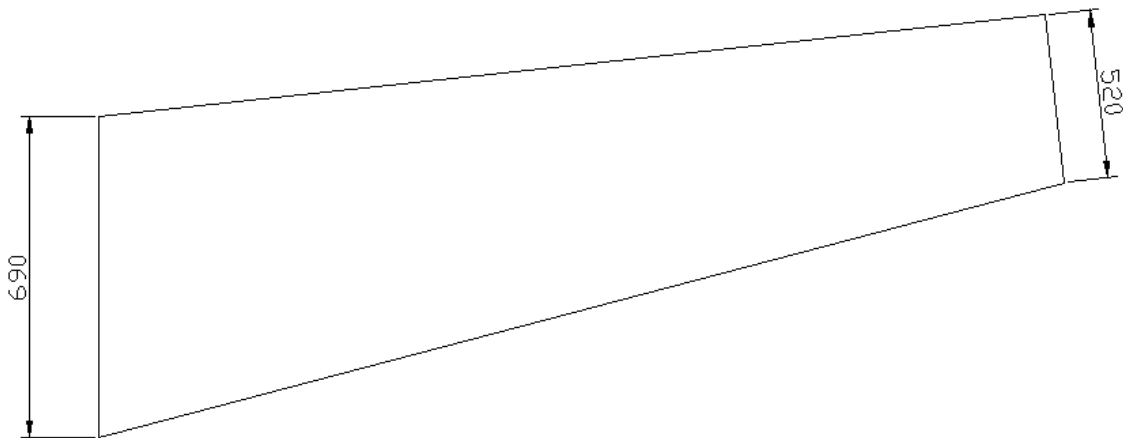


canto del perfil utilizado va siendo mayor. Es verdad que podríamos haber disminuido dicho canto para poder aprovecharlo mejor, pero si lo hubiéramos hecho el desplazamiento vertical que se produce en el nudo 10 sería demasiado grande y no lo podríamos permitir.

3. Cálculo de rigidizadores

Según el CTE no es necesario colocar rigidizadores en perfiles laminados ya que éstos vienen diseñados de manera que no se produce abolladura del alma. En este caso, dado que todos los perfiles son de sección variable habría que comprobarlos todos, pero después de haber realizado una primera valoración, en este caso solo hay que colocar rigidizadores en las barras (13-19) perteneciente a la viga y (18-19) del pilar.

La pieza ha comprobar de la viga, (13-19), es la que vemos a continuación:



1ª Comprobación sin rigidizadores:

$$\frac{d}{t} < 70 \times \varepsilon \quad \text{siendo } d \text{ y } t \text{ dimensiones del alma (altura y espesor)}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}} \quad \text{con } f_{ref} = 235 \text{ N/mm}^2 \quad \text{y con } f_y = 275 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{690}{10} < 70 \times 0,9244$$

69 < 64,708 No cumple.



Vamos a diseñarlo de manera que se cumpla que $a \geq d$

donde a = separación entre rigidizadores

$$\frac{L}{d} = \frac{3,02}{0,690} = 4,376 \quad R = 5$$

$$a = \frac{L}{R - 1} = \frac{3,02}{4} = 0,755$$

$$a \geq d \quad ; \quad 0,755 \geq 0,690$$

2ª Comprobación con Rigidizadores:

$$\frac{d}{t} < 30 \times \varepsilon \times \sqrt{K_t}$$

Según CTE para $a \geq d$:

$$K_t = 5,34 + \frac{4}{\left(\frac{a}{d}\right)^2} \quad ; \quad K_t = 5,34 + \frac{4}{\left(\frac{0,755}{0,690}\right)^2} = 8,68$$

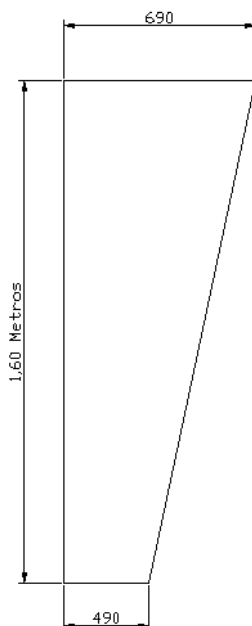
Los cálculos de la segunda comprobación son:

$$\frac{690}{10} < 30 \times 0,9244 \times \sqrt{8,68}$$

$$69 < 81,70 \quad \text{OK}$$

Hay que colocar 5 rigidizadores separados 755 mm.

La pieza (18-19), perteneciente al pilar es la siguiente:



1ª Comprobación sin rigidizadores:

$$\frac{d}{t} < 70 \times \varepsilon$$

Siendo d y t dimensiones del alma (altura y espesor)

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}} \quad \text{con} \quad f_{ref} = 235 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{y con} \quad f_y = 275 \text{ N/mm}^2$$



$$\frac{690}{10} < 70 \times 0,9244$$

$$69 < 64,708 \quad \text{No cumple.}$$

Vamos a diseñarlo de manera que se cumpla que $a \geq d$

donde a = separación entre rigidizadores

$$\frac{L}{d} = \frac{1,6}{0,690} = 2,31 \quad R = 3$$

$$a = \frac{L}{R-1} = \frac{1,6}{2} = 0,8$$

$$a \geq d \quad ; \quad 0,8 \geq 0,690$$

2ª Comprobación con Rigidizadores:

$$\frac{d}{t} < 30 \times \varepsilon \times \sqrt{K_t}$$

Según CTE para $a \geq d$:

$$K_t = 5,34 + \frac{4}{\left(\frac{a}{d}\right)^2} \quad ; \quad K_t = 5,34 + \frac{4}{\left(\frac{0,8}{0,690}\right)^2} = 8,31$$

Los cálculos de la segunda comprobación son:

$$\frac{690}{10} < 30 \times 0,9244 \times \sqrt{8,31}$$

$$69 < 79,97 \quad \text{OK}$$

Hay que colocar 3 rigidizadores separados 800 mm.



RESUMEN PARA 45 METROS DE LUZ



RESUMEN DEL ESTUDIO REALIZADO PARA 45 METROS

A continuación vamos a hacer una comparación entre los cuatro tipos de diseños descritos anteriormente para 45 metros de luz, eligiendo en base al estudio realizado la solución más aconsejable.

En la tabla que vemos justo debajo aparece a modo de resumen los datos más significativos de cada uno de los pórticos. Estos datos a los que hacemos referencia son: las tensiones o grado de aprovechamiento del perfil, el desplazamiento que se produce en el punto más alto de los pórticos (cumbreira) y por último, siendo éste el más importante, el peso total de la estructura. Decimos que es el más importante porque la finalidad de este estudio es conseguir la solución estructural más económica de entre las posibles y esto está relacionado directamente con el peso de la estructura.

(+Peso → +Coste)

Tabla 1. Resumen de los datos más significativos de los diseños estudiados

TIPO DE PÓRTICO	(APROVECHAMIENTO) TENSIONES %		DESPL. VERTICAL CUMBRERA (CM)	PESO PROPIO (KP)
	DINTEL DERECHO	PILAR DERECHO		
IPE 450	98,45%	95,84%	25,57 cm	5126,50
VIGA VOID 400	98,76%	98,70%	25,46 cm	4270,62
SECCIÓN VARIABLE*	93,70%	97%	34,44 cm	4435,62
VIGA CELOSÍA*	-	92,82%	13,43 cm	3428,07

SECCIÓN VARIABLE* Es el único pórtico en el que el pilar no es un IPE, siendo éste de sección variable.

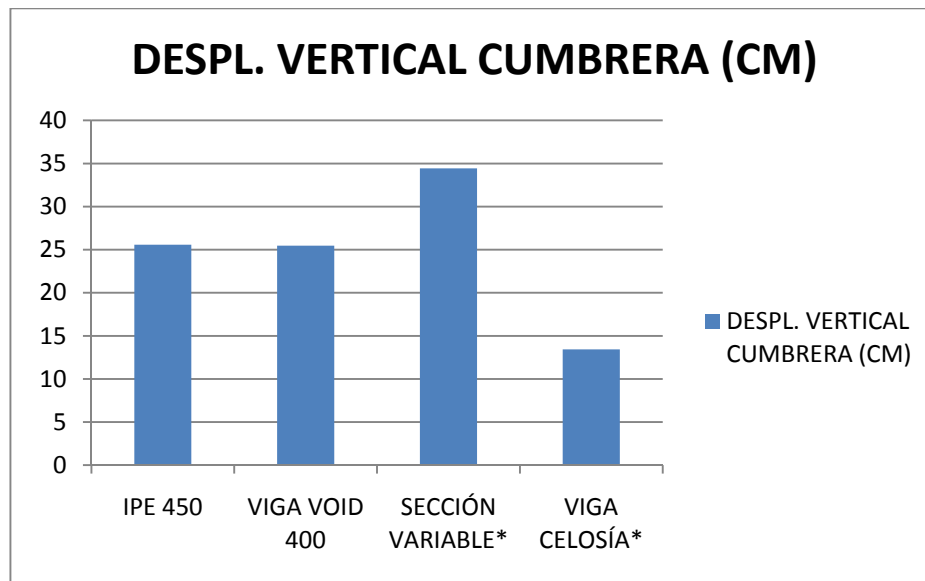
VIGA CELOSÍA* Debido a que la celosía tiene tantas barras, el aprovechamiento de las mismas es muy diverso, no teniendo muy claro el aprovechamiento medio de la misma.

En la tabla podemos ver cómo se van produciendo diferencias sobre todo en desplazamiento en cumbreira y el peso total de la estructura.

En cuanto a las tensiones o grado de aprovechamiento del perfil, se ha intentado que en cada uno de los pórticos estos valores sean máximos, por tanto la diferencia entre los mismos es muy pequeña. Atendiendo a la tabla, el tipo de pórtico que tiene un grado de aprovechamiento más alto en general es el Void.

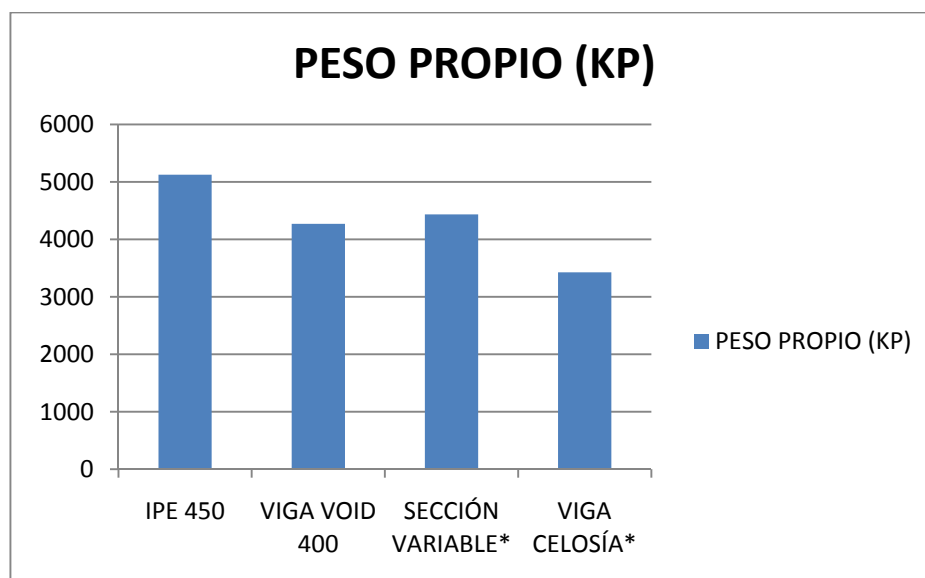


Gráfica 1. Desplazamiento vertical en función del tipo de pórtico



El desplazamiento vertical producido en la cumbre para el pórtico en Celosía es de 13,43 cm, es en el que se produce menos deformación. En los pórticos IPE y Void, el desplazamiento en dicho punto es muy similar estando en torno a 25 cm. Como viene siendo habitual el pórtico de Sección Variable es en el que más desplazamiento se produce estando éste en torno a 34 cm.

Gráfica 2. Kilos de acero en función del tipo de pórtico



En cuanto al peso total de la estructura, el pórtico Celosía es el más ligero de todos con un peso total de 3428,07 Kg, a sabiendas de esto y teniendo en cuenta que la diferencia de peso entre este pórtico y el inmediato superior en peso es de casi 850kg, ésta sería la solución más económica de



entre todas las posibles. Pero si tenemos en cuenta en la luz que estamos trabajando (45 m), el hecho de utilizar este tipo de diseño crea cierta incertidumbre en cuanto a su comportamiento ya que la diferencia de peso con respecto al resto de diseños estudiados es muy grande. Así, que atendiendo a lo anteriormente descrito voy a descartar este diseño como solución final. El pórtico IPE, como podemos apreciar en la tabla, es el más pesado de todos con 5126,50 Kg, la diferencia con respecto a Void y Sección Variable es de al menos 850kg más. Debido a esto vamos a descartar esta opción como diseño a elegir. Para esta luz la solución a elegir está entre Void y Sección Variable. Si atendemos a la tabla vemos que la diferencia de peso entre ambos diseños es de 165 kg, siendo el tipo Void el más ligero de los dos.

Tras lo comentado anteriormente y según el estudio realizado, el diseño Void es el menos pesado de ambos, en el que mejor aprovechamiento de perfiles existe de entre todos los diseños estudiados y en el que el desplazamiento producido en la cumbrera no es el más alto de todos. Por tanto, a nivel de optimización de perfiles, sería la solución a elegir, sin embargo no es mi decisión final, ya que el coste de fabricación de este diseño es muy superior al de sección Variable y siendo la diferencia de peso entre ambos de tan solo 165 kg y aunque el desplazamiento vertical sea mayor y el reparto de tensiones no sea tan uniforme yo elegiría como solución final el diseño de sección Variable.



PÓRTICOS PARA 50 METROS DE LUZ

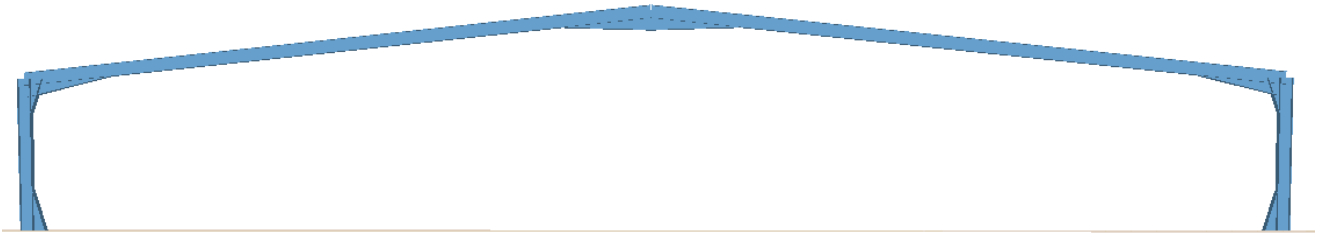


PÓRTICO PERFILES IPE



PÓRTICO IPE 50 METROS DE LUZ

1. Descripción general del pórtico:

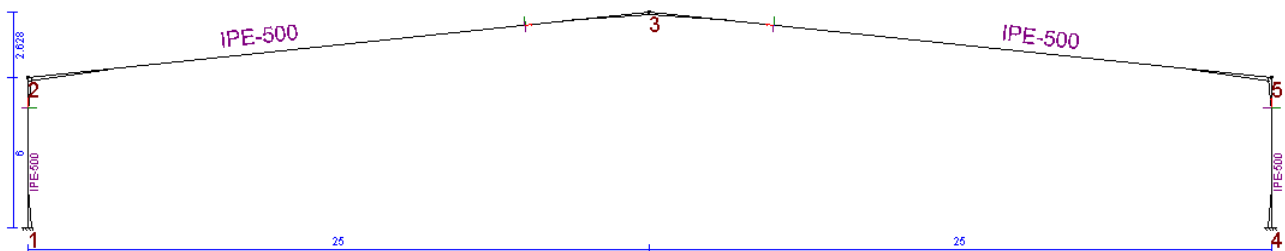


Interpretación real del pórtico

Este pórtico tiene 50 metros de luz y se ha realizado con perfil IPE de 500 milímetros de alma, para poder bajar el perfil lo máximo posible, ha sido necesaria la colocación de refuerzos “cartelas” en todos sus nudos. Estas cartelas se construyen con el mismo perfil utilizado en el pórtico pero cortado a la mitad en ángulo y colocándolas como aparecen en la imagen superior. La longitud de las cartelas superiores e inferiores del pilar son de 1,35 metros y 1,60 metros respectivamente, las cuales son relativamente grandes, pero que ha sido necesario colocar al ser el pilar de dicha sección.

Las vigas que conforman el dintel del pórtico también son IPE de 500 milímetros de alma. Estas vigas también han sido reforzadas en sus nudos con cartelas. La cartela de la cumbrera tiene una longitud de 3,40 metros y la que se encuentra junto al pilar tiene 3,50 metros. El diagrama de tensiones es similar al de luces estudiadas anteriormente, con la salvedad de que las zonas de aprovechamiento son mayores.

En la imagen que podemos apreciar más abajo, aparece a modo de esquema los perfiles utilizados en el pórtico, las cotas y la numeración de los nudos del mismo.



Esquema de nudos, cotas y tipo de perfil.



2. Descripción de valores aportados por Cype

A continuación aparecen unos listados con todos los datos de mediciones, tensiones, peso, reacciones, etc... que nos ha aportado Cype, junto con algunas aclaraciones para su mejor comprensión.

2.1 - Nudos

Nudos	Coordenadas (m)			Vínculos
	X	Y	Z	
1	0.000	0.000	0.000	Empotrado
2	0.000	0.000	6.000	Empotrado
3	0.000	25.000	8.628	Empotrado
4	0.000	50.000	0.000	Empotrado
5	0.000	50.000	6.000	Empotrado

2.2 - Barras: Características Mecánicas

Descripción	Inerc.Tor. cm ⁴	Inerc.y cm ⁴	Inerc.z cm ⁴	Sección cm ²
Acero, IPE-500, Simple con cartelas (IPE)	91.800	48200.000	2140.000	116.000

2.3.- Barras: Materiales Utilizados

Material	Mód.elást. (GPa)	Mód.el.trans. (GPa)	Lím.elás.\Fck (MPa)	Co.dilat. (m/m°C)	Peso espec. (KN/m ³)
Acero (S275)	206.01	79.23	275.00	1.2e-005	77.01

2.4.- Barras: Descripción

Barras	Material	Perfil	Peso (Kp)	Volumen (m ³)	Longitud (m)
1/2	Acero (S275)	IPE-500 (IPE) + carts. sup. 1.600 m y 1.350 m	675.76	0.086	6.00
2/3	Acero (S275)	IPE-500 (IPE) + carts. inf. 3.400 m y 3.500 m	2591.64	0.330	25.14
5/3	Acero (S275)	IPE-500 (IPE) + carts. inf. 3.400 m y 3.500 m	2591.64	0.330	25.14
4/5	Acero (S275)	IPE-500 (IPE) + carts. inf. 1.600 m y 1.350 m	675.76	0.086	6.00

En esta tabla podemos apreciar las longitudes de las cartelas junto con la longitud de los perfiles utilizados y el peso de los mismos.



2.5.- Barras: Resumen Medición (Acero)

Descripción			Peso (Kp)			Longitud (m)		
			Perfil	Serie	Acero	Perfil	Serie	Acero
Acero (S275)	IPE	IPE-500, Simple con c...	6534.80	6534.80		62.28	62.28	
					6534.80			62.28
					6534.80			62.28

El peso total de la estructura como podemos apreciar en la tabla es de 6534,80 kg. Este peso es el más alto de entre todos los diseños estudiados como veremos más adelante.

2.6.- Cargas (Barras)

Barras	Hipót.	Tipo	Cargas				Dirección		
			P1	P2	L1 (m)	L2 (m)	X	Y	Z
2/3	1 (PP 1)	Trapez.	1.507 KN/m	1.324 KN/m	0.000	1.700	0.000	0.000	-1.000
2/3	1 (PP 1)	Trapez.	1.324 KN/m	1.140 KN/m	1.700	3.400	0.000	0.000	-1.000
2/3	1 (PP 1)	Faja	0.893 KN/m	-	3.400	21.638	0.000	0.000	-1.000
2/3	1 (PP 1)	Trapez.	1.140 KN/m	1.324 KN/m	21.638	23.388	0.000	0.000	-1.000
2/3	1 (PP 1)	Trapez.	1.324 KN/m	1.507 KN/m	23.388	25.138	0.000	0.000	-1.000
2/3	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
5/3	1 (PP 1)	Trapez.	1.507 KN/m	1.324 KN/m	0.000	1.700	0.000	0.000	-1.000
5/3	1 (PP 1)	Trapez.	1.324 KN/m	1.140 KN/m	1.700	3.400	0.000	0.000	-1.000
5/3	1 (PP 1)	Faja	0.893 KN/m	-	3.400	21.638	0.000	0.000	-1.000
5/3	1 (PP 1)	Trapez.	1.140 KN/m	1.324 KN/m	21.638	23.388	0.000	0.000	-1.000
5/3	1 (PP 1)	Trapez.	1.324 KN/m	1.507 KN/m	23.388	25.138	0.000	0.000	-1.000
5/3	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Trapez.	1.507 KN/m	1.324 KN/m	0.000	0.800	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Trapez.	1.324 KN/m	1.140 KN/m	0.800	1.600	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Faja	0.893 KN/m	-	1.600	4.650	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Trapez.	1.140 KN/m	1.324 KN/m	4.650	5.325	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Trapez.	1.324 KN/m	1.507 KN/m	5.325	6.000	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Uniforme	2.340 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
4/5	1 (PP 1)	Trapez.	1.507 KN/m	1.324 KN/m	0.000	0.800	0.000	0.000	-1.000
4/5	1 (PP 1)	Trapez.	1.324 KN/m	1.140 KN/m	0.800	1.600	0.000	0.000	-1.000
4/5	1 (PP 1)	Faja	0.893 KN/m	-	1.600	4.650	0.000	0.000	-1.000
4/5	1 (PP 1)	Trapez.	1.140 KN/m	1.324 KN/m	4.650	5.325	0.000	0.000	-1.000
4/5	1 (PP 1)	Trapez.	1.324 KN/m	1.507 KN/m	5.325	6.000	0.000	0.000	-1.000
4/5	1 (PP 1)	Uniforme	1.020 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000



2.7.- Desplazamientos

Nudos	Descripción	DESPLAZAMIENTOS (EJES GENERALES)					
		DX (m)	DY (m)	DZ (m)	GX (rad)	GY (rad)	GZ (rad)
1	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	-0.0242	-0.0004	0.0005	0.0000	0.0000
		0.0000	-0.0242	-0.0004	0.0005	0.0000	0.0000
3	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0011	-0.2601	0.0001	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0011	-0.2601	0.0001	0.0000	0.0000
4	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
5	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0265	-0.0004	-0.0010	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0265	-0.0004	-0.0010	0.0000	0.0000

El desplazamiento que se produce en la cumbrera como podemos ver en la tabla es de 26,01 cm. Este desplazamiento se debe a la flexión que se produce en las vigas.

2.8.- Reacciones

Nudos	Descripción	REACCIONES (EJES GENERALES)					
		RX (KN)	RY (KN)	RZ (KN)	MX (KN·m)	MY (KN·m)	MZ (KN·m)
1	Envolvente (Cim.equil.)	0.0000	226.8955	122.4101	-1066.0183	0.0000	0.0000
		0.0000	340.3432	183.6151	-710.6789	0.0000	0.0000
1	Envolvente (Cim.tens.terr.)	0.0000	226.8955	122.4101	-710.6789	0.0000	0.0000
		0.0000	226.8955	122.4101	-710.6789	0.0000	0.0000
4	Envolvente (Cim.equil.)	0.0000	-370.5832	122.6879	764.2128	0.0000	0.0000
		0.0000	-247.0555	184.0318	1146.3192	0.0000	0.0000
4	Envolvente (Cim.tens.terr.)	0.0000	-247.0555	122.6879	764.2128	0.0000	0.0000
		0.0000	-247.0555	122.6879	764.2128	0.0000	0.0000

2.9.- Tensiones

Barras	TENSION MÁXIMA								
	TENS. ()	APROV. (%)	Pos. (m)	N (KN)	Vy (KN)	Vz (KN)	Mt (KN·m)	My (KN·m)	Mz (KN·m)
2/3	0.9835	98.35	3.400	-342.0657	0.0000	-81.6343	0.0000	-540.9165	0.0000
5/3	0.9982	99.82	3.400	-342.1239	0.0000	-82.0049	0.0000	-549.0232	0.0000
1/2	0.8902	89.02	4.650	-158.7166	0.0000	-320.9983	0.0000	489.5888	0.0000
4/5	0.9260	92.60	1.600	-126.0866	0.0000	346.9442	0.0000	509.3148	0.0000

El pórtico que nos ocupa consta de cuatro barras, pero realmente a efectos de estudio solo vamos a describir la viga de la derecha y el pilar derecho ya que, según hemos aplicado la hipótesis de carga, son los que están soportando más tensión.

Como podemos apreciar en la tabla el grado de aprovechamiento del pilar y viga derecha es bastante alto 92,60% y 99,82% respectivamente, lo cual nos indica que el diseño utilizado es bastante bueno.

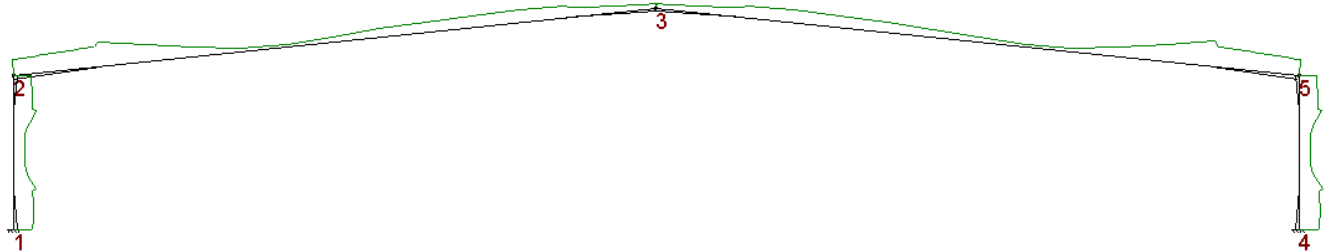


Diagrama de tensiones del pórtico.

Si nos fijamos ahora en el diagrama de tensiones vemos como este alto aprovechamiento de los perfiles se produce en las cercanías de los nudos, habiendo una zona tanto en el pilar como en la viga en la que este aprovechamiento disminuye considerablemente, pero al ser un perfil constante esta zona no se puede aprovechar mejor. Utilizando otros diseños como sección variable o Void veremos que esta zona se disminuye de manera considerable.

A continuación vamos a describir lo que le ocurre al pilar y viga derecho en cuanto al grado de aprovechamiento del perfil.

El pilar tiene tres zonas bien diferenciadas, la primera junto al suelo tiene una longitud de unos 1,9 metros en la que el reparto de tensiones es uniforme y bastante alto, debido a esto se ha colocado la cartela reforzando esta zona, con una longitud de 1,6 metros. El aprovechamiento en esta zona está en torno al 92,60% justo en el punto donde acaba la cartela. En la zona intermedia del pilar, de unos 2,6 metros de longitud, el aprovechamiento medio está en torno al 47%, habiendo una pequeña zona donde dicho aprovechamiento es del 44,80%. Por último, en la zona junto a la viga, el aprovechamiento vuelve a subir hasta el 90% manteniéndose casi constante en un tramo de 1,5 metros de longitud. Debido al aumento de la tensión hasta tal punto, ha sido necesaria la colocación de la cartela de 1,35 metros de longitud para reforzar esta zona.

Para la viga, en la primera zona que está pegando a la cumbrera, la tensión es muy inferior a la que se produce junto al pilar, si atendemos al estudio realizado en las luces anteriores para este diseño vemos que conforme aumenta la luz, el aprovechamiento del perfil en la zona de la cumbrera va disminuyendo, siendo el aprovechamiento para esta zona del 48,90%. La cartela colocada en dicha zona tiene una longitud de 3,40 metros, este refuerzo



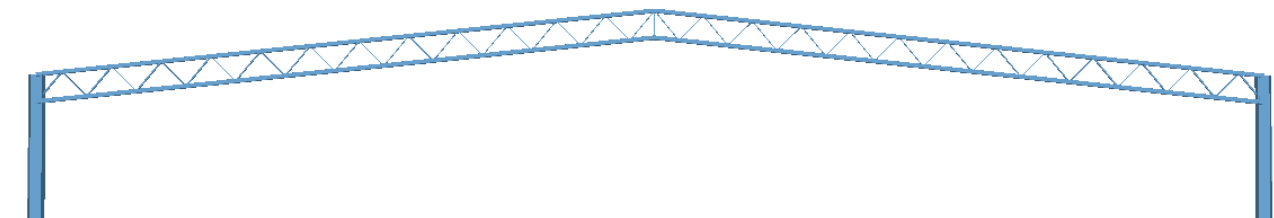
no le hace falta por cuestiones de tensión sino por reforzar una zona bastante delicada, debido a los desplazamientos que se producen en ella. La zona intermedia del perfil comprende unos 18 metros de longitud. En dicha zona la tensión que soporta el perfil es bastante inferior a la del resto del mismo, teniendo una pequeña zona con tan solo el 13,40% de aprovechamiento del perfil. El último tramo junto al pilar, el aprovechamiento como podemos apreciar es más alto y más uniforme a lo largo del perfil, teniendo un valor de 99,80%. Por tanto ha sido necesaria la colocación de una cartela con una longitud de 3,50 metros.



PÓRTICO VIGA DE CELOSÍA

PÓRTICO VIGA DE CELOSÍA 50 METROS DE LUZ

1. Descripción general del pórtico:

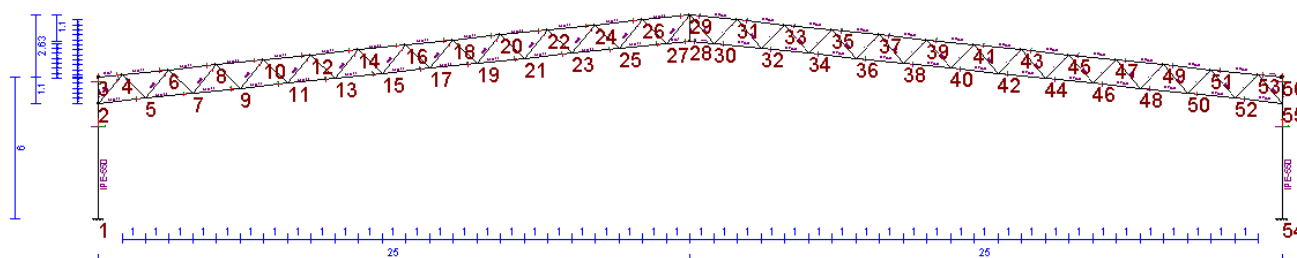


Interpretación real del pórtico

El pórtico que nos ocupa como ya sabemos tiene 50 metros de luz, sus pilares son IPE y la viga es una celosía cuyo diseño es el mismo de las estudiadas anteriormente.

Para los pilares se ha utilizado una sección de IPE 550 mm. En este caso no ha sido necesaria la colocación de cartelas inferiores ya que en el diagrama de tensiones del pilar, se ha equilibrado el aprovechamiento de la zona inferior con la superior del mismo. Esto quiere decir que el aprovechamiento de la parte inferior del perfil es muy similar al de la parte superior y como en la parte superior no colocamos cartelas por cuestiones de diseño en la parte inferior no son necesarias.

La viga como ya hemos comentado se ha solucionado con una celosía, formada en su totalidad por perfiles cuadrados huecos. Dicha celosía está formada por un montante vertical en la cumbrera y cincuenta diagonales, las cuales forman un ángulo con el montante inferior de 44° . La celosía tiene una altura entre montantes de 1,1 m. El montante superior tiene 160 mm de lado y el inferior tiene 170 mm de lado y ambos un espesor de 6 mm. Todas las diagonales tienen un espesor de 4mm. Las diagonales (2-4), (5-6), (7-8) y (9-10) tienen un lado de 60 mm. La diagonal (11-12) tiene 55 mm de lado, la (13-14) 50 mm de lado y la (15-16) tiene 45mm de lado. El resto de diagonales están formadas por perfil cuadrado hueco de 40 mm de lado y 4 mm de espesor.



Esquema de nudos, cotas y tipo de perfil.



En la imagen superior como podemos apreciar aparecen los nudos, cotas y perfiles utilizados, los cuales se describen a continuación:

2. Descripción de valores aportados por Cype

2.1 - Nudos

Nudos	Coordenadas (m)			Vínculos
	X	Y	Z	
1	0.000	0.000	0.000	Empotrado
2	0.000	0.000	4.900	Articulado
3	0.000	0.000	6.000	Empotrado
4	0.000	1.000	6.105	Articulado
5	0.000	2.000	5.110	Articulado
6	0.000	3.000	6.316	Articulado
7	0.000	4.000	5.321	Articulado
8	0.000	5.000	6.526	Articulado
9	0.000	6.000	5.531	Articulado
10	0.000	7.000	6.736	Articulado
11	0.000	8.000	5.742	Articulado
12	0.000	9.000	6.947	Articulado
13	0.000	10.000	5.952	Articulado
14	0.000	11.000	7.157	Articulado
15	0.000	12.000	6.162	Articulado
16	0.000	13.000	7.368	Articulado
17	0.000	14.000	6.373	Articulado
18	0.000	15.000	7.578	Articulado
19	0.000	16.000	6.583	Articulado
20	0.000	17.000	7.788	Articulado
21	0.000	18.000	6.794	Articulado
22	0.000	19.000	7.999	Articulado
23	0.000	20.000	7.004	Articulado
24	0.000	21.000	8.209	Articulado
25	0.000	22.000	7.214	Articulado
26	0.000	23.000	8.420	Articulado
27	0.000	24.000	7.425	Articulado
28	0.000	25.000	7.530	Articulado
29	0.000	25.000	8.630	Articulado
30	0.000	26.000	7.425	Articulado
31	0.000	27.000	8.420	Articulado
32	0.000	28.000	7.214	Articulado
33	0.000	29.000	8.209	Articulado
34	0.000	30.000	7.004	Articulado
35	0.000	31.000	7.999	Articulado
36	0.000	32.000	6.794	Articulado
37	0.000	33.000	7.788	Articulado
38	0.000	34.000	6.583	Articulado
39	0.000	35.000	7.578	Articulado
40	0.000	36.000	6.373	Articulado
41	0.000	37.000	7.368	Articulado
42	0.000	38.000	6.162	Articulado
43	0.000	39.000	7.157	Articulado
44	0.000	40.000	5.952	Articulado
45	0.000	41.000	6.947	Articulado
46	0.000	42.000	5.742	Articulado
47	0.000	43.000	6.736	Articulado
48	0.000	44.000	5.531	Articulado
49	0.000	45.000	6.526	Articulado
50	0.000	46.000	5.321	Articulado
51	0.000	47.000	6.316	Articulado
52	0.000	48.000	5.110	Articulado
53	0.000	49.000	6.105	Articulado
54	0.000	50.000	0.000	Empotrado
55	0.000	50.000	4.900	Articulado
56	0.000	50.000	6.000	Empotrado

Hay un total de cincuenta y seis nudos, los cuales se han considerado todos articulados salvo las vinculaciones exteriores que son empotramientos y las uniones entre celosía y pilar que se han considerado nudos rígidos.



2.2 - Barras: Características Mecánicas

Descripción	Inerc.Tor. cm ⁴	Inerc.y cm ⁴	Inerc.z cm ⁴	Sección cm ²
Acero, IPE-550, Perfil simple (IPE)	122.000	67120.000	2670.000	134.000
Acero, #40x4, Perfil simple (Huecos cuadrados)	19.017	10.347	10.347	5.198
Acero, #45x4, Perfil simple (Huecos cuadrados)	28.276	15.702	15.702	5.998
Acero, #50x4, Perfil simple (Huecos cuadrados)	40.067	22.627	22.627	6.798
Acero, #55x4, Perfil simple (Huecos cuadrados)	54.689	31.322	31.322	7.598
Acero, #60x4, Perfil simple (Huecos cuadrados)	72.442	41.986	41.986	8.398
Acero, #160x6, Perfil simple (Huecos cuadrados)	2246.451	1381.752	1381.752	35.695
Acero, #170x6, Perfil simple (Huecos cuadrados)	2710.475	1674.890	1674.890	38.095

2.3.- Barras: Materiales Utilizados

Material	Mód.elást. (GPa)	Mód.el.trans. (GPa)	Lím.elás.\Fck (MPa)	Co.dilat. (m/m°C)	Peso espec. (KN/m ³)
Acero (S275)	206.01	79.23	275.00	1.2e-005	77.01

2.4.- Barras: Descripción

Barras	Material	Perfil	Peso (Kp)	Volumen (m ³)	Longitud (m)
1/2	Acero (S275)	IPE-550 (IPE)	515.43	0.066	4.90
2/3	Acero (S275)	IPE-550 (IPE)	115.71	0.015	1.10
2/4	Acero (S275)	#60x4 (Huecos cuadrados)	10.32	0.001	1.57
2/5	Acero (S275)	#170x6 (Huecos cuadrados)	60.14	0.008	2.01
3/4	Acero (S275)	#160x6 (Huecos cuadrados)	28.18	0.004	1.01
5/4	Acero (S275)	#45x4 (Huecos cuadrados)	6.64	0.001	1.41
4/6	Acero (S275)	#160x6 (Huecos cuadrados)	56.35	0.007	2.01
5/6	Acero (S275)	#60x4 (Huecos cuadrados)	10.32	0.001	1.57
5/7	Acero (S275)	#170x6 (Huecos cuadrados)	60.14	0.008	2.01
7/6	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	5.76	0.001	1.41
6/8	Acero (S275)	#160x6 (Huecos cuadrados)	56.35	0.007	2.01
7/8	Acero (S275)	#60x4 (Huecos cuadrados)	10.32	0.001	1.57
7/9	Acero (S275)	#170x6 (Huecos cuadrados)	60.14	0.008	2.01
9/8	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	5.76	0.001	1.41
8/10	Acero (S275)	#160x6 (Huecos cuadrados)	56.35	0.007	2.01
9/10	Acero (S275)	#60x4 (Huecos cuadrados)	10.32	0.001	1.57
9/11	Acero (S275)	#170x6 (Huecos cuadrados)	60.14	0.008	2.01
11/10	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	5.76	0.001	1.41
10/12	Acero (S275)	#160x6 (Huecos cuadrados)	56.35	0.007	2.01
11/12	Acero (S275)	#55x4 (Huecos cuadrados)	9.34	0.001	1.57
11/13	Acero (S275)	#170x6 (Huecos cuadrados)	60.14	0.008	2.01
13/12	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	5.76	0.001	1.41
12/14	Acero (S275)	#160x6 (Huecos cuadrados)	56.35	0.007	2.01
13/14	Acero (S275)	#50x4 (Huecos cuadrados)	8.36	0.001	1.57
13/15	Acero (S275)	#170x6 (Huecos cuadrados)	60.14	0.008	2.01
15/14	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	5.76	0.001	1.41
14/16	Acero (S275)	#160x6 (Huecos cuadrados)	56.35	0.007	2.01
15/16	Acero (S275)	#45x4 (Huecos cuadrados)	7.37	0.001	1.57
15/17	Acero (S275)	#170x6 (Huecos cuadrados)	60.14	0.008	2.01
17/16	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	5.76	0.001	1.41
16/18	Acero (S275)	#160x6 (Huecos cuadrados)	56.35	0.007	2.01
17/18	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	6.39	0.001	1.57



Pórtico Viga Celosía 50 Metros De Luz

17/19	Acero (S275)	#170x6 (Huecos cuadrados)	60.14	0.008	2.01
19/18	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	5.76	0.001	1.41
18/20	Acero (S275)	#160x6 (Huecos cuadrados)	56.35	0.007	2.01
19/20	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	6.39	0.001	1.57
19/21	Acero (S275)	#170x6 (Huecos cuadrados)	60.14	0.008	2.01
21/20	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	5.76	0.001	1.41
20/22	Acero (S275)	#160x6 (Huecos cuadrados)	56.35	0.007	2.01
21/22	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	6.39	0.001	1.57
21/23	Acero (S275)	#170x6 (Huecos cuadrados)	60.14	0.008	2.01
23/22	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	5.76	0.001	1.41
22/24	Acero (S275)	#160x6 (Huecos cuadrados)	56.35	0.007	2.01
23/24	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	6.39	0.001	1.57
23/25	Acero (S275)	#170x6 (Huecos cuadrados)	60.14	0.008	2.01
25/24	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	5.76	0.001	1.41
24/26	Acero (S275)	#160x6 (Huecos cuadrados)	56.35	0.007	2.01
25/26	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	6.39	0.001	1.57
25/27	Acero (S275)	#170x6 (Huecos cuadrados)	60.14	0.008	2.01
27/26	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	5.76	0.001	1.41
26/29	Acero (S275)	#160x6 (Huecos cuadrados)	56.35	0.007	2.01
27/28	Acero (S275)	#170x6 (Huecos cuadrados)	30.07	0.004	1.01
27/29	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	6.39	0.001	1.57
28/29	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	4.49	0.001	1.10
30/28	Acero (S275)	#170x6 (Huecos cuadrados)	30.07	0.004	1.01
30/29	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	6.39	0.001	1.57
31/29	Acero (S275)	#160x6 (Huecos cuadrados)	56.35	0.007	2.01
30/31	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	5.76	0.001	1.41
32/30	Acero (S275)	#170x6 (Huecos cuadrados)	60.14	0.008	2.01
32/31	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	6.39	0.001	1.57
33/31	Acero (S275)	#160x6 (Huecos cuadrados)	56.35	0.007	2.01
32/33	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	5.76	0.001	1.41
34/32	Acero (S275)	#170x6 (Huecos cuadrados)	60.14	0.008	2.01
34/33	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	6.39	0.001	1.57
35/33	Acero (S275)	#160x6 (Huecos cuadrados)	56.35	0.007	2.01
34/35	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	5.76	0.001	1.41
36/34	Acero (S275)	#170x6 (Huecos cuadrados)	60.14	0.008	2.01
36/35	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	6.39	0.001	1.57
37/35	Acero (S275)	#160x6 (Huecos cuadrados)	56.35	0.007	2.01
36/37	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	5.76	0.001	1.41
38/36	Acero (S275)	#170x6 (Huecos cuadrados)	60.14	0.008	2.01
38/37	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	6.39	0.001	1.57
39/37	Acero (S275)	#160x6 (Huecos cuadrados)	56.35	0.007	2.01
38/39	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	5.76	0.001	1.41
40/38	Acero (S275)	#170x6 (Huecos cuadrados)	60.14	0.008	2.01
40/39	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	6.39	0.001	1.57
41/39	Acero (S275)	#160x6 (Huecos cuadrados)	56.35	0.007	2.01
40/41	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	5.76	0.001	1.41
42/40	Acero (S275)	#170x6 (Huecos cuadrados)	60.14	0.008	2.01
42/41	Acero (S275)	#45x4 (Huecos cuadrados)	7.37	0.001	1.57
43/41	Acero (S275)	#160x6 (Huecos cuadrados)	56.35	0.007	2.01
42/43	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	5.76	0.001	1.41
44/42	Acero (S275)	#170x6 (Huecos cuadrados)	60.14	0.008	2.01
44/43	Acero (S275)	#50x4 (Huecos cuadrados)	8.36	0.001	1.57
45/43	Acero (S275)	#160x6 (Huecos cuadrados)	56.35	0.007	2.01
44/45	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	5.76	0.001	1.41
46/44	Acero (S275)	#170x6 (Huecos cuadrados)	60.14	0.008	2.01
46/45	Acero (S275)	#55x4 (Huecos cuadrados)	9.34	0.001	1.57
47/45	Acero (S275)	#160x6 (Huecos cuadrados)	56.35	0.007	2.01
46/47	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	5.76	0.001	1.41
48/46	Acero (S275)	#170x6 (Huecos cuadrados)	60.14	0.008	2.01
48/47	Acero (S275)	#60x4 (Huecos cuadrados)	10.32	0.001	1.57



Pórtico Viga Celosía 50 Metros De Luz

49/47	Acero (S275)	#160x6 (Huecos cuadrados)	56.35	0.007	2.01
48/49	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	5.76	0.001	1.41
50/48	Acero (S275)	#170x6 (Huecos cuadrados)	60.14	0.008	2.01
50/49	Acero (S275)	#60x4 (Huecos cuadrados)	10.32	0.001	1.57
51/49	Acero (S275)	#160x6 (Huecos cuadrados)	56.35	0.007	2.01
50/51	Acero (S275)	#40x4 (Huecos cuadrados)	5.76	0.001	1.41
52/50	Acero (S275)	#170x6 (Huecos cuadrados)	60.14	0.008	2.01
52/51	Acero (S275)	#60x4 (Huecos cuadrados)	10.32	0.001	1.57
53/51	Acero (S275)	#160x6 (Huecos cuadrados)	56.35	0.007	2.01
52/53	Acero (S275)	#45x4 (Huecos cuadrados)	6.64	0.001	1.41
55/52	Acero (S275)	#170x6 (Huecos cuadrados)	60.14	0.008	2.01
55/53	Acero (S275)	#60x4 (Huecos cuadrados)	10.32	0.001	1.57
56/53	Acero (S275)	#160x6 (Huecos cuadrados)	28.18	0.004	1.01
54/55	Acero (S275)	IPE-550 (IPE)	515.43	0.066	4.90
55/56	Acero (S275)	IPE-550 (IPE)	115.71	0.015	1.10

2.5.- Barras: Resumen Medición (Acero)

Descripción			Peso (Kp)			Longitud (m)		
			Perfil	Serie	Acero	Perfil	Serie	Acero
Acero (S275)	IPE	IPE-550, Perfil simple	1262.28	1262.28		12.00	12.00	
		#40x4, Perfil simple	207.89			50.96		
		#45x4, Perfil simple	28.02			5.96		
		#50x4, Perfil simple	16.72			3.14		
		#55x4, Perfil simple	18.68			3.14		
		#60x4, Perfil simple	82.56			12.56		
		#160x6, Perfil simple	1408.76			50.26		
		#170x6, Perfil simple	1503.50			50.26		
	Huecos cuadrados			3266.13			176.28	
					4528.41			188.28
					4528.41			188.28

Como podemos apreciar en la tabla, el peso total de la estructura es de 4528,41 Kg, dicho peso es el menor de entre todas las tipologías estudiadas. Esta reducción de peso se debe al uso de la viga de celosía obteniendo así un pórtico más ligero.

2.6.- Cargas (Nudos)

Nudos	Hipót.	Tipo	Cargas				Dirección		
			P1	P2	L1 (m)	L2 (m)	X	Y	Z
3	1 (PP 1)	Puntual	3.460 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
4	1 (PP 1)	Puntual	6.920 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
6	1 (PP 1)	Puntual	6.920 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
8	1 (PP 1)	Puntual	6.920 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
10	1 (PP 1)	Puntual	6.920 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
12	1 (PP 1)	Puntual	6.920 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
14	1 (PP 1)	Puntual	6.920 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
16	1 (PP 1)	Puntual	6.920 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
18	1 (PP 1)	Puntual	6.920 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000



Pórtico Viga Celosía 50 Metros De Luz

20	1 (PP 1)	Puntual	6.920 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
22	1 (PP 1)	Puntual	6.920 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
24	1 (PP 1)	Puntual	6.920 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
26	1 (PP 1)	Puntual	6.920 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
29	1 (PP 1)	Puntual	6.920 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
31	1 (PP 1)	Puntual	6.920 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
33	1 (PP 1)	Puntual	6.920 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
35	1 (PP 1)	Puntual	6.920 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
37	1 (PP 1)	Puntual	6.920 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
39	1 (PP 1)	Puntual	6.920 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
41	1 (PP 1)	Puntual	6.920 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
43	1 (PP 1)	Puntual	6.920 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
45	1 (PP 1)	Puntual	6.920 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
47	1 (PP 1)	Puntual	6.920 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
49	1 (PP 1)	Puntual	6.920 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
51	1 (PP 1)	Puntual	6.920 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
53	1 (PP 1)	Puntual	6.920 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
56	1 (PP 1)	Puntual	3.460 KN	-	-	-	0.000	0.000	-1.000

En la tabla superior podemos apreciar como se ha distribuido la carga calculada al principio en la celosía. Y en la tabla que hay a continuación, se detallan las cargas debidas al peso propio de la estructura que nos ha generado el programa.

2.7.- Cargas (Barras)

Barras	Hipót.	Tipo	Cargas				Dirección		
			P1	P2	L1 (m)	L2 (m)	X	Y	Z
2/3	1 (PP 1)	Uniforme	1.032 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
2/3	1 (PP 1)	Uniforme	2.340 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
54/55	1 (PP 1)	Uniforme	1.032 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
54/55	1 (PP 1)	Uniforme	1.020 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
1/2	1 (PP 1)	Uniforme	1.032 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Uniforme	2.340 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
55/56	1 (PP 1)	Uniforme	1.032 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
55/56	1 (PP 1)	Uniforme	1.020 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
28/29	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
30/29	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
27/29	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
30/31	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
27/26	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
32/31	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
25/26	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
32/33	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
25/24	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
34/33	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
23/24	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
34/35	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
23/22	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
36/35	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000



Pórtico Viga Celosía 50 Metros De Luz

21/22	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
36/37	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
21/20	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
38/37	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
19/20	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
38/39	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
19/18	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
40/39	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
17/18	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
40/41	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
17/16	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
42/43	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
15/14	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
44/45	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
13/12	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
46/47	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
11/10	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
48/49	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
9/8	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
50/51	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
7/6	1 (PP 1)	Uniforme	0.040 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
15/16	1 (PP 1)	Uniforme	0.046 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
42/41	1 (PP 1)	Uniforme	0.046 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
52/53	1 (PP 1)	Uniforme	0.046 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
5/4	1 (PP 1)	Uniforme	0.046 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
13/14	1 (PP 1)	Uniforme	0.052 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
44/43	1 (PP 1)	Uniforme	0.052 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
11/12	1 (PP 1)	Uniforme	0.059 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
46/45	1 (PP 1)	Uniforme	0.059 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
9/10	1 (PP 1)	Uniforme	0.065 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
48/47	1 (PP 1)	Uniforme	0.065 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
7/8	1 (PP 1)	Uniforme	0.065 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
50/49	1 (PP 1)	Uniforme	0.065 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
5/6	1 (PP 1)	Uniforme	0.065 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
52/51	1 (PP 1)	Uniforme	0.065 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
55/53	1 (PP 1)	Uniforme	0.065 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
2/4	1 (PP 1)	Uniforme	0.065 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
26/29	1 (PP 1)	Uniforme	0.275 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
31/29	1 (PP 1)	Uniforme	0.275 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
24/26	1 (PP 1)	Uniforme	0.275 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
33/31	1 (PP 1)	Uniforme	0.275 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
22/24	1 (PP 1)	Uniforme	0.275 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
35/33	1 (PP 1)	Uniforme	0.275 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
20/22	1 (PP 1)	Uniforme	0.275 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
37/35	1 (PP 1)	Uniforme	0.275 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
18/20	1 (PP 1)	Uniforme	0.275 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
39/37	1 (PP 1)	Uniforme	0.275 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
16/18	1 (PP 1)	Uniforme	0.275 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
41/39	1 (PP 1)	Uniforme	0.275 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
14/16	1 (PP 1)	Uniforme	0.275 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
43/41	1 (PP 1)	Uniforme	0.275 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
12/14	1 (PP 1)	Uniforme	0.275 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000



Pórtico Viga Celosía 50 Metros De Luz

45/43	1 (PP 1)	Uniforme	0.275 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
10/12	1 (PP 1)	Uniforme	0.275 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
47/45	1 (PP 1)	Uniforme	0.275 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
8/10	1 (PP 1)	Uniforme	0.275 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
49/47	1 (PP 1)	Uniforme	0.275 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
6/8	1 (PP 1)	Uniforme	0.275 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
51/49	1 (PP 1)	Uniforme	0.275 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
4/6	1 (PP 1)	Uniforme	0.275 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
53/51	1 (PP 1)	Uniforme	0.275 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
3/4	1 (PP 1)	Uniforme	0.275 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
56/53	1 (PP 1)	Uniforme	0.275 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
27/28	1 (PP 1)	Uniforme	0.293 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
30/28	1 (PP 1)	Uniforme	0.293 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
25/27	1 (PP 1)	Uniforme	0.293 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
32/30	1 (PP 1)	Uniforme	0.293 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
23/25	1 (PP 1)	Uniforme	0.293 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
34/32	1 (PP 1)	Uniforme	0.293 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
21/23	1 (PP 1)	Uniforme	0.293 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
36/34	1 (PP 1)	Uniforme	0.293 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
19/21	1 (PP 1)	Uniforme	0.293 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
38/36	1 (PP 1)	Uniforme	0.293 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
17/19	1 (PP 1)	Uniforme	0.293 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
40/38	1 (PP 1)	Uniforme	0.293 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
15/17	1 (PP 1)	Uniforme	0.293 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
42/40	1 (PP 1)	Uniforme	0.293 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
13/15	1 (PP 1)	Uniforme	0.293 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
44/42	1 (PP 1)	Uniforme	0.293 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
11/13	1 (PP 1)	Uniforme	0.293 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
46/44	1 (PP 1)	Uniforme	0.293 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
9/11	1 (PP 1)	Uniforme	0.293 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
48/46	1 (PP 1)	Uniforme	0.293 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
7/9	1 (PP 1)	Uniforme	0.293 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
50/48	1 (PP 1)	Uniforme	0.293 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
5/7	1 (PP 1)	Uniforme	0.293 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
52/50	1 (PP 1)	Uniforme	0.293 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
2/5	1 (PP 1)	Uniforme	0.293 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
55/52	1 (PP 1)	Uniforme	0.293 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000

2.8.- Desplazamientos

Los desplazamientos que se producen normalmente en una celosía son muy pequeños y no va a ser este caso una excepción. En los demás pórticos estudiados para esta luz, los desplazamientos que se producen en la cumbrera son bastante mayores que en el caso que nos ocupa, siendo este de 14,31 cm.



2.9.- Reacciones

Nudos	Descripción	REACCIONES (EJES GENERALES)					
		RX (KN)	RY (KN)	RZ (KN)	MX (KN·m)	MY (KN·m)	MZ (KN·m)
1	Envolvente (Cim.equil.)	0.0000	169.6996	111.8758	-604.4425	0.0000	0.0000
		0.0000	254.5494	167.8137	-402.9617	0.0000	0.0000
1	Envolvente (Cim.tens.terr.)	0.0000	169.6996	111.8758	-402.9617	0.0000	0.0000
		0.0000	169.6996	111.8758	-402.9617	0.0000	0.0000
54	Envolvente (Cim.equil.)	0.0000	-284.7894	112.4669	448.6650	0.0000	0.0000
		0.0000	-189.8596	168.7003	672.9975	0.0000	0.0000
54	Envolvente (Cim.tens.terr.)	0.0000	-189.8596	112.4669	448.6650	0.0000	0.0000
		0.0000	-189.8596	112.4669	448.6650	0.0000	0.0000

2.10.-Tensiones

Barras	TENSION MÁXIMA								
	TENS. ()	APROV. (%)	Pos. (m)	N (KN)	Vy (KN)	Vz (KN)	Mt (KN·m)	My (KN·m)	Mz (KN·m)
2/3	0.9014	90.14	0.000	29.9502	0.0000	541.7579	0.0000	616.4885	0.0000
54/55	0.9118	91.18	4.900	-145.0042	0.0000	249.5632	0.0000	-633.6928	0.0000
1/2	0.8870	88.70	4.900	-144.2062	0.0000	-244.5736	0.0000	616.4885	0.0000
55/56	0.9306	93.06	0.000	31.5634	0.0000	-554.5826	0.0000	-633.6928	0.0000
28/29	0.3061	30.61	1.100	39.7703	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
30/29	0.1817	18.17	1.566	23.6157	0.0000	0.0270	0.0000	0.0000	0.0000
27/29	0.1903	19.03	1.566	24.7225	0.0000	0.0270	0.0000	0.0000	0.0000
30/31	0.3555	35.55	0.705	-22.8445	0.0000	0.0000	0.0000	0.0095	0.0000
27/26	0.3710	37.10	0.705	-23.8616	0.0000	0.0000	0.0000	0.0095	0.0000
32/31	0.1020	10.20	1.566	13.2589	0.0000	0.0270	0.0000	0.0000	0.0000
25/26	0.1107	11.07	1.566	14.3871	0.0000	0.0270	0.0000	0.0000	0.0000
32/33	0.1796	17.96	0.705	-11.3719	0.0000	0.0000	0.0000	0.0095	0.0000
25/24	0.1950	19.50	0.705	-12.3791	0.0000	0.0000	0.0000	0.0095	0.0000
34/33	0.0444	4.44	0.783	-2.1935	0.0000	0.0000	0.0000	0.0106	0.0000
23/24	0.0245	2.45	0.783	-1.0743	0.0000	0.0000	0.0000	0.0106	0.0000
34/35	0.0237	2.37	1.411	3.0806	0.0000	0.0270	0.0000	0.0000	0.0000
23/22	0.0159	1.59	1.411	2.0709	0.0000	0.0270	0.0000	0.0000	0.0000
36/35	0.3189	31.89	0.783	-17.6595	0.0000	0.0000	0.0000	0.0106	0.0000
21/22	0.2992	29.92	0.783	-16.5390	0.0000	0.0000	0.0000	0.0106	0.0000
36/37	0.1306	13.06	1.411	16.9729	0.0000	0.0270	0.0000	0.0000	0.0000
21/20	0.1229	12.29	1.411	15.9635	0.0000	0.0270	0.0000	0.0000	0.0000
38/37	0.5933	59.33	0.783	-33.2520	0.0000	0.0000	0.0000	0.0106	0.0000
19/20	0.5736	57.36	0.783	-32.1305	0.0000	0.0000	0.0000	0.0106	0.0000
38/39	0.2373	23.73	1.411	30.8335	0.0000	0.0270	0.0000	0.0000	0.0000
19/18	0.2295	22.95	1.411	29.8263	0.0000	0.0270	0.0000	0.0000	0.0000
40/39	0.8603	86.03	0.783	-48.4235	0.0000	0.0000	0.0000	0.0106	0.0000
17/18	0.8407	84.07	0.783	-47.3083	0.0000	0.0000	0.0000	0.0106	0.0000
40/41	0.3448	34.48	1.411	44.8040	0.0000	0.0270	0.0000	0.0000	0.0000
17/16	0.3370	33.70	1.411	43.7959	0.0000	0.0270	0.0000	0.0000	0.0000
42/43	0.4531	45.31	1.411	58.8824	0.0000	0.0270	0.0000	0.0000	0.0000
15/14	0.4454	44.54	1.411	57.8723	0.0000	0.0270	0.0000	0.0000	0.0000
44/45	0.5609	56.09	1.411	72.8842	0.0000	0.0270	0.0000	0.0000	0.0000
13/12	0.5531	55.31	1.411	71.8745	0.0000	0.0270	0.0000	0.0000	0.0000
46/47	0.6689	66.89	1.411	86.9142	0.0000	0.0270	0.0000	0.0000	0.0000



Pórtico Viga Celosía 50 Metros De Luz

11/10	0.6611	66.11	1.411	85.9053	0.0000	0.0270	0.0000	0.0000	0.0000
48/49	0.7806	78.06	1.411	101.4374	0.0000	0.0270	0.0000	0.0000	0.0000
9/8	0.7728	77.28	1.411	100.4202	0.0000	0.0270	0.0000	0.0000	0.0000
50/51	0.8697	86.97	1.411	113.0114	0.0000	0.0270	0.0000	0.0000	0.0000
7/6	0.8622	86.22	1.411	112.0381	0.0000	0.0270	0.0000	0.0000	0.0000
15/16	0.8069	80.69	0.783	-63.1086	0.0000	0.0000	0.0000	0.0122	0.0000
42/41	0.8212	82.12	0.783	-64.2312	0.0000	0.0000	0.0000	0.0122	0.0000
52/53	0.9017	90.17	1.411	135.2082	0.0000	0.0312	0.0000	0.0000	0.0000
5/4	0.8940	89.40	1.411	134.0565	0.0000	0.0312	0.0000	0.0000	0.0000
13/14	0.7723	77.23	0.783	-78.6140	0.0000	0.0000	0.0000	0.0138	0.0000
44/43	0.7832	78.32	0.783	-79.7348	0.0000	0.0000	0.0000	0.0138	0.0000
11/12	0.7473	74.73	0.783	-94.1392	0.0000	0.0000	0.0000	0.0155	0.0000
46/45	0.7561	75.61	0.783	-95.2600	0.0000	0.0000	0.0000	0.0155	0.0000
9/10	0.7328	73.28	0.783	-109.9799	0.0000	0.0000	0.0000	0.0171	0.0000
48/47	0.7402	74.02	0.783	-111.1017	0.0000	0.0000	0.0000	0.0171	0.0000
7/8	0.8336	83.36	0.783	-125.2269	0.0000	0.0000	0.0000	0.0171	0.0000
50/49	0.8411	84.11	0.783	-126.3497	0.0000	0.0000	0.0000	0.0171	0.0000
5/6	0.9362	93.62	0.783	-140.7305	0.0000	0.0000	0.0000	0.0171	0.0000
52/51	0.9435	94.35	0.783	-141.8389	0.0000	0.0000	0.0000	0.0171	0.0000
55/53	0.8948	89.48	0.783	-134.4736	0.0000	0.0000	0.0000	0.0171	0.0000
2/4	0.8889	88.89	0.783	-133.5821	0.0000	0.0000	0.0000	0.0171	0.0000
26/29	0.5824	58.24	0.000	-430.3762	0.0000	1.0784	0.0000	2.9150	0.0000
31/29	0.5813	58.13	0.000	-429.6660	0.0000	1.0739	0.0000	2.9059	0.0000
24/26	0.6158	61.58	1.508	-456.7162	0.0000	0.0009	0.0000	2.9621	0.0000
33/31	0.6128	61.28	1.508	-454.5567	0.0000	-0.0043	0.0000	2.9503	0.0000
22/24	0.6216	62.16	0.754	-464.8552	0.0000	-0.0390	0.0000	2.7862	0.0000
35/33	0.6166	61.66	0.754	-461.2589	0.0000	-0.0437	0.0000	2.7606	0.0000
20/22	0.6061	60.61	1.257	-452.7746	0.0000	0.0017	0.0000	2.7581	0.0000
37/35	0.5992	59.92	1.257	-447.7391	0.0000	-0.0033	0.0000	2.7251	0.0000
18/20	0.5623	56.23	1.257	-420.7867	0.0000	-0.0263	0.0000	2.5539	0.0000
39/37	0.5534	55.34	1.257	-414.3116	0.0000	-0.0308	0.0000	2.5112	0.0000
16/18	0.4920	49.20	1.760	-369.1676	0.0000	-0.0178	0.0000	2.2366	0.0000
41/39	0.4812	48.12	1.760	-361.2587	0.0000	-0.0244	0.0000	2.1865	0.0000
14/16	0.3917	39.17	1.760	-297.4440	0.0000	0.0018	0.0000	1.6460	0.0000
43/41	0.3790	37.90	1.760	-288.0954	0.0000	-0.0025	0.0000	1.5832	0.0000
12/14	0.2686	26.86	2.011	-205.7302	0.0000	0.0218	0.0000	1.0777	0.0000
45/43	0.2541	25.41	2.011	-194.9421	0.0000	0.0170	0.0000	1.0075	0.0000
10/12	0.1228	12.28	0.000	-94.1566	0.0000	-0.8141	0.0000	-0.5156	0.0000
47/45	0.1098	10.98	0.000	-81.9290	0.0000	-0.8190	0.0000	-0.6054	0.0000
8/10	0.0423	4.23	2.011	37.7648	0.0000	0.0117	0.0000	-0.5156	0.0000
49/47	0.0576	5.76	2.011	51.4320	0.0000	0.0079	0.0000	-0.6054	0.0000
6/8	0.2126	21.26	2.011	189.6811	0.0000	-0.5111	0.0000	-1.2384	0.0000
51/49	0.2295	22.95	2.011	204.7938	0.0000	-0.5195	0.0000	-1.3357	0.0000
4/6	0.4034	40.34	2.011	360.0251	0.0000	0.7857	0.0000	-3.0125	0.0000
53/51	0.4220	42.20	2.011	376.5455	0.0000	0.7967	0.0000	-3.1267	0.0000
3/4	0.8174	81.74	0.000	539.1113	0.0000	-20.3615	0.0000	-22.4661	0.0000
56/53	0.8745	87.45	0.000	556.9967	0.0000	-20.6208	0.0000	-22.8188	0.0000
27/28	0.1738	17.38	1.006	165.4893	0.0000	2.5635	0.0000	0.0000	0.0000
30/28	0.1738	17.38	1.006	165.4876	0.0000	2.5477	0.0000	0.0000	0.0000
25/27	0.2081	20.81	2.011	198.1695	0.0000	0.8285	0.0000	2.3786	0.0000
32/30	0.2066	20.66	2.011	196.7338	0.0000	0.8283	0.0000	2.3626	0.0000
23/25	0.2270	22.70	2.011	216.1639	0.0000	0.3830	0.0000	3.2483	0.0000



Pórtico Viga Celosía 50 Metros De Luz

34/32	0.2240	22.40	2.011	213.2850	0.0000	0.3759	0.0000	3.2319	0.0000
21/23	0.2247	22.47	2.011	214.0131	0.0000	0.3458	0.0000	3.2221	0.0000
36/34	0.2202	22.02	2.011	209.6960	0.0000	0.3400	0.0000	3.1915	0.0000
19/21	0.2016	20.16	2.011	192.0263	0.0000	0.2802	0.0000	3.1210	0.0000
38/36	0.1956	19.56	2.011	186.2702	0.0000	0.2746	0.0000	3.0788	0.0000
17/19	0.1576	15.76	2.011	150.1317	0.0000	0.0748	0.0000	2.8881	0.0000
40/38	0.1501	15.01	2.011	142.9373	0.0000	0.0668	0.0000	2.8345	0.0000
15/17	0.0930	9.30	2.011	88.5579	0.0000	0.1011	0.0000	2.2420	0.0000
42/40	0.0839	8.39	2.011	79.9291	0.0000	0.0960	0.0000	2.1725	0.0000
13/15	0.0272	2.72	2.011	6.7913	0.0000	0.0008	0.0000	1.6489	0.0000
44/42	0.0296	2.96	2.011	-3.2784	0.0000	-0.0051	0.0000	1.5691	0.0000
11/13	0.1201	12.01	2.011	-94.9103	0.0000	-0.0777	0.0000	0.8541	0.0000
46/44	0.1314	13.14	2.011	-106.4193	0.0000	-0.0834	0.0000	0.7624	0.0000
9/11	0.2615	26.15	0.000	-216.6623	0.0000	-0.9181	0.0000	-1.1487	0.0000
48/46	0.2781	27.81	0.000	-229.6102	0.0000	-0.9243	0.0000	-1.2642	0.0000
7/9	0.4356	43.56	0.000	-358.8294	0.0000	-0.7813	0.0000	-1.9235	0.0000
50/48	0.4541	45.41	0.000	-373.2223	0.0000	-0.7822	0.0000	-2.0407	0.0000
5/7	0.6943	69.43	0.000	-519.2408	0.0000	-2.2848	0.0000	-5.7220	0.0000
52/50	0.7163	71.63	0.000	-535.0515	0.0000	-2.3152	0.0000	-5.9001	0.0000
2/5	0.9084	90.84	2.011	-704.5602	0.0000	3.2413	0.0000	-5.7220	0.0000
55/52	0.9323	93.23	2.011	-721.8911	0.0000	3.3299	0.0000	-5.9001	0.0000

Como podemos apreciar en el pórtico de la imagen, los montantes tanto superior como inferior, son los que más tensión están soportando. En el montante superior el aprovechamiento que se produce en la cumbrera es del 61,30%, conforme nos vamos acercando al pilar la tensión a la que está sometido el perfil va disminuyendo hasta tener el 10,40% de aprovechamiento del mismo y junto al pilar el aprovechamiento vuelve a ser mayor, llegando éste al 87,50%. En el montante inferior la distribución de tensiones es similar al montante superior pero con un aprovechamiento del perfil ligeramente inferior. En este caso el aprovechamiento máximo se produce junto al pilar teniendo 93,20%, después disminuye bastante conforme nos acercamos a la mitad del perfil, siendo bajísimo su aprovechamiento. Llegando a al cumbrera vuelve a aumentar dicho aprovechamiento llegando al 22,40%.

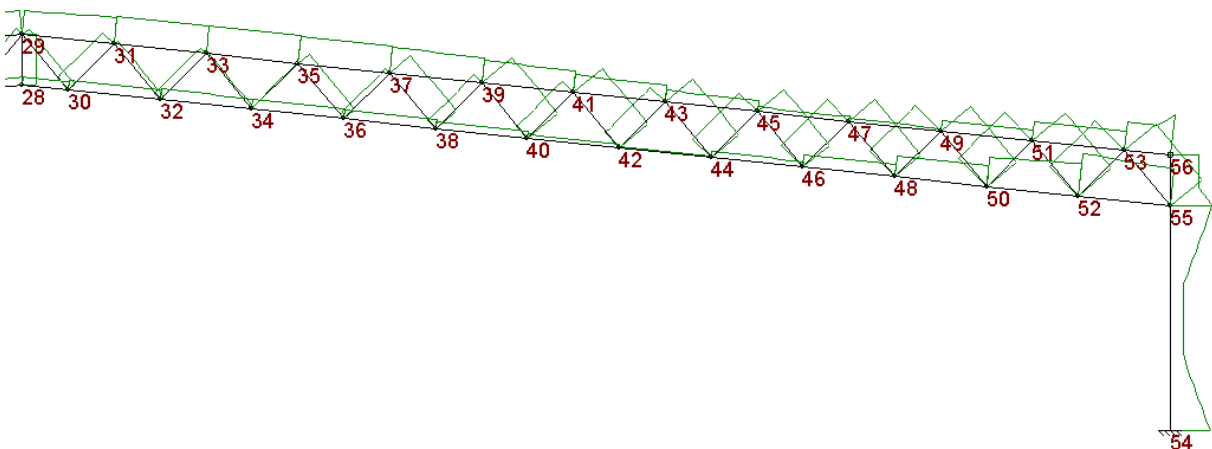


Diagrama de tensiones del pórtico.



El aprovechamiento de las diagonales de la celosía es bastante diverso aunque este se distribuye de manera uniforme.

Vamos a describir lo que le ocurre a las diagonales de la celosía que se encuentran de la cumbrera del pórtico hacia el pilar derecho, dado que según hemos introducido la hipótesis de carga, es la zona que más tensión está soportando. Para mayor comprensión y debido a que tenemos un número muy elevado de barras, vamos a dividir dichas diagonales en dos tipos: diagonales inclinadas hacia la derecha como por ejemplo (34-35) o (42-43), y diagonales inclinadas a la izquierda como es el caso de la (45-46) o (35-36). En general las diagonales que están soportando más tensión son las que se encuentran junto al pilar. En el caso de las diagonales inclinadas hacia la izquierda, el aprovechamiento medio de las barras (39-40), (41-42), (43-44), (45-46), (47-48), (49-50), (51-52) y (53-55) está en torno al 89,50%. A partir de la barra (37-38) y en dirección a la cumbrera, el aprovechamiento de las diagonales va disminuyendo, llegando al valor del 18,20%. Para las diagonales inclinadas a la derecha, la barra (52-53), que es la más cercana al pilar, tiene un aprovechamiento del 90,20%. A partir de dicha barra y en dirección a la cumbrera el aprovechamiento de las diagonales va disminuyendo hasta alcanzar el valor del 35,50%.

Como hemos podido apreciar el aprovechamiento de las barras va aumentando con respecto a luces estudiadas anteriormente. La elección de las barras, descritas al inicio de este pórtico, se ha realizado en función de dicho aprovechamiento de las mismas.

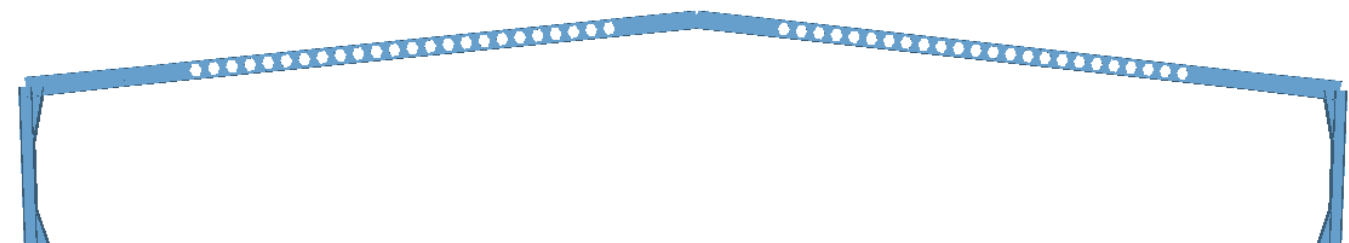
A continuación vamos a describir lo que le ocurre al pilar derecho en cuanto a las tensiones. Si nos fijamos en la imagen anterior el pilar tiene tres zonas bien diferenciadas: inferior, media y superior. La zona inferior comprende 1,50m, donde el diagrama de tensiones tiene forma de triángulo recto, teniendo en la base del pilar un aprovechamiento de 87,20% y disminuyendo éste hasta el 28,70%. En la zona media del pilar de 1,50 m, el aprovechamiento del perfil es totalmente uniforme pero muy bajo, de tan solo el 28,70%. En la parte superior del pilar la distribución de tensiones es exactamente igual a la inferior pero a la inversa, partiendo de un aprovechamiento del 28,70% y llegando en la parte superior del mismo al 91,20%. Como hemos podido apreciar la distribución de tensiones no es constante a lo largo del perfil, esto es debido a que el perfil utilizado como pilar no está reforzado en los nudos y teniendo así una zona bastante amplia donde el aprovechamiento es muy bajo.



PÓRTICO VIGA VOID

PÓRTICO VIGA VOID 50 METROS DE LUZ

1. Descripción general del pórtico:

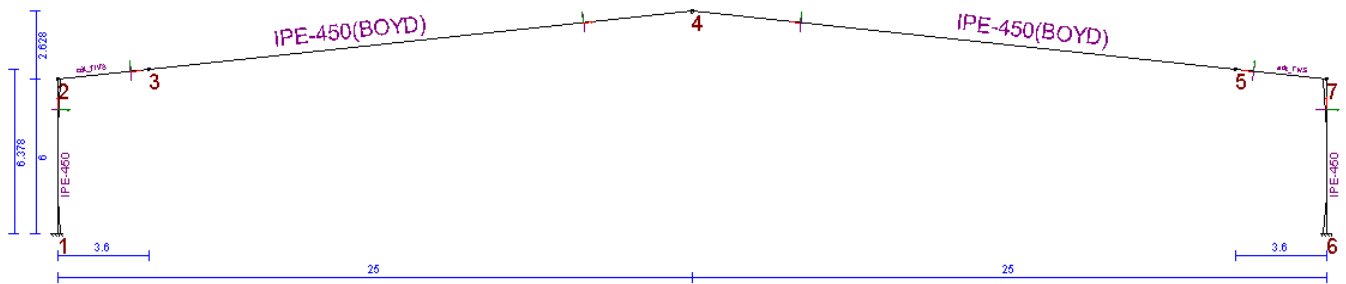


Interpretación real del pórtico

El pórtico que nos ocupa tiene 50 metros de luz y sus pilares están formados por perfiles IPE, y cuya viga es de tipo VOID con perfil IPE de 450 mm junto con tramo de sección Variable. Los pilares son IPE 450, están reforzados en su parte inferior y superior por cartelas. Las cartelas inferiores tienen una longitud de 1,40 metros y las superiores 2,00 metros. El hecho de colocar unas cartelas tan grandes es para conseguir un mayor aprovechamiento del perfil utilizando una sección de perfil menor.

El diseño de la viga empezando de izquierda a derecha es el siguiente: empezamos colocando un perfil de sección variable, seguido de viga VOID con perfil IPE y el otro agua igual, viga VOID y último tramo con sección variable. Los tramos de sección variable los describimos a continuación: la unión con el pilar tiene un canto de 750 mm y junto a la viga de 675 mm que coincide con el alma de la viga utilizada posteriormente para que se pueda unir a ella con la mayor facilidad. Según el CTE hay que comprobar que el perfil no falle por abolladura del alma, dado el caso que el perfil falle, se realizará un cálculo de rigidizadores. En este caso es necesario colocar rigidizadores y las comprobaciones y el cálculo de los mismos se encuentran al final de éste pórtico. El alma tiene un espesor de 11 mm. y el ala de 16 mm. Este espesor se ha elegido lo más próximo superior al perfil IPE que se ha utilizado en la viga, debido a que nos tenemos que regir por espesores comerciales. La longitud de dicho perfil es de 3,62 metros. Los tramos VOID para esta luz se han diseñado de la siguiente manera: el perfil que se ha utilizado como ya hemos dicho es un IPE 450 mm., el cual se convierte al hacerlo VOID en un perfil que tiene 675 mm. de alma. Para este pórtico se le han rellenado cuatro huecos en origen y tres más en la cumbrera de cada viga, adecuándonos de esta manera a lo solicitado en el diagrama de tensiones que se comentará más adelante.

A continuación mostramos un esquema del pórtico donde se detallan los nudos, perfiles utilizados y las cotas del mismo.



Esquema de nudos, cotas y tipo de perfil.

2. Descripción de valores aportados por Cype

Ahora se detallan los datos que nos aporta el programa en forma de tablas que describiremos a continuación:

2.1 - Nudos

Nudos	Coordenadas (m)			Vínculos
	X	Y	Z	
1	0.000	0.000	0.000	Empotrado
2	0.000	0.000	6.000	Empotrado
3	0.000	3.600	6.378	Empotrado
4	0.000	25.000	8.628	Empotrado
5	0.000	46.400	6.378	Empotrado
6	0.000	50.000	0.000	Empotrado
7	0.000	50.000	6.000	Empotrado

2.2 - Barras: Características Mecánicas

Descripción	Inerc.Tor. cm4	Inerc.y cm4	Inerc.z cm4	Sección cm2
Acero, Sección Variable, Perfil simple + Separación 718/648 mm	82.185	103486.421	1836.642	135.930
Acero, IPE-450, Simple con cartelas (IPE)	65.900	33740.000	1680.000	98.800
Acero, IPE-450, Boyd (alma aligerada) (IPE) H: 675.0 mm, S: 675.0 mm, macizados (3, 4)	65.900	76060.240	1670.379	98.800

2.3.- Barras: Materiales Utilizados

Material	Mód.elást. (GPa)	Mód.el.trans. (GPa)	Lím.elás.\Fck (MPa)	Co.dilat. (m/m°C)	Peso espec. (KN/m3)
Acero (S275)	206.01	79.23	275.00	1.2e-005	77.01



2.4.- Barras: Descripción

Barras	Material	Perfil	Peso (Kp)	Volumen (m3)	Longitud (m)
1/2	Acero (S275)	IPE-450 (IPE) + carts. sup. 1.400 m y 2.000 m	592.13	0.075	6.00
2/3	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 718/648 mm	386.35	0.049	3.62
3/4	Acero (S275)	IPE-450(BOYD) (IPE) H: 675.0 mm, S: 675.0 mm, macizados (3, 4)	1735.32	0.221	21.52
5/4	Acero (S275)	IPE-450(BOYD) (IPE) H: 675.0 mm, S: 675.0 mm, macizados (3, 4)	1735.32	0.221	21.52
7/5	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 718/648 mm	386.35	0.049	3.62
6/7	Acero (S275)	IPE-450 (IPE) + carts. inf. 1.400 m y 2.000 m	592.13	0.075	6.00

2.5.- Barras: Resumen Medición (Acero)

Descripción			Peso (Kp)			Longitud (m)		
			Perfil	Serie	Acero	Perfil	Serie	Acero
Acero (S275)	Sección	Sección Variable, Perfil	772.70			7.24		
		IPE-450, Simple con c...	1184.26	772.70		12.00	7.24	
	IPE	IPE-450, Boyd (alma a...	3470.64	1184.26		43.04	12.00	
				3470.64			43.04	
	IPE				5427.60			62.28
					5427.60			62.28

Como podemos apreciar en la tabla, el utilizar la viga VOID hace que se aligere bastante la estructura como veremos más adelante, teniendo un peso total de la misma de 5427,60 Kg.

2.6.- Cargas (Barras)

Barras	Hipót.	Tipo	Cargas				Dirección		
			P1	P2	L1 (m)	L2 (m)	X	Y	Z
2/3	1 (PP 1)	Trapez.	1.076 KN/m	1.017 KN/m	0.000	3.620	0.000	0.000	-1.000
2/3	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
7/5	1 (PP 1)	Trapez.	1.076 KN/m	1.017 KN/m	0.000	3.620	0.000	0.000	-1.000
7/5	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Trapez.	1.279 KN/m	1.127 KN/m	0.000	0.700	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Trapez.	1.127 KN/m	0.974 KN/m	0.700	1.400	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Faja	0.761 KN/m	-	1.400	4.000	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Trapez.	0.974 KN/m	1.127 KN/m	4.000	5.000	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Trapez.	1.127 KN/m	1.279 KN/m	5.000	6.000	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Uniforme	2.340 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
6/7	1 (PP 1)	Trapez.	1.279 KN/m	1.127 KN/m	0.000	0.700	0.000	0.000	-1.000
6/7	1 (PP 1)	Trapez.	1.127 KN/m	0.974 KN/m	0.700	1.400	0.000	0.000	-1.000
6/7	1 (PP 1)	Faja	0.761 KN/m	-	1.400	4.000	0.000	0.000	-1.000
6/7	1 (PP 1)	Trapez.	0.974 KN/m	1.127 KN/m	4.000	5.000	0.000	0.000	-1.000



Pórtico Viga Void 50 Metros De Luz

6/7	1 (PP 1)	Trapez.	1.127 KN/m	1.279 KN/m	5.000	6.000	0.000	0.000	-1.000
6/7	1 (PP 1)	Uniforme	1.020 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
3/4	1 (PP 1)	Faja	0.895 KN/m	-	0.000	2.096	0.000	0.000	-1.000
3/4	1 (PP 1)	Faja	0.761 KN/m	-	2.096	18.746	0.000	0.000	-1.000
3/4	1 (PP 1)	Faja	0.895 KN/m	-	18.746	21.518	0.000	0.000	-1.000
3/4	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
5/4	1 (PP 1)	Faja	0.895 KN/m	-	0.000	2.096	0.000	0.000	-1.000
5/4	1 (PP 1)	Faja	0.761 KN/m	-	2.096	18.746	0.000	0.000	-1.000
5/4	1 (PP 1)	Faja	0.895 KN/m	-	18.746	21.518	0.000	0.000	-1.000
5/4	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000

2.7.- Desplazamientos

Nudos	Descripción	DESPLAZAMIENTOS (EJES GENERALES)					
		DX (m)	DY (m)	DZ (m)	GX (rad)	GY (rad)	GZ (rad)
1	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	-0.0225	-0.0001	-0.0008	0.0000	0.0000
		0.0000	-0.0225	-0.0001	-0.0008	0.0000	0.0000
3	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	-0.0207	-0.0206	-0.0094	0.0000	0.0000
		0.0000	-0.0207	-0.0206	-0.0094	0.0000	0.0000
4	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0014	-0.2516	0.0001	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0014	-0.2516	0.0001	0.0000	0.0000
5	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0237	-0.0191	0.0091	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0237	-0.0191	0.0091	0.0000	0.0000
6	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
7	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0254	-0.0002	0.0003	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0254	-0.0002	0.0003	0.0000	0.0000

El desplazamiento vertical que se produce en la cumbrera es de 25,16cm, como podemos apreciar en la tabla.

2.8.- Reacciones

Nudos	Descripción	REACCIONES (EJES GENERALES)					
		RX (KN)	RY (KN)	RZ (KN)	MX (KN·m)	MY (KN·m)	MZ (KN·m)
1	Envolvente (Cim.equil.)	0.0000	193.7251	116.9036	-816.9140	0.0000	0.0000
		0.0000	290.5876	175.3554	-544.6093	0.0000	0.0000
1	Envolvente (Cim.tens.terr.)	0.0000	193.7251	116.9036	-544.6093	0.0000	0.0000
		0.0000	193.7251	116.9036	-544.6093	0.0000	0.0000
6	Envolvente (Cim.equil.)	0.0000	-320.8276	117.3319	594.3821	0.0000	0.0000
		0.0000	-213.8851	175.9978	891.5731	0.0000	0.0000
6	Envolvente (Cim.tens.terr.)	0.0000	-213.8851	117.3319	594.3821	0.0000	0.0000
		0.0000	-213.8851	117.3319	594.3821	0.0000	0.0000



2.9.-Tensiones

Barras	TENSIÓN MÁXIMA								
	TENS. ()	APROV. (%)	Pos. (m)	N (KN)	Vy (KN)	Vz (KN)	Mt (KN·m)	My (KN·m)	Mz (KN·m)
2/3	0.9756	97.56	0.000	-294.6109	0.0000	-119.8678	0.0000	-889.9842	0.0000
7/5	0.9914	99.14	0.000	-294.6713	0.0000	-120.4428	0.0000	-904.4390	0.0000
1/2	0.8794	87.94	1.400	-125.4239	0.0000	-281.4933	0.0000	-374.1999	0.0000
6/7	0.9583	95.83	1.400	-123.6984	0.0000	302.2955	0.0000	407.7654	0.0000
3/4	0.9743	97.43	2.096	-290.9230	0.0000	-84.5925	0.0000	-306.4403	0.0000
5/4	0.9955	99.55	2.096	-290.9834	0.0000	-85.1675	0.0000	-317.6081	0.0000

La descripción de las tensiones para este pórtico se reduce a la descripción del pilar y viga derecha del mismo, ya que en estas zonas es donde se producen las mayores tensiones. Vamos a empezar comentando el pilar: como ya sabemos, dicho pilar está formado por IPE 450mm reforzado con cartela inferior de 1,40 metros de longitud y cartela superior de 2,00 metros de longitud. Las tensiones en el pilar están distribuidas de manera que quedan tres zonas bien diferenciadas. En la primera zona junto al suelo las tensiones son bastante altas y por eso el hecho de colocar cartelas para que el perfil sea capaz de aguantar dicha tensión quedando éste aprovechado en un 95,80%. La zona intermedia tiene una longitud aproximada de 1,60 metros, en la cual el aprovechamiento medio del perfil es del 46,70%. Por último, en el pilar tenemos una zona junto a la viga en la que el aprovechamiento vuelve a ser bastante alto, alcanzando éste el 84,80%. Como podemos apreciar en el diagrama de tensiones de esta zona, la distribución de tensiones es bastante uniforme cubriendo una zona muy amplia, debido a esto se ha elegido la cartela correspondiente, la cual se ha descrito anteriormente.

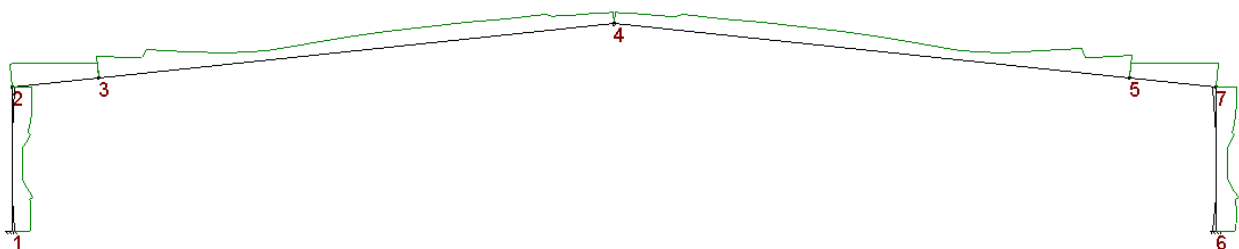


Diagrama de tensiones del pórtico.

En cuanto a la viga, podemos apreciar como el reparto de tensiones es bastante uniforme a lo largo de la misma. En este tipo de pórticos me he visto obligado a colocar un pequeño tramo de perfil de sección variable (5/7), debido a que el IPE tipo Void utilizado como viga no era capaz de aguantar la tensión

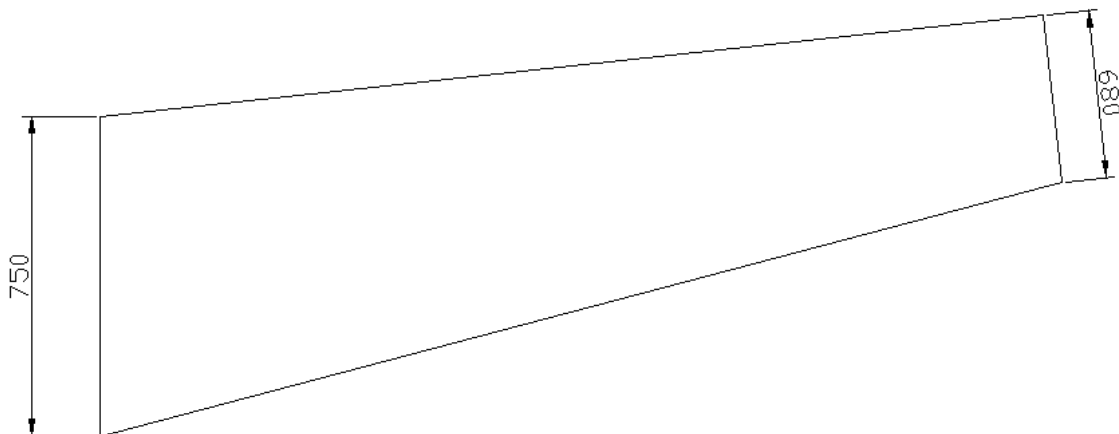


en esta zona ni aún rellenando los huecos hexagonales de dicho perfil, tenía que aumentar el perfil y ya no sería una solución viable económicamente. Dicho tramo (5/7) tiene un aprovechamiento máximo del 99,10%, lo cual es una cifra bastante buena. El salto de aprovechamiento de perfil que se produce en el nudo 5 es debido a que el espesor del alma del tramo de sección variable es ligeramente superior al del IPE tipo Void utilizado. La barra (4-5) se ha realizado como ya sabemos con IPE 450 Void al cual se le ha rellenado tres huecos en la cumbrera y cuatro junto al tramo de sección variable para que la sección utilizada no fallara por cuestiones de tensión, debido a esto se produce el salto que podemos ver en el diagrama de tensiones. El aprovechamiento máximo de dicho tramo (4/5) es del 99,50%. Éste perfil también tiene una zona intermedia en la que el aprovechamiento del perfil disminuye, pero si comparamos con las luces estudiadas anteriormente, vemos como este aprovechamiento ha aumentado considerablemente. En la última zona junto a la cumbrera, el aprovechamiento del perfil disminuye un poco respecto a la primera zona antes comentada, estando ésta en 68,90%.

3. Cálculo de rigidizadores

Según el CTE no es necesario colocar rigidizadores en perfiles laminados ya que éstos vienen diseñados de manera que no se produce abolladura del alma. En este caso, dado que hemos utilizado un pequeño tramo de Sección Variable, hay que hacer las comprobaciones que nos dice el CTE y ver si es necesario colocar rigidizadores del alma para corregir la abolladura del alma.

La pieza es comprobar es la que vemos a continuación:



1ª Comprobación sin rigidizadores:

$$\frac{d}{t} < 70 \times \varepsilon \quad \text{siendo } d \text{ y } t \text{ dimensiones del alma (altura y espesor)}$$



$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}} \quad \text{con } f_{ref} = 235 \text{ N/mm}^2 \quad \text{y con } f_y = 275 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{750}{11} < 70 \times 0,9244$$

68,18 < 64,708 No cumple.

Vamos a diseñarlo de manera que se cumpla que $a \geq d$

donde a = separación entre rigidizadores

$$\frac{L}{d} = \frac{3,62}{0,750} = 4,826 \quad R = 5$$

$$a = \frac{L}{R - 1} = \frac{3,62}{4} = 0,905$$

$$a \geq d \quad ; \quad 0,905 \geq 0,75$$

2ª Comprobación con Rigidizadores:

$$\frac{d}{t} < 30 \times \varepsilon \times \sqrt{K_t}$$

Según CTE para $a \geq d$:

$$K_t = 5,34 + \frac{4}{\left(\frac{a}{d}\right)^2} \quad ; \quad K_t = 5,34 + \frac{4}{\left(\frac{0,905}{0,75}\right)^2} = 8,087$$

Los cálculos de la segunda comprobación son:

$$\frac{750}{11} < 30 \times 0,9244 \times \sqrt{8,087}$$

68,18 < 78,86 OK

Hay que colocar 5 rigidizadores separados 905 mm.

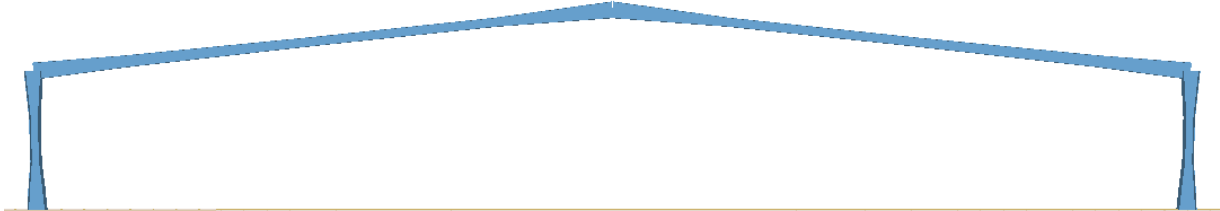


PÓRTICO DE SECCIÓN VARIABLE



PÓRTICO SECCIÓN VARIABLE DE 50 METROS DE LUZ

1. Descripción general del pórtico:



Interpretación real del pórtico

El pórtico que vamos a describir a continuación tiene 50 metros de luz y está formado en su totalidad por perfiles de sección variable. Con este tipo de diseño lo que intentamos conseguir es minimizar la cantidad de acero a utilizar en el pórtico para así poder reducir los costes del mismo, disminuyendo o aumentando el canto y espesor del perfil según nos vaya haciendo falta realmente.

Para el diseño del pórtico hemos creado 19 nudos, de los cuales dos son empotramientos y los demás nudos rígidos, por tanto tenemos dieciocho barras. El espesor utilizado en los perfiles es el siguiente: el alma tiene un espesor de 11mm y las alas de 17mm, a excepción de la unión con el suelo donde el espesor del ala es de 17mm y del alma de 12mm.

El pilar lo he dividido en cinco partes, teniendo así cinco barras diferentes. El fin de tal división es conseguir un mayor aprovechamiento de los perfiles. La primera barra (1-2), tiene una longitud de 1,00 metros con un canto inicial de 750mm y final de 600mm. A continuación la barra (2-3) tiene un canto inicial de 600mm y final de 380mm, con una longitud de 1,10 m. La tercera barra (3-4) es de sección constante debido a que en esta zona las tensiones sobre el perfil son pequeñas y se mantienen a lo largo de esta barra, el canto de dicha barra es de 380mm y la longitud de la misma es de 1,90 metros. La barra (4-5), vuelve a ser de sección variable con una longitud de 1,00 m, teniendo un canto inicial de 380mm y final de 550mm. Por último, la barra (5-6) tiene una longitud de 1,00 metros, con un canto inicial de 550 mm y final de 718mm.

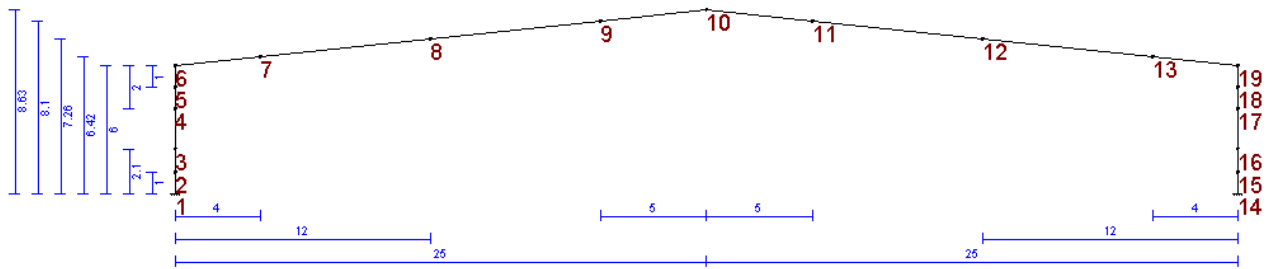
En la viga tenemos cuatro barras diferentes, continuando con la última del pilar, seguimos con la primera de la viga (6-7), la cual tiene una longitud de 4,02 metros con un canto inicial igual al del pilar de 710mm y final de 500mm. A continuación la barra (7-8) tiene una longitud de 8,04 metros, con un canto inicial de 500mm y final de 380mm. La tercera barra (8-9) al igual que ocurre en el pilar, es de sección constante pero en este caso tiene 380mm de canto y una



longitud de 8,04 metros. Por último la cuarta barra (9-10) tiene una longitud de 5,03 metros, el canto inicial es de 380mm y el final 700mm.

Para este caso es necesario el uso de rigidizadores en las barras (5-6), (6-7) y sus simétricas ya que los cantos utilizados son muy grandes. El cálculo de los rigidizadores se detalla al final de este pórtico.

A continuación mostramos un esquema del pórtico donde se detallan los nudos y las cotas del mismo.



Esquema de nudos, cotas y tipo de perfil.

2. Descripción de valores aportados por Cype

Ahora se detallan los datos que nos aporta el programa en forma de tablas en las cuales podemos apreciar nudos, cargas, tensiones, pesos, cotas, etc., que describiremos a continuación:

2.1 - Nudos

Nudos	Coordenadas (m)			Vínculos
	X	Y	Z	
1	0.000	0.000	0.000	Empotrado
2	0.000	0.000	1.000	Empotrado
3	0.000	0.000	2.100	Empotrado
4	0.000	0.000	4.000	Empotrado
5	0.000	0.000	5.000	Empotrado
6	0.000	0.000	6.000	Empotrado
7	0.000	4.000	6.420	Empotrado
8	0.000	12.000	7.260	Empotrado
9	0.000	20.000	8.100	Empotrado
10	0.000	25.000	8.630	Empotrado
11	0.000	30.000	8.100	Empotrado
12	0.000	38.000	7.260	Empotrado
13	0.000	46.000	6.420	Empotrado
14	0.000	50.000	0.000	Empotrado
15	0.000	50.000	1.000	Empotrado



Pórtico Sección Variable 50 Metros De Luz

16	0.000	50.000	2.100	Empotrado
17	0.000	50.000	4.000	Empotrado
18	0.000	50.000	5.000	Empotrado
19	0.000	50.000	6.000	Empotrado

2.2 - Barras: Características Mecánicas

Descripción	Inerc.Tor. cm4	Inerc.y cm4	Inerc.z cm4	Sección cm2
Acero, Sección Variable, Perfil simple + Separación 346/346 mm	84.133	27334.954	2627.788	109.460
Acero, Sección Variable, Perfil simple + Separación 466/346 mm	86.795	38090.668	2628.453	116.060
Acero, Sección Variable, Perfil simple + Separación 346/516 mm	87.904	43181.967	2628.731	118.810
Acero, Sección Variable, Perfil simple + Separación 566/346 mm	89.013	48644.547	2629.008	121.560
Acero, Sección Variable, Perfil simple + Separación 346/666 mm	91.232	60717.925	2629.562	127.060
Acero, Sección Variable, Perfil simple + Separación 684/466 mm	94.293	80001.712	2630.328	134.650
Acero, Sección Variable, Perfil simple + Separación 516/684 mm	95.402	87770.182	2630.605	137.400
Acero, Sección Variable, Perfil simple + Separación 716/566 mm	105.704	103638.742	2633.180	148.320

2.3.- Barras: Materiales Utilizados

Material	Mód.elást. (GPa)	Mód.el.trans. (GPa)	Lím.elás.\Fck (MPa)	Co.dilat. (m/m°C)	Peso espec. (KN/m3)
Acero (S275)	206.01	79.23	275.00	1.2e-005	77.01

2.4.- Barras: Descripción

Barras	Material	Perfil	Peso (Kp)	Volumen (m3)	Longitud (m)
1/2	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 716/566 mm	116.45	0.015	1.00
2/3	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 566/346 mm	104.99	0.013	1.10
3/4	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 346/346 mm	163.26	0.021	1.90
4/5	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 346/516 mm	93.25	0.012	1.00
5/6	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 516/684 mm	107.84	0.014	1.00
6/7	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 684/466 mm	425.21	0.054	4.02
7/8	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 466/346 mm	732.99	0.093	8.04
8/9	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 346/346 mm	691.19	0.088	8.04
9/10	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 346/666 mm	501.38	0.064	5.03
11/10	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 346/666 mm	501.38	0.064	5.03
12/11	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 346/346 mm	691.19	0.088	8.04
13/12	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 466/346 mm	732.99	0.093	8.04
19/13	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 684/466 mm	425.21	0.054	4.02
14/15	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 716/566 mm	116.45	0.015	1.00
15/16	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 566/346 mm	104.99	0.013	1.10
16/17	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 346/346 mm	163.26	0.021	1.90
17/18	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 346/516 mm	93.25	0.012	1.00
18/19	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 516/684 mm	107.84	0.014	1.00



2.5.- Barras: Resumen Medición (Acero)

Descripción			Peso (Kp)			Longitud (m)		
			Perfil	Serie	Acero	Perfil	Serie	Acero
Acero (S275)	Sección	Sección Variable, Perfil	5640.22	5873.12	5873.12	60.26	62.26	62.26
		Sección Variable, Perfil	232.90			2.00		

El peso total del pórtico como podemos apreciar en la tabla es de 5873,12 Kg., es muy similar al pórtico Void y bastante inferior al de IPE, como veremos más adelante.

2.6.- Cargas (Barras)

Barras	Hipót.	Tipo	Cargas				Dirección		
			P1	P2	L1 (m)	L2 (m)	X	Y	Z
9/10	1 (PP 1)	Trapez.	0.843 KN/m	1.114 KN/m	0.000	5.028	0.000	0.000	-1.000
9/10	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
8/9	1 (PP 1)	Uniforme	0.843 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
8/9	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
11/10	1 (PP 1)	Trapez.	0.843 KN/m	1.114 KN/m	0.000	5.028	0.000	0.000	-1.000
11/10	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
7/8	1 (PP 1)	Trapez.	0.945 KN/m	0.843 KN/m	0.000	8.044	0.000	0.000	-1.000
7/8	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
12/11	1 (PP 1)	Uniforme	0.843 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
12/11	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
6/7	1 (PP 1)	Trapez.	1.129 KN/m	0.945 KN/m	0.000	4.022	0.000	0.000	-1.000
6/7	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
13/12	1 (PP 1)	Trapez.	0.945 KN/m	0.843 KN/m	0.000	8.044	0.000	0.000	-1.000
13/12	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
5/6	1 (PP 1)	Trapez.	0.987 KN/m	1.129 KN/m	0.000	1.000	0.000	0.000	-1.000
5/6	1 (PP 1)	Uniforme	2.340 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
19/13	1 (PP 1)	Trapez.	1.129 KN/m	0.945 KN/m	0.000	4.022	0.000	0.000	-1.000
19/13	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
4/5	1 (PP 1)	Trapez.	0.843 KN/m	0.987 KN/m	0.000	1.000	0.000	0.000	-1.000
4/5	1 (PP 1)	Uniforme	2.340 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
15/16	1 (PP 1)	Trapez.	1.029 KN/m	0.843 KN/m	0.000	1.100	0.000	0.000	-1.000
15/16	1 (PP 1)	Uniforme	1.020 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
3/4	1 (PP 1)	Uniforme	0.843 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
3/4	1 (PP 1)	Uniforme	2.340 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
16/17	1 (PP 1)	Uniforme	0.843 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
16/17	1 (PP 1)	Uniforme	1.020 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
2/3	1 (PP 1)	Trapez.	1.029 KN/m	0.843 KN/m	0.000	1.100	0.000	0.000	-1.000
2/3	1 (PP 1)	Uniforme	2.340 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
17/18	1 (PP 1)	Trapez.	0.843 KN/m	0.987 KN/m	0.000	1.000	0.000	0.000	-1.000
17/18	1 (PP 1)	Uniforme	1.020 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
18/19	1 (PP 1)	Trapez.	0.987 KN/m	1.129 KN/m	0.000	1.000	0.000	0.000	-1.000
18/19	1 (PP 1)	Uniforme	1.020 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000



Pórtico Sección Variable 50 Metros De Luz

14/15	1 (PP 1)	Trapez.	1.211 KN/m	1.073 KN/m	0.000	1.000	0.000	0.000	-1.000
14/15	1 (PP 1)	Uniforme	1.020 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
1/2	1 (PP 1)	Trapez.	1.211 KN/m	1.073 KN/m	0.000	1.000	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Uniforme	2.340 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000

2.7.- Desplazamientos

Nudos	Descripción	DESPLAZAMIENTOS (EJES GENERALES)					
		DX (m)	DY (m)	DZ (m)	GX (rad)	GY (rad)	GZ (rad)
1	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	-0.0018	0.0000	0.0028	0.0000	0.0000
		0.0000	-0.0018	0.0000	0.0028	0.0000	0.0000
3	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	-0.0076	-0.0001	0.0067	0.0000	0.0000
		0.0000	-0.0076	-0.0001	0.0067	0.0000	0.0000
4	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	-0.0245	-0.0002	0.0070	0.0000	0.0000
		0.0000	-0.0245	-0.0002	0.0070	0.0000	0.0000
5	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	-0.0303	-0.0002	0.0033	0.0000	0.0000
		0.0000	-0.0303	-0.0002	0.0033	0.0000	0.0000
6	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	-0.0325	-0.0003	0.0002	0.0000	0.0000
		0.0000	-0.0325	-0.0003	0.0002	0.0000	0.0000
7	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	-0.0303	-0.0251	-0.0125	0.0000	0.0000
		0.0000	-0.0303	-0.0251	-0.0125	0.0000	0.0000
8	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	-0.0127	-0.2002	-0.0251	0.0000	0.0000
		0.0000	-0.0127	-0.2002	-0.0251	0.0000	0.0000
9	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0010	-0.3390	-0.0065	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0010	-0.3390	-0.0065	0.0000	0.0000
10	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0017	-0.3499	0.0002	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0017	-0.3499	0.0002	0.0000	0.0000
11	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0026	-0.3368	0.0069	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0026	-0.3368	0.0069	0.0000	0.0000
12	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0165	-0.1959	0.0251	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0165	-0.1959	0.0251	0.0000	0.0000
13	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0339	-0.0227	0.0120	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0339	-0.0227	0.0120	0.0000	0.0000
14	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
15	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0019	0.0000	-0.0030	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0019	0.0000	-0.0030	0.0000	0.0000
16	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0082	-0.0001	-0.0071	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0082	-0.0001	-0.0071	0.0000	0.0000
17	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0264	-0.0002	-0.0077	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0264	-0.0002	-0.0077	0.0000	0.0000
18	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0330	-0.0002	-0.0040	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0330	-0.0002	-0.0040	0.0000	0.0000
19	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0359	-0.0003	-0.0008	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0359	-0.0003	-0.0008	0.0000	0.0000

El desplazamiento vertical que se produce debido a la flexión en el nudo 10 (cubrrera) es de 34,99 cm. Éste valor es muy importante tenerlo en cuenta



a la hora del diseño del pórtico, porque este desplazamiento no puede ser excesivo.

2.8.- Reacciones

Nudos	Descripción	REACCIONES (EJES GENERALES)					
		RX (KN)	RY (KN)	RZ (KN)	MX (KN·m)	MY (KN·m)	MZ (KN·m)
1	Envolvente (Cim.equil.)	0.0000	224.6878	119.1529	-1058.0578	0.0000	0.0000
		0.0000	337.0318	178.7293	-705.3719	0.0000	0.0000
1	Envolvente (Cim.tens.terr.)	0.0000	224.6878	119.1529	-705.3719	0.0000	0.0000
		0.0000	224.6878	119.1529	-705.3719	0.0000	0.0000
14	Envolvente (Cim.equil.)	0.0000	-367.2718	119.4539	758.3270	0.0000	0.0000
		0.0000	-244.8478	179.1808	1137.4906	0.0000	0.0000
14	Envolvente (Cim.tens.terr.)	0.0000	-244.8478	119.4539	758.3270	0.0000	0.0000
		0.0000	-244.8478	119.4539	758.3270	0.0000	0.0000

2.9.- Tensiones

Barras	TENSION MÁXIMA								
	TENS. ()	APROV. (%)	Pos. (m)	N (KN)	Vy (KN)	Vz (KN)	Mt (KN·m)	My (KN·m)	Mz (KN·m)
9/10	0.5606	56.06	0.000	-323.7416	0.0000	3.2690	0.0000	227.7568	0.0000
8/9	0.5623	56.23	7.642	-323.9966	0.0000	0.5496	0.0000	228.4603	0.0000
11/10	0.5556	55.56	0.000	-323.7844	0.0000	2.8649	0.0000	225.7251	0.0000
7/8	0.8585	85.85	0.000	-333.8789	0.0000	-93.5675	0.0000	-498.2343	0.0000
12/11	0.5569	55.69	7.642	-324.0390	0.0000	0.1455	0.0000	226.2661	0.0000
6/7	0.9760	97.60	0.000	-336.5080	0.0000	-118.6069	0.0000	-924.5816	0.0000
13/12	0.8732	87.32	0.000	-333.9213	0.0000	-93.9716	0.0000	-506.7674	0.0000
5/6	0.9760	97.60	1.000	-153.0986	0.0000	-322.2826	0.0000	924.5816	0.0000
19/13	0.9867	98.67	0.000	-336.5505	0.0000	-119.0110	0.0000	-934.7401	0.0000
4/5	0.9167	91.67	1.000	-154.5270	0.0000	-319.1236	0.0000	603.8784	0.0000
15/16	0.9370	93.70	0.000	-159.7208	0.0000	329.1676	0.0000	693.8854	0.0000
3/4	0.7614	76.14	0.000	-157.9243	0.0000	-309.9625	0.0000	-308.2964	0.0000
16/17	0.8249	82.49	0.000	-158.3306	0.0000	327.6529	0.0000	332.6342	0.0000
2/3	0.8741	87.41	0.000	-159.3144	0.0000	-306.4876	0.0000	-647.3440	0.0000
17/18	0.9287	92.87	1.000	-154.9333	0.0000	323.6596	0.0000	-611.7690	0.0000
18/19	0.9867	98.67	1.000	-153.5049	0.0000	322.2826	0.0000	-934.7401	0.0000
14/15	0.9856	98.56	0.000	-161.2627	0.0000	330.5446	0.0000	1023.7415	0.0000
1/2	0.9168	91.68	0.000	-160.8564	0.0000	-303.3286	0.0000	-952.2521	0.0000

La descripción de las tensiones para este pórtico se reduce a la descripción del pilar y viga derecha del mismo, ya que en estos es donde se produce las mayores tensiones. Vamos a empezar comentando el pilar: si echamos un vistazo al diagrama de tensiones podemos ver como el reparto de tensiones en el pilar es uniforme a lo largo del mismo exceptuando la zona intermedia donde dicho aprovechamiento baja un poco. El valor de aprovechamiento de los perfiles es el siguiente: el que se encuentra junto al suelo (14-15) tiene un aprovechamiento del 98,60%, totalmente uniforme y



constante en dicha barra. La barra (15-16) al igual que la anterior tiene un aprovechamiento uniforme y constante con un valor del 93,70%. En la barra intermedia (16-17) el aprovechamiento medio es del 59,40%. La barra (17-18) tiene un aprovechamiento del 92,90% uniforme en toda la barra. Por último, la barra que se encuentra junto a la viga, (18-19), tiene un aprovechamiento del 98,70%.

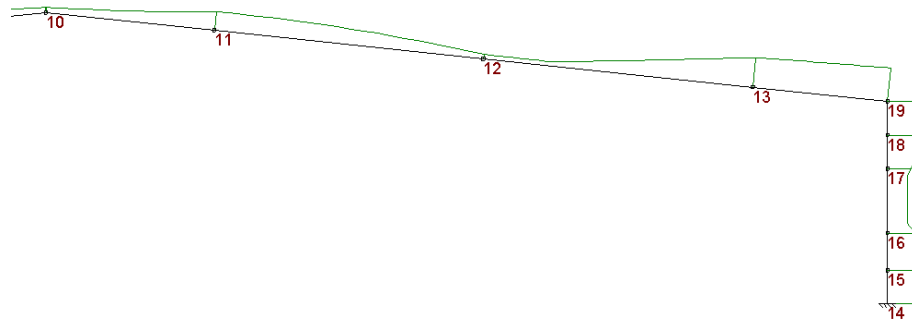


Diagrama de tensiones del pórtico.

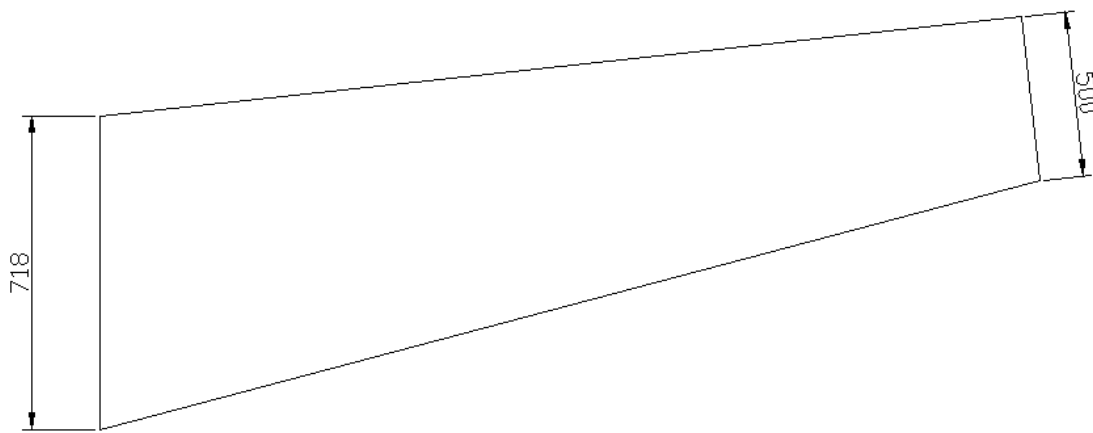
La viga como ya sabemos consta de cuatro tramos. El tramo (13-19) está aprovechado al 98,70% aunque disminuye dicho aprovechamiento conforme nos acercamos a la barra (12-13), la cual tiene un aprovechamiento del 87,30% el cual disminuye de manera considerable conforme nos acercamos al nudo 12. En la barra intermedia (11-12) existe una variación en el aprovechamiento del perfil, oscilando entre un 55,60% de máximo y el 13,80% de mínimo. Por último en la barra (10-11), como podemos apreciar en el diagrama de tensiones, el nudo 11 tiene un aprovechamiento del perfil de 55,60% y que dicho aprovechamiento va disminuyendo conforme nos acercamos a la cumbrera, siendo éste de 14,70%. Ésta disminución de aprovechamiento a lo largo del perfil se produce porque conforme nos acercamos a la cumbrera, el canto del perfil utilizado va siendo mayor. Es verdad que podríamos haber disminuido dicho canto para poder aprovecharlo mejor, pero si lo hubiéramos hecho el desplazamiento vertical que se produce en el nudo 10 sería demasiado grande y no lo podríamos permitir.



3. Cálculo de rigidizadores

Según el CTE no es necesario colocar rigidizadores en perfiles laminados ya que éstos vienen diseñados de manera que no se produce abolladura del alma. En este caso, dado que todos los perfiles son de sección variable habría que comprobarlos todos, pero después de haber realizado una primera valoración, en este caso solo hay que colocar rigidizadores en las barras (13-19) perteneciente a la viga y (18-19) del pilar.

La pieza ha comprobar de la viga, (13-19), es la que vemos a continuación:



1ª Comprobación sin rigidizadores:

$$\frac{d}{t} < 70 \times \varepsilon \quad \text{siendo } d \text{ y } t \text{ dimensiones del alma (altura y espesor)}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}} \quad \text{con } f_{ref} = 235 \text{ N/mm}^2 \quad \text{y con } f_y = 275 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{718}{11} < 70 \times 0,9244$$

$$65,27 < 64,708 \quad \text{No cumple.}$$

Vamos a diseñarlo de manera que se cumpla que $a \geq d$

donde a = separación entre rigidizadores

$$\frac{L}{d} = \frac{4,02}{0,718} = 5,60 \quad R = 6$$

$$a = \frac{L}{R - 1} = \frac{4,02}{5} = 0,804$$

$$a \geq d \quad ; \quad 0,804 \geq 0,718$$



2ª Comprobación con Rigidizadores:

$$\frac{d}{t} < 30 \times \varepsilon \times \sqrt{K_t}$$

Según CTE para $a \geq d$:

$$K_t = 5,34 + \frac{4}{\left(\frac{a}{d}\right)^2} \quad ; \quad K_t = 5,34 + \frac{4}{\left(\frac{0,804}{0,718}\right)^2} = 8,53$$

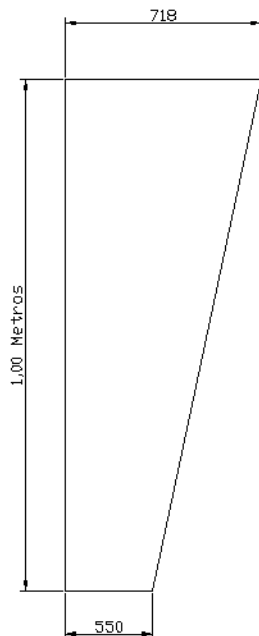
Los cálculos de la segunda comprobación son:

$$\frac{718}{11} < 30 \times 0,9244 \times \sqrt{8,53}$$

$$65,27 < 80,99 \quad \text{OK}$$

Hay que colocar 6 rigidizadores separados 804 mm.

La pieza (18-19), perteneciente al pilar es la siguiente:



1ª Comprobación sin rigidizadores:

$$\frac{d}{t} < 70 \times \varepsilon$$

Siendo d y t dimensiones del alma (altura y espesor)

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}} \quad \text{con} \quad f_{ref} = 235 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{y con} \quad f_y = 275 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{718}{11} < 70 \times 0,9244$$

$$65,27 < 64,708 \quad \text{No cumple.}$$

Vamos a diseñarlo de manera que se cumpla que $a \geq d$

donde a = separación entre rigidizadores



$$\frac{L}{d} = \frac{1}{0,718} = 1,39 \quad R = 2$$

$$a = \frac{L}{R - 1} = \frac{1}{1} = 1$$

$$a \geq d \quad ; \quad 1 \geq 0,718$$

2ª Comprobación con Rigidizadores:

$$\frac{d}{t} < 30 \times \varepsilon \times \sqrt{K_t}$$

Según CTE para $a \geq d$:

$$K_t = 5,34 + \frac{4}{\left(\frac{a}{d}\right)^2} \quad ; \quad K_t = 5,34 + \frac{4}{\left(\frac{1}{0,718}\right)^2} = 7,40$$

Los cálculos de la segunda comprobación son:

$$\frac{718}{11} < 30 \times 0,9244 \times \sqrt{7,40}$$

$$67,85 < 75,44 \quad \text{OK}$$

Hay que colocar 2 rigidizadores separados 1000 mm.



RESUMEN PARA 50 METROS DE LUZ



RESUMEN DEL ESTUDIO REALIZADO PARA 50 METROS

A continuación vamos a hacer una comparación entre los cuatro tipos de diseños descritos anteriormente para 50 metros de luz, eligiendo en base al estudio realizado la solución más aconsejable.

En la tabla que vemos justo debajo aparece a modo de resumen los datos más significativos de cada uno de los pórticos. Estos datos a los que hacemos referencia son: las tensiones o grado de aprovechamiento del perfil, el desplazamiento que se produce en el punto más alto de los pórticos (cumbreira) y por último, siendo éste el más importante, el peso total de la estructura. Decimos que es el más importante porque la finalidad de este estudio es conseguir la solución estructural más económica de entre las posibles y esto está relacionado directamente con el peso de la estructura.

(+Peso → +Coste)

Tabla 1. Resumen de los datos más significativos de los diseños estudiados

TIPO DE PÓRTICO	(APROVECHAMIENTO) TENSIONES %		DESPL. VERTICAL CUMBRERA (CM)	PESO PROPIO (KP)
	DINTEL DERECHO	PILAR DERECHO		
IPE 500	99,82%	92,60%	26,01 cm	6534,80
VIGA VOID 450	99,55%	95,83%	25,16 cm	5427,60
SECCIÓN VARIABLE*	98,67%	98,56%	34,99 cm	5873,12
VIGA CELOSÍA*	-	91,18%	14,31 cm	4528,41

SECCIÓN VARIABLE* Es el único pórtico en el que el pilar no es un IPE, siendo éste de sección variable.

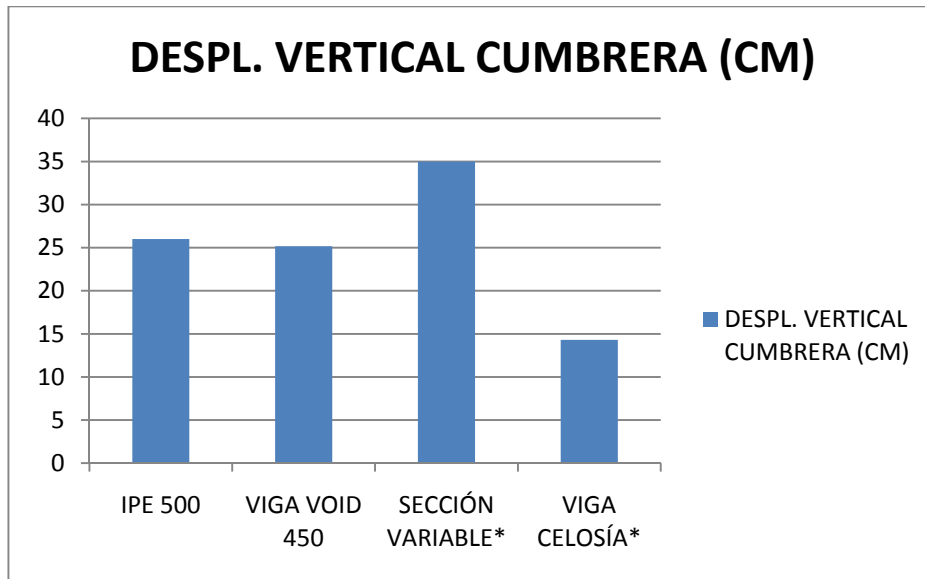
VIGA CELOSÍA* Debido a que la celosía tiene tantas barras, el aprovechamiento de las mismas es muy diverso, no teniendo muy claro el aprovechamiento medio de la misma.

En la tabla podemos ver cómo las diferencias que se producen entre los distintos diseños, sobre todo en desplazamiento en cumbreira y el peso total de la estructura son bastante altas.

En cuanto a las tensiones o grado de aprovechamiento del perfil, se ha intentado que en cada uno de los pórticos estos valores sean máximos, por tanto la diferencia entre los mismos es muy pequeña. Pero aun así, atendiendo a la tabla, el tipo de pórtico que tiene un grado de aprovechamiento más alto en general es el Void.

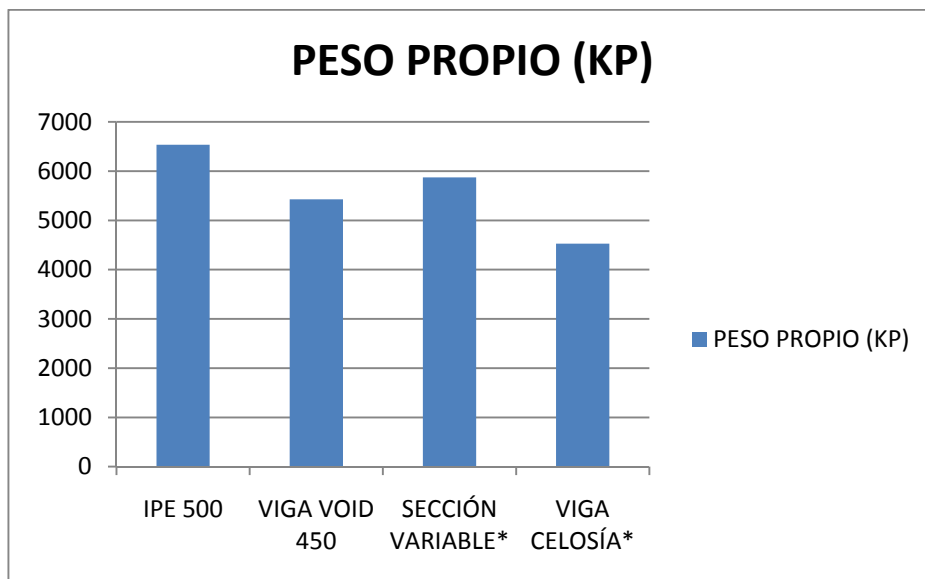


Gráfica 1. Desplazamiento vertical en función del tipo de pórtico



El desplazamiento vertical producido en la cumbre para el pórtico en Celosía es de 14,31 cm, es en el que se produce menos deformación. En los pórticos IPE y Void, el desplazamiento de ambos en dicho punto es muy similar estando en torno a 25 cm. Como viene siendo habitual el pórtico de Sección Variable es en el que más desplazamiento se produce estando éste en torno a 35 cm.

Gráfica 2. Kilos de acero en función del tipo de pórtico



En cuanto al peso total de la estructura, el pórtico Celosía es el más ligero de todos con un peso total de 4528,41 Kg, a sabiendas de esto y teniendo en cuenta que la diferencia de peso entre este pórtico y el inmediato



superior en peso es de casi 899,19 kg, ésta sería la solución más económica de entre todas las posibles. Pero si tenemos en cuenta en la luz que estamos trabajando (50 m), el hecho de utilizar este tipo de diseño crea cierta incertidumbre en cuanto a su comportamiento ya que la diferencia de peso con respecto al resto de diseños estudiados es muy grande. Así, que atendiendo a lo anteriormente descrito voy a descartar este diseño como solución final. El pórtico IPE, como podemos apreciar en la tabla, es el más pesado de todos con 6534,80 Kg, la diferencia con respecto a Void y Sección Variable es de al menos 661,68kg más. Debido a esto vamos a descartar esta opción como diseño a elegir. Para esta luz la solución a elegir está entre Void y Sección Variable. Si atendemos a la tabla vemos que la diferencia de peso entre ambos diseños es de 445,52 kg, siendo el tipo Void el más ligero de los dos.

Tras lo comentado anteriormente y según el estudio realizado, el diseño Void es el menos pesado de ambos, en el que mejor aprovechamiento de perfiles existe de entre todos los diseños estudiados y en el que el desplazamiento producido en la cumbrera es el menor de ambos. Por tanto, a nivel de optimización de perfiles, la solución elegida es el diseño Viga Void.



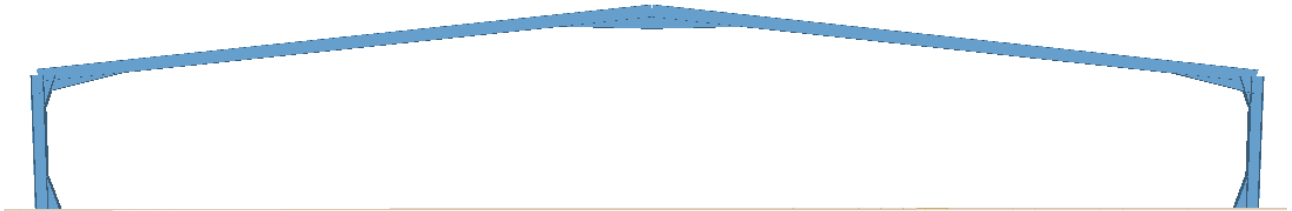
PÓRTICOS PARA 55 METROS DE LUZ



PÓRTICO PERFILES IPE

PÓRTICO IPE 55 METROS DE LUZ

1. Descripción general del pórtico:

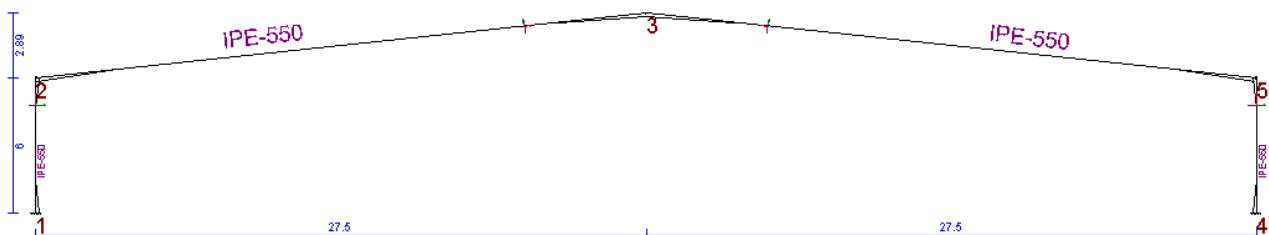


Interpretación real del pórtico

Este pórtico tiene 55 metros de luz y se ha realizado con perfil IPE de 550 milímetros de alma, para poder bajar el perfil lo máximo posible, ha sido necesaria la colocación de refuerzos “cartelas” en todos sus nudos. Estas cartelas se construyen con el mismo perfil utilizado en el pórtico pero cortado a la mitad en ángulo y colocándolas como aparecen en la imagen superior. La longitud de las cartelas superiores e inferiores del pilar son de 1,40 metros y 1,50 metros respectivamente, las cuales son relativamente grandes, pero que ha sido necesario colocar al ser el pilar de dicha sección.

Las vigas que conforman el dintel del pórtico también son IPE de 550 milímetros de alma. Estas vigas también han sido reforzadas en sus nudos con cartelas. La cartela de la cumbrera tiene una longitud de 3,70 metros y la que se encuentra junto al pilar tiene 4,00 metros. El diagrama de tensiones es similar al de luces estudiadas anteriormente, con la salvedad de que las zonas de aprovechamiento son mayores.

En la imagen que podemos apreciar más abajo, aparece a modo de esquema los perfiles utilizados en el pórtico, las cotas y la numeración de los nudos del mismo.



Esquema de nudos, cotas y tipo de perfil.



2. Descripción de valores aportados por Cype

A continuación aparecen unos listados con todos los datos de mediciones, tensiones, peso, reacciones, etc... que nos ha aportado Cype, junto con algunas aclaraciones para su mejor comprensión.

2.1 - Nudos

Nudos	Coordenadas (m)			Vínculos
	X	Y	Z	
1	0.000	0.000	0.000	Empotrado
2	0.000	0.000	6.000	Empotrado
3	0.000	27.500	8.890	Empotrado
4	0.000	55.000	0.000	Empotrado
5	0.000	55.000	6.000	Empotrado

2.2 - Barras: Características Mecánicas

Descripción	Inerc.Tor. cm ⁴	Inerc.y cm ⁴	Inerc.z cm ⁴	Sección cm ²
Acero, IPE-550, Simple con cartelas (IPE)	122.000	67120.000	2670.000	134.000

2.3.- Barras: Materiales Utilizados

Material	Mód.elást. (GPa)	Mód.el.trans. (GPa)	Lím.elás.\Fck (MPa)	Co.dilat. (m/m°C)	Peso espec. (KN/m ³)
Acero (S275)	206.01	79.23	275.00	1.2e-005	77.01

2.4.- Barras: Descripción

Barras	Material	Perfil	Peso (Kp)	Volumen (m ³)	Longitud (m)
1/2	Acero (S275)	IPE-550 (IPE) + carts. sup. 1.500 m y 1.400 m	778.52	0.099	6.00
2/3	Acero (S275)	IPE-550 (IPE) + carts. inf. 3.700 m y 4.000 m	3299.92	0.420	27.65
5/3	Acero (S275)	IPE-550 (IPE) + carts. inf. 3.700 m y 4.000 m	3299.92	0.420	27.65
4/5	Acero (S275)	IPE-550 (IPE) + carts. inf. 1.500 m y 1.400 m	778.52	0.099	6.00

En esta tabla podemos apreciar las longitudes de las cartelas junto con la longitud de los perfiles utilizados y el peso de los mismos.



2.5.- Barras: Resumen Medición (Acero)

Descripción			Peso (Kp)			Longitud (m)		
			Perfil	Serie	Acero	Perfil	Serie	Acero
Acero (S275)	IPE	IPE-550, Simple con c...	8156.88	8156.88	8156.88	67.30	67.30	67.30

El peso total de la estructura como podemos apreciar en la tabla es de 8156,88 kg. Este peso es el más alto de entre todos los diseños estudiados como veremos más adelante.

2.6.- Cargas (Barras)

Barras	Hipót.	Tipo	Cargas				Dirección		
			P1	P2	L1 (m)	L2 (m)	X	Y	Z
2/3	1 (PP 1)	Trapez.	1.751 KN/m	1.530 KN/m	0.000	1.850	0.000	0.000	-1.000
2/3	1 (PP 1)	Trapez.	1.530 KN/m	1.310 KN/m	1.850	3.700	0.000	0.000	-1.000
2/3	1 (PP 1)	Faja	1.032 KN/m	-	3.700	23.651	0.000	0.000	-1.000
2/3	1 (PP 1)	Trapez.	1.310 KN/m	1.530 KN/m	23.651	25.651	0.000	0.000	-1.000
2/3	1 (PP 1)	Trapez.	1.530 KN/m	1.751 KN/m	25.651	27.651	0.000	0.000	-1.000
2/3	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
5/3	1 (PP 1)	Trapez.	1.751 KN/m	1.530 KN/m	0.000	1.850	0.000	0.000	-1.000
5/3	1 (PP 1)	Trapez.	1.530 KN/m	1.310 KN/m	1.850	3.700	0.000	0.000	-1.000
5/3	1 (PP 1)	Faja	1.032 KN/m	-	3.700	23.651	0.000	0.000	-1.000
5/3	1 (PP 1)	Trapez.	1.310 KN/m	1.530 KN/m	23.651	25.651	0.000	0.000	-1.000
5/3	1 (PP 1)	Trapez.	1.530 KN/m	1.751 KN/m	25.651	27.651	0.000	0.000	-1.000
5/3	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Trapez.	1.751 KN/m	1.530 KN/m	0.000	0.750	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Trapez.	1.530 KN/m	1.310 KN/m	0.750	1.500	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Faja	1.032 KN/m	-	1.500	4.600	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Trapez.	1.310 KN/m	1.530 KN/m	4.600	5.300	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Trapez.	1.530 KN/m	1.751 KN/m	5.300	6.000	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Uniforme	2.340 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
4/5	1 (PP 1)	Trapez.	1.751 KN/m	1.530 KN/m	0.000	0.750	0.000	0.000	-1.000
4/5	1 (PP 1)	Trapez.	1.530 KN/m	1.310 KN/m	0.750	1.500	0.000	0.000	-1.000
4/5	1 (PP 1)	Faja	1.032 KN/m	-	1.500	4.600	0.000	0.000	-1.000
4/5	1 (PP 1)	Trapez.	1.310 KN/m	1.530 KN/m	4.600	5.300	0.000	0.000	-1.000
4/5	1 (PP 1)	Trapez.	1.530 KN/m	1.751 KN/m	5.300	6.000	0.000	0.000	-1.000
4/5	1 (PP 1)	Uniforme	1.020 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000



2.7.- Desplazamientos

Nudos	Descripción	DESPLAZAMIENTOS (EJES GENERALES)					
		DX (m)	DY (m)	DZ (m)	GX (rad)	GY (rad)	GZ (rad)
1	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	-0.0240	-0.0004	0.0011	0.0000	0.0000
		0.0000	-0.0240	-0.0004	0.0011	0.0000	0.0000
3	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0009	-0.2586	0.0001	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0009	-0.2586	0.0001	0.0000	0.0000
4	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
5	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0257	-0.0004	-0.0015	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0257	-0.0004	-0.0015	0.0000	0.0000

El desplazamiento que se produce en la cumbrera como podemos ver en la tabla es de 25,86 cm. Este desplazamiento se debe a la flexión que se produce en las vigas.

2.8.- Reacciones

Nudos	Descripción	REACCIONES (EJES GENERALES)					
		RX (KN)	RY (KN)	RZ (KN)	MX (KN·m)	MY (KN·m)	MZ (KN·m)
1	Envolvente (Cim.equil.)	0.0000	281.0004	139.4330	-1330.6676	0.0000	0.0000
		0.0000	421.5006	209.1495	-887.1117	0.0000	0.0000
1	Envolvente (Cim.tens.terr.)	0.0000	281.0004	139.4330	-887.1117	0.0000	0.0000
		0.0000	281.0004	139.4330	-887.1117	0.0000	0.0000
4	Envolvente (Cim.equil.)	0.0000	-451.7407	139.6768	940.8874	0.0000	0.0000
		0.0000	-301.1604	209.5152	1411.3311	0.0000	0.0000
4	Envolvente (Cim.tens.terr.)	0.0000	-301.1604	139.6768	940.8874	0.0000	0.0000
		0.0000	-301.1604	139.6768	940.8874	0.0000	0.0000

2.9.- Tensiones

Barras	TENSION MÁXIMA								
	TENS. ()	APROV. (%)	Pos. (m)	N (KN)	Vy (KN)	Vz (KN)	Mt (KN·m)	My (KN·m)	Mz (KN·m)
2/3	0.9439	94.39	3.700	-417.1951	0.0000	-88.2575	0.0000	-656.0230	0.0000
5/3	0.9552	95.52	3.700	-417.2465	0.0000	-88.5825	0.0000	-663.8607	0.0000
1/2	0.9161	91.61	1.500	-134.6902	0.0000	-404.5468	0.0000	-636.6753	0.0000
4/5	0.9692	96.92	1.500	-132.4160	0.0000	424.8343	0.0000	673.5713	0.0000

El pórtico que nos ocupa consta de cuatro barras, pero realmente a efectos de estudio solo vamos a describir la viga de la derecha y el pilar



derecho ya que, según hemos aplicado la hipótesis de carga, son los que están soportando más tensión.

Como podemos apreciar en la tabla el grado de aprovechamiento del pilar y viga derecha es bastante alto 96,92% y 95,52% respectivamente, lo cual nos indica que el diseño utilizado es bastante bueno.

Si nos fijamos ahora en el diagrama de tensiones vemos como este alto aprovechamiento de los perfiles se produce en las cercanías de los nudos, habiendo una zona tanto en el pilar como en la viga en la que este aprovechamiento disminuye considerablemente, pero al ser un perfil constante esta zona no se puede aprovechar mejor. Utilizando otros diseños como sección variable o Void veremos que esta zona se disminuye de manera considerable.

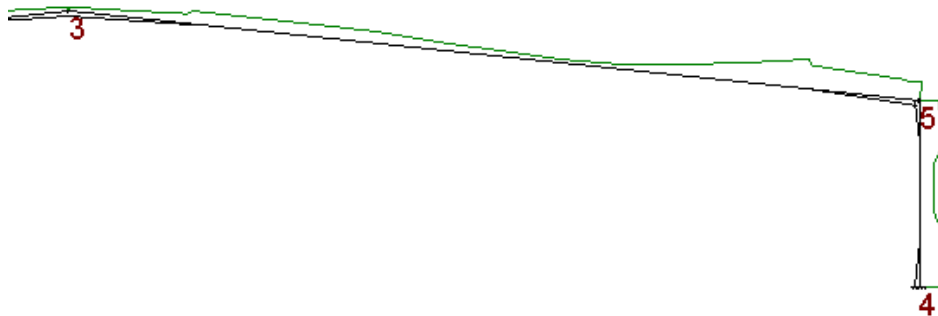


Diagrama de tensiones del pórtico.

A continuación vamos a describir lo que le ocurre al pilar y viga derecho en cuanto al grado de aprovechamiento del perfil.

El pilar tiene tres zonas bien diferenciadas, la primera junto al suelo tiene una longitud de unos 1,8 metros en la que el reparto de tensiones es uniforme y bastante alto, debido a esto se ha colocado la cartela reforzando esta zona, con una longitud de 1,5 metros. El aprovechamiento en esta zona está en torno al 96,90% justo en el punto donde acaba la cartela. En la zona intermedia del pilar, de unos 2,4 metros de longitud, el aprovechamiento medio está en torno al 49,80%, habiendo una pequeña zona donde dicho aprovechamiento es del 45,60%. Por último, en la zona junto a la viga, el aprovechamiento vuelve a subir hasta el 82,60% manteniéndose casi constante en un tramo de 1,8 metros de longitud. Debido al aumento de la tensión hasta tal punto, ha sido necesaria la colocación de la cartela de 1,40 metros de longitud para reforzar esta zona.

Para la viga, en la primera zona que está pegando a la cumbrera, la tensión es muy inferior a la que se produce junto al pilar, si atendemos al estudio realizado en las luces anteriores para este diseño vemos que conforme aumenta la luz, el aprovechamiento del perfil en la zona de la cumbrera va



disminuyendo, siendo el aprovechamiento para esta zona del 44,80%. La cartela colocada en dicha zona tiene una longitud de 3,70 metros, este refuerzo no le hace falta por cuestiones de tensión sino por reforzar una zona bastante delicada, debido a los desplazamientos que se producen en ella. La zona intermedia del perfil comprende unos 18 metros de longitud. En dicha zona la tensión que soporta el perfil es bastante inferior a la del resto del mismo, teniendo una pequeña zona con tan solo el 13,80% de aprovechamiento del perfil. El último tramo junto al pilar, el aprovechamiento como podemos apreciar es más alto y más uniforme a lo largo del perfil, teniendo un valor de 95,50%. Por tanto ha sido necesaria la colocación de una cartela con una longitud de 4,00 metros.

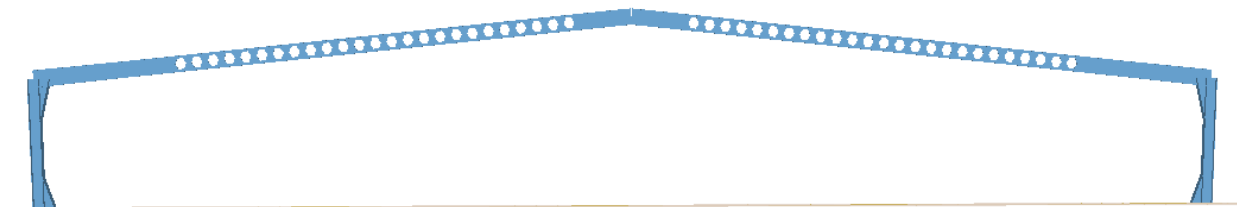


PÓRTICO VIGA VOID



PÓRTICO VIGA VOID 55 METROS DE LUZ

1. Descripción general del pórtico:



Interpretación real del pórtico

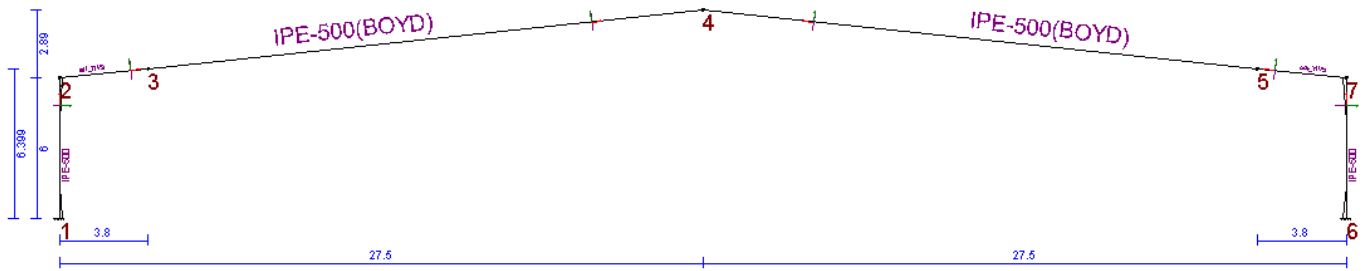
El pórtico que nos ocupa tiene 55 metros de luz y sus pilares están formados por perfiles IPE, y cuya viga es de tipo VOID con perfil IPE de 500 mm junto con tramo de sección Variable. Los pilares son IPE 500, están reforzados en su parte inferior y superior por cartelas. Las cartelas inferiores tienen una longitud de 1,40 metros y las superiores 1,90 metros. El hecho de colocar unas cartelas tan grandes es para conseguir un mayor aprovechamiento del perfil utilizando una sección de perfil menor.

El diseño de la viga empezando de izquierda a derecha es el siguiente: empezamos colocando un perfil de sección variable, seguido de viga VOID con perfil IPE y el otro agua igual, viga VOID y último tramo con sección variable. Los tramos de sección variable los describimos a continuación: la unión con el pilar tiene un canto de 800 mm y junto a la viga de 750 mm que coincide con el alma de la viga utilizada posteriormente para que se pueda unir a ella con la mayor facilidad. Según el CTE hay que comprobar que el perfil no falle por abolladura del alma, dado el caso que el perfil falle, se realizará un cálculo de rigidizadores. En este caso es necesario colocar rigidizadores y las comprobaciones y el cálculo de los mismos se encuentran al final de éste pórtico. El alma tiene un espesor de 12 mm. y el ala de 18 mm. Este espesor se ha elegido lo más próximo superior al perfil IPE que se ha utilizado en la viga, debido a que nos tenemos que regir por espesores comerciales. La longitud de dicho perfil es de 3,82 metros. Los tramos VOID para esta luz se han diseñado de la siguiente manera: el perfil que se ha utilizado como ya hemos dicho es un IPE 500 mm., el cual se convierte al hacerlo VOID en un perfil que tiene 750 mm. de alma. Para este pórtico se le han rellenado tres huecos en origen y tres más en la cumbrera de cada viga, adecuándonos de esta manera a lo solicitado en el diagrama de tensiones que se comentará más adelante.

A continuación mostramos un esquema del pórtico donde se detallan los nudos, perfiles utilizados y las cotas del mismo.



Pórtico Viga Void 55 Metros De Luz



Esquema de nudos, cotas y tipo de perfil.

2. Descripción de valores aportados por Cype

Ahora se detallan los datos que nos aporta el programa en forma de tablas que describiremos a continuación:

2.1 - Nudos

Nudos	Coordenadas (m)			Vínculos
	X	Y	Z	
1	0.000	0.000	0.000	Empotrado
2	0.000	0.000	6.000	Empotrado
3	0.000	3.800	6.399	Empotrado
4	0.000	27.500	8.890	Empotrado
5	0.000	51.200	6.399	Empotrado
6	0.000	55.000	0.000	Empotrado
7	0.000	55.000	6.000	Empotrado

2.2 - Barras: Características Mecánicas

Descripción	Inerc.Tor. cm4	Inerc.y cm4	Inerc.z cm4	Sección cm2
Acero, Sección Variable, Perfil simple + Separación 764/714 mm	120.326	143526.602	2410.642	160.680
Acero, IPE-500, Simple con cartelas (IPE)	91.800	48200.000	2140.000	116.000
Acero, IPE-500, Boyd (alma aligerada) (IPE) H: 750.0 mm, S: 750.0 mm, macizados (3, 3)	91.800	109044.655	2135.261	116.000

2.3.- Barras: Materiales Utilizados

Material	Mód.elást. (GPa)	Mód.el.trans. (GPa)	Lím.elás.\Fck (MPa)	Co.dilat. (m/m°C)	Peso espec. (KN/m3)
Acero (S275)	206.01	79.23	275.00	1.2e-005	77.01



2.4.- Barras: Descripción

Barras	Material	Perfil	Peso (Kp)	Volumen (m3)	Longitud (m)
1/2	Acero (S275)	IPE-500 (IPE) + carts. sup. 1.400 m y 1.900 m	691.04	0.088	6.00
2/3	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 764/714 mm	482.02	0.061	3.82
3/4	Acero (S275)	IPE-500(BOYD) (IPE) H: 750.0 mm, S: 750.0 mm, macizados (3, 3)	2246.37	0.286	23.83
5/4	Acero (S275)	IPE-500(BOYD) (IPE) H: 750.0 mm, S: 750.0 mm, macizados (3, 3)	2246.37	0.286	23.83
7/5	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 764/714 mm	482.02	0.061	3.82
6/7	Acero (S275)	IPE-500 (IPE) + carts. inf. 1.400 m y 1.900 m	691.04	0.088	6.00

2.5.- Barras: Resumen Medición (Acero)

Descripción			Peso (Kp)			Longitud (m)		
			Perfil	Serie	Acero	Perfil	Serie	Acero
Acero (S275)	Sección	Sección Variable, Perfil	964.04			7.64		
		IPE-500, Simple con c...	1382.08	964.04		12.00	7.64	
	IPE	IPE-500, Boyd (alma a...	4492.74	1382.08		47.66	12.00	
				4492.74			47.66	
	IPE				6838.86			67.30
					6838.86			67.30

Como podemos apreciar en la tabla, el utilizar la viga VOID hace que se aligere bastante la estructura como veremos más adelante, teniendo un peso total de la misma de 6838,86 Kg.

2.6.- Cargas (Barras)

Barras	Hipót.	Tipo	Cargas				Dirección		
			P1	P2	L1 (m)	L2 (m)	X	Y	Z
2/3	1 (PP 1)	Trapez.	1.260 KN/m	1.214 KN/m	0.000	3.821	0.000	0.000	-1.000
2/3	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
7/5	1 (PP 1)	Trapez.	1.260 KN/m	1.214 KN/m	0.000	3.821	0.000	0.000	-1.000
7/5	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Trapez.	1.507 KN/m	1.324 KN/m	0.000	0.700	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Trapez.	1.324 KN/m	1.140 KN/m	0.700	1.400	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Faja	0.893 KN/m	-	1.400	4.100	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Trapez.	1.140 KN/m	1.324 KN/m	4.100	5.050	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Trapez.	1.324 KN/m	1.507 KN/m	5.050	6.000	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Uniforme	2.340 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
6/7	1 (PP 1)	Trapez.	1.507 KN/m	1.324 KN/m	0.000	0.700	0.000	0.000	-1.000
6/7	1 (PP 1)	Trapez.	1.324 KN/m	1.140 KN/m	0.700	1.400	0.000	0.000	-1.000
6/7	1 (PP 1)	Faja	0.893 KN/m	-	1.400	4.100	0.000	0.000	-1.000
6/7	1 (PP 1)	Trapez.	1.140 KN/m	1.324 KN/m	4.100	5.050	0.000	0.000	-1.000



Pórtico Viga Void 55 Metros De Luz

6/7	1 (PP 1)	Trapez.	1.324 KN/m	1.507 KN/m	5.050	6.000	0.000	0.000	-1.000
6/7	1 (PP 1)	Uniforme	1.020 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
3/4	1 (PP 1)	Faja	1.057 KN/m	-	0.000	2.290	0.000	0.000	-1.000
3/4	1 (PP 1)	Faja	0.893 KN/m	-	2.290	21.540	0.000	0.000	-1.000
3/4	1 (PP 1)	Faja	1.057 KN/m	-	21.540	23.831	0.000	0.000	-1.000
3/4	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
5/4	1 (PP 1)	Faja	1.057 KN/m	-	0.000	2.290	0.000	0.000	-1.000
5/4	1 (PP 1)	Faja	0.893 KN/m	-	2.290	21.540	0.000	0.000	-1.000
5/4	1 (PP 1)	Faja	1.057 KN/m	-	21.540	23.831	0.000	0.000	-1.000
5/4	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000

2.7.- Desplazamientos

Nudos	Descripción	DESPLAZAMIENTOS (EJES GENERALES)					
		DX (m)	DY (m)	DZ (m)	GX (rad)	GY (rad)	GZ (rad)
1	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	-0.0220	-0.0002	-0.0002	0.0000	0.0000
		0.0000	-0.0220	-0.0002	-0.0002	0.0000	0.0000
3	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	-0.0204	-0.0180	-0.0082	0.0000	0.0000
		0.0000	-0.0204	-0.0180	-0.0082	0.0000	0.0000
4	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0011	-0.2464	0.0001	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0011	-0.2464	0.0001	0.0000	0.0000
5	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0227	-0.0168	0.0079	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0227	-0.0168	0.0079	0.0000	0.0000
6	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
7	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0241	-0.0002	-0.0002	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0241	-0.0002	-0.0002	0.0000	0.0000

El desplazamiento vertical que se produce en la cumbrera es de 24,64cm, como podemos apreciar en la tabla.

2.8.- Reacciones

Nudos	Descripción	REACCIONES (EJES GENERALES)					
		RX (KN)	RY (KN)	RZ (KN)	MX (KN·m)	MY (KN·m)	MZ (KN·m)
1	Envolvente (Cim.equil.)	0.0000	241.4264	132.9049	-1041.1207	0.0000	0.0000
		0.0000	362.1396	199.3574	-694.0805	0.0000	0.0000
1	Envolvente (Cim.tens.terr.)	0.0000	241.4264	132.9049	-694.0805	0.0000	0.0000
		0.0000	241.4264	132.9049	-694.0805	0.0000	0.0000
6	Envolvente (Cim.equil.)	0.0000	-392.3796	133.2740	744.4112	0.0000	0.0000
		0.0000	-261.5864	199.9110	1116.6168	0.0000	0.0000
6	Envolvente (Cim.tens.terr.)	0.0000	-261.5864	133.2740	744.4112	0.0000	0.0000
		0.0000	-261.5864	133.2740	744.4112	0.0000	0.0000



2.9.-Tensiones

Barras	TENSIÓN MÁXIMA								
	TENS. ()	APROV. (%)	Pos. (m)	N (KN)	Vy (KN)	Vz (KN)	Mt (KN·m)	My (KN·m)	Mz (KN·m)
2/3	0.9411	94.11	0.000	-360.7746	0.0000	-133.3240	0.0000	-1074.3491	0.0000
7/5	0.9531	95.31	0.000	-360.8266	0.0000	-133.8195	0.0000	-1088.0506	0.0000
1/2	0.8870	88.70	1.400	-134.9295	0.0000	-349.6065	0.0000	-487.8580	0.0000
6/7	0.9494	94.94	1.400	-132.8566	0.0000	370.3749	0.0000	522.1752	0.0000
3/4	0.9386	93.86	2.290	-356.6752	0.0000	-94.1514	0.0000	-380.3870	0.0000
5/4	0.9542	95.42	2.290	-356.7273	0.0000	-94.6469	0.0000	-391.0603	0.0000

La descripción de las tensiones para este pórtico se reduce a la descripción del pilar y viga derecha del mismo, ya que en estas zonas es donde se producen las mayores tensiones. Vamos a empezar comentando el pilar: como ya sabemos, dicho pilar está formado por IPE 500mm reforzado con cartela inferior de 1,40 metros de longitud y cartela superior de 1,90 metros de longitud. Las tensiones en el pilar están distribuidas de manera que quedan tres zonas bien diferenciadas. En la primera zona junto al suelo las tensiones son bastante altas y por eso el hecho de colocar cartelas para que el perfil sea capaz de aguantar dicha tensión quedando éste aprovechado en un 94,90%. La zona intermedia tiene una longitud aproximada de 2,00 metros, en la cual el aprovechamiento medio del perfil es del 47,40%. Por último, en el pilar tenemos una zona junto a la viga en la que el aprovechamiento vuelve a ser bastante alto, alcanzando éste el 78,50%. Como podemos apreciar en el diagrama de tensiones de esta zona, la distribución de tensiones es bastante uniforme cubriendo una zona muy amplia.

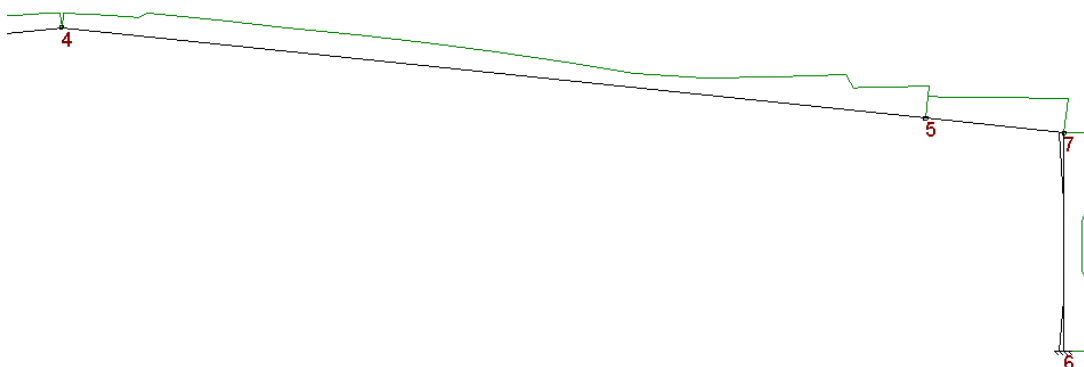


Diagrama de tensiones del pórtico.

En cuanto a la viga, podemos apreciar como el reparto de tensiones es bastante uniforme a lo largo de la misma. En este tipo de pórticos me he visto

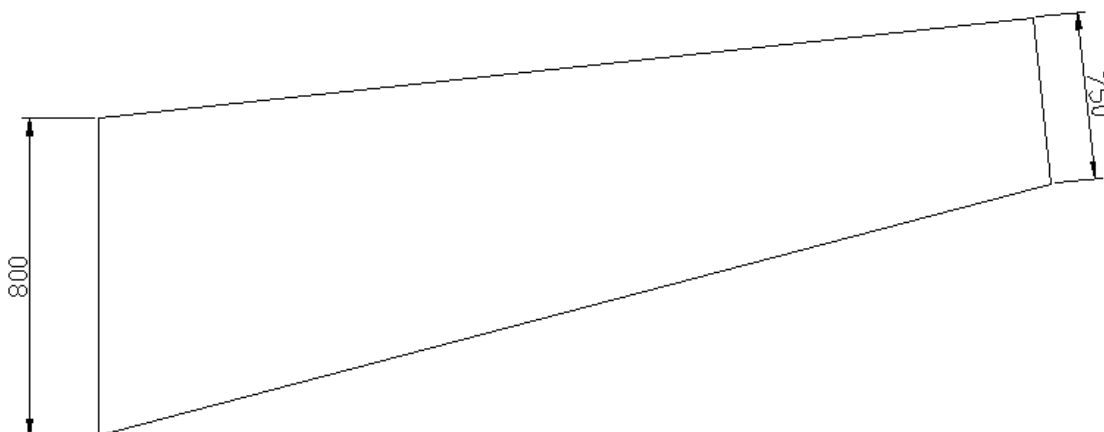


obligado a colocar un pequeño tramo de perfil de sección variable (5/7), debido a que el IPE tipo Void utilizado como viga no era capaz de aguantar la tensión en esta zona ni aún rellenando los huecos hexagonales de dicho perfil, tenía que aumentar el perfil y ya no sería una solución viable económicamente. Dicho tramo (5/7) tiene un aprovechamiento máximo del 95,30%, lo cual es una cifra bastante buena. El salto de aprovechamiento de perfil que se produce en el nudo 5 es debido a que el espesor del alma del tramo de sección variable es ligeramente superior al del IPE tipo Void utilizado. La barra (4-5) se ha realizado como ya sabemos con IPE 500 Void al cual se le ha rellenado tres huecos en la cumbrera y tres junto al tramo de sección variable para que la sección utilizada no fallara por cuestiones de tensión, debido a esto se produce el salto que podemos ver en el diagrama de tensiones. El aprovechamiento máximo de dicho tramo (4/5) es del 95,40%. Éste perfil también tiene una zona intermedia en la que el aprovechamiento del perfil disminuye, pero si comparamos con las luces estudiadas anteriormente, vemos como este aprovechamiento ha aumentado considerablemente. En la última zona junto a la cumbrera, el aprovechamiento del perfil disminuye un poco respecto a la primera zona antes comentada, estando ésta en 64,50%.

3. Cálculo de rigidizadores

Según el CTE no es necesario colocar rigidizadores en perfiles laminados ya que éstos vienen diseñados de manera que no se produce abolladura del alma. En este caso, dado que hemos utilizado un pequeño tramo de Sección Variable, hay que hacer las comprobaciones que nos dice el CTE y ver si es necesario colocar rigidizadores del alma para corregir la abolladura del alma.

La pieza es comprobar es la que vemos a continuación:





1ª Comprobación sin rigidizadores:

$$\frac{d}{t} < 70 \times \varepsilon \quad \text{siendo } d \text{ y } t \text{ dimensiones del alma (altura y espesor)}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}} \quad \text{con } f_{ref} = 235 \text{ N/mm}^2 \quad \text{y con } f_y = 275 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{800}{12} < 70 \times 0,9244$$

66,67 < 64,708 No cumple.

Vamos a diseñarlo de manera que se cumpla que $a \geq d$

donde a = separación entre rigidizadores

$$\frac{L}{d} = \frac{3,82}{0,800} = 4,775 \quad R = 5$$

$$a = \frac{L}{R - 1} = \frac{3,82}{4} = 0,955$$

$$a \geq d \quad ; \quad 0,955 \geq 0,800$$

2ª Comprobación con Rigidizadores:

$$\frac{d}{t} < 30 \times \varepsilon \times \sqrt{K_t}$$

Según CTE para $a \geq d$:

$$K_t = 5,34 + \frac{4}{\left(\frac{a}{d}\right)^2} \quad ; \quad K_t = 5,34 + \frac{4}{\left(\frac{0,955}{0,80}\right)^2} = 8,147$$

Los cálculos de la segunda comprobación son:

$$\frac{800}{12} < 30 \times 0,9244 \times \sqrt{8,147}$$

66,67 < 79,15 OK

Hay que colocar 5 rigidizadores separados 955 mm.

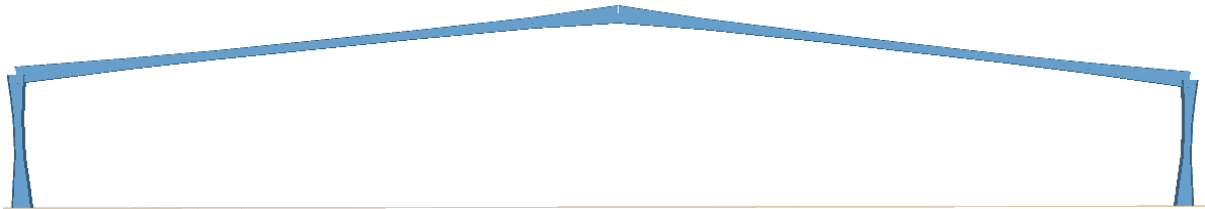


PÓRTICO DE SECCIÓN VARIABLE



PÓRTICO SECCIÓN VARIABLE DE 55 METROS DE LUZ

1. Descripción general del pórtico:



Interpretación real del pórtico

El pórtico que vamos a describir a continuación tiene 55 metros de luz y está formado en su totalidad por perfiles de sección variable. Con este tipo de diseño lo que intentamos conseguir es minimizar la cantidad de acero a utilizar en el pórtico para así poder reducir los costes del mismo, disminuyendo o aumentando el canto y espesor del perfil según nos vaya haciendo falta realmente.

Para el diseño del pórtico hemos creado 21 nudos, de los cuales dos son empotramientos y los demás nudos rígidos, por tanto tenemos veinte barras. El espesor utilizado en los perfiles del pilar y de la barra (15-21) de la viga es el siguiente: el alma tiene un espesor de 12mm y las alas de 19mm. El espesor utilizado en el resto de barras es el siguiente: el alma tiene un espesor de 11mm y las alas de 17mm.

El pilar lo he dividido en cinco partes, teniendo así cinco barras diferentes. El fin de tal división es conseguir un mayor aprovechamiento de los perfiles. La primera barra (1-2), tiene una longitud de 1,00 metros con un canto inicial de 860mm y final de 680mm. A continuación la barra (2-3) tiene un canto inicial de 680mm y final de 400mm, con una longitud de 1,40 metro. La tercera barra (3-4) es de sección constante debido a que en esta zona las tensiones sobre el perfil son más reducidas que en el resto del pilar y se mantienen a lo largo de esta barra, el canto de dicha barra es de 400mm y la longitud de la misma es de 1,60 metros. La barra (4-5), vuelve a ser de sección variable con una longitud de 1,00 metros, teniendo un canto inicial de 400mm y final de 550mm. Por último, la barra (5-6) tiene una longitud de 1,00 metros, con un canto inicial de 550 mm y final de 750mm.

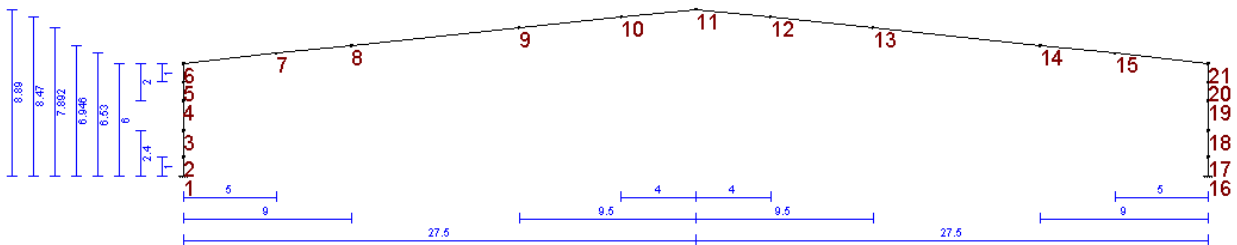
En la viga tenemos cinco barras diferentes, continuando con la última del pilar, seguimos con la primera de la viga (6-7), la cual tiene una longitud de 5,03 metros con un canto inicial igual al del pilar de 750mm y final de 500mm. A continuación la barra (7-8) tiene una longitud de 4,02 metros, con un canto inicial de 500mm y final de 400mm. La tercera barra (8-9) al igual que ocurre en



el pilar, es de sección constante pero en este caso tiene 400mm de canto y una longitud de 9,05 metros. A continuación la barra (9-10) tiene una longitud de 5,53m y tiene un canto inicial de 400mm y final de 500mm. Por último la quinta barra (10-11) tiene una longitud de 4,02 metros, el canto inicial es de 500mm y el final 800mm.

Para este caso es necesario el uso de rigidizadores en la barra (1-2) y su simétrica ya que los cantos utilizados son muy grandes. El cálculo de los rigidizadores se detalla al final de este pórtico.

A continuación mostramos un esquema del pórtico donde se detallan los nudos y las cotas del mismo.



Esquema de nudos, cotas y tipo de perfil.

2. Descripción de valores aportados por Cype

Ahora se detallan los datos que nos aporta el programa en forma de tablas en las cuales podemos apreciar nudos, cargas, tensiones, pesos, cotas, etc., que describiremos a continuación:

2.1 - Nudos

Nudos	Coordenadas (m)			Vínculos
	X	Y	Z	
1	0.000	0.000	0.000	Empotrado
2	0.000	0.000	1.000	Empotrado
3	0.000	0.000	2.400	Empotrado
4	0.000	0.000	4.000	Empotrado
5	0.000	0.000	5.000	Empotrado
6	0.000	0.000	6.000	Empotrado
7	0.000	5.000	6.530	Empotrado
8	0.000	9.000	6.946	Empotrado
9	0.000	18.000	7.892	Empotrado
10	0.000	23.500	8.470	Empotrado
11	0.000	27.500	8.890	Empotrado
12	0.000	31.500	8.470	Empotrado
13	0.000	37.000	7.892	Empotrado
14	0.000	46.000	6.946	Empotrado



Pórtico Sección Variable 55 Metros De Luz

15	0.000	50.000	6.530	Empotrado
16	0.000	55.000	0.000	Empotrado
17	0.000	55.000	1.000	Empotrado
18	0.000	55.000	2.400	Empotrado
19	0.000	55.000	4.000	Empotrado
20	0.000	55.000	5.000	Empotrado
21	0.000	55.000	6.000	Empotrado

2.2 - Barras: Características Mecánicas

Descripción	Inerc.Tor. cm ⁴	Inerc.y cm ⁴	Inerc.z cm ⁴	Sección cm ²
Acero, Sección Variable, Perfil simple + Separación 366/366 mm	85.020	30695.406	2628.010	111.660
Acero, Sección Variable, Perfil simple + Separación 366/466 mm	87.239	40083.184	2628.564	117.160
Acero, Sección Variable, Perfil simple + Separación 466/366 mm	87.239	40083.184	2628.564	117.160
Acero, Sección Variable, Perfil simple + Separación 466/766 mm	96.112	92966.797	2630.782	139.160
Acero, Sección Variable, Perfil simple + Separación 362/362 mm	116.877	33727.419	2937.863	123.240
Acero, Sección Variable, Perfil simple + Separación 362/512 mm	121.197	49852.584	2938.943	132.240
Acero, Sección Variable, Perfil simple + Separación 642/362 mm	124.941	66827.087	2939.879	140.040
Acero, Sección Variable, Perfil simple + Separación 712/462 mm	129.837	93513.789	2941.103	150.240
Acero, Sección Variable, Perfil simple + Separación 512/712 mm	131.277	102379.219	2941.463	153.240
Acero, Sección Variable, Perfil simple + Separación 822/642 mm	138.189	151764.523	2943.191	167.640

2.3.- Barras: Materiales Utilizados

Material	Mód.elást. (GPa)	Mód.el.trans. (GPa)	Lím.elás.\Fck (MPa)	Co.dilat. (m/m°C)	Peso espec. (KN/m ³)
Acero (S275)	206.01	79.23	275.00	1.2e-005	77.01

2.4.- Barras: Descripción

Barras	Material	Perfil	Peso (Kp)	Volumen (m ³)	Longitud (m)
1/2	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 822/642 mm	131.62	0.017	1.00
2/3	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 642/362 mm	153.94	0.020	1.40
3/4	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 362/362 mm	154.79	0.020	1.60
4/5	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 362/512 mm	103.79	0.013	1.00
5/6	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 512/712 mm	120.26	0.015	1.00
6/7	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 712/462 mm	593.13	0.076	5.03
7/8	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 466/366 mm	369.92	0.047	4.02
8/9	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 366/366 mm	793.22	0.101	9.05
9/10	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 366/466 mm	508.55	0.065	5.53
10/11	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 466/766 mm	439.25	0.056	4.02
12/11	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 466/766 mm	439.25	0.056	4.02



Pórtico Sección Variable 55 Metros De Luz

13/12	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 366/466 mm	508.55	0.065	5.53
14/13	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 366/366 mm	793.22	0.101	9.05
15/14	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 466/366 mm	369.92	0.047	4.02
21/15	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 712/462 mm	593.13	0.076	5.03
16/17	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 822/642 mm	131.62	0.017	1.00
17/18	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 642/362 mm	153.94	0.020	1.40
18/19	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 362/362 mm	154.79	0.020	1.60
19/20	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 362/512 mm	103.79	0.013	1.00
20/21	Acero (S275)	Sección Variable + Separación 512/712 mm	120.26	0.015	1.00

2.5.- Barras: Resumen Medición (Acero)

Descripción			Peso (Kp)			Longitud (m)		
			Perfil	Serie	Acero	Perfil	Serie	Acero
Acero (S275)	Sección	Sección Variable, Perfil	4221.88			45.24		
		Sección Variable, Perfil	2515.06			22.06		
				6736.94			67.30	
					6736.94			67.30
					6736.94			67.30

El peso total del pórtico como podemos apreciar en la tabla es de 6736,94 Kg., es muy similar al pórtico Void y bastante inferior al de IPE, como veremos más adelante.

2.6.- Cargas (Barras)

Barras	Hipót.	Tipo	Cargas				Dirección		
			P1	P2	L1 (m)	L2 (m)	X	Y	Z
10/11	1 (PP 1)	Trapez.	0.945 KN/m	1.199 KN/m	0.000	4.022	0.000	0.000	-1.000
10/11	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
12/11	1 (PP 1)	Trapez.	0.945 KN/m	1.199 KN/m	0.000	4.022	0.000	0.000	-1.000
12/11	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
9/10	1 (PP 1)	Trapez.	0.860 KN/m	0.945 KN/m	0.000	5.530	0.000	0.000	-1.000
9/10	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
13/12	1 (PP 1)	Trapez.	0.860 KN/m	0.945 KN/m	0.000	5.530	0.000	0.000	-1.000
13/12	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
8/9	1 (PP 1)	Uniforme	0.860 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
8/9	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
14/13	1 (PP 1)	Uniforme	0.860 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
14/13	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
7/8	1 (PP 1)	Trapez.	0.945 KN/m	0.860 KN/m	0.000	4.022	0.000	0.000	-1.000
7/8	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
15/14	1 (PP 1)	Trapez.	0.945 KN/m	0.860 KN/m	0.000	4.022	0.000	0.000	-1.000
15/14	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
6/7	1 (PP 1)	Trapez.	1.272 KN/m	1.041 KN/m	0.000	5.028	0.000	0.000	-1.000
6/7	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000



Pórtico Sección Variable 55 Metros De Luz

21/15	1 (PP 1)	Trapez.	1.272 KN/m	1.041 KN/m	0.000	5.028	0.000	0.000	-1.000
21/15	1 (PP 1)	Uniforme	3.600 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
5/6	1 (PP 1)	Trapez.	1.088 KN/m	1.272 KN/m	0.000	1.000	0.000	0.000	-1.000
5/6	1 (PP 1)	Uniforme	2.340 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
16/17	1 (PP 1)	Trapez.	1.374 KN/m	1.208 KN/m	0.000	1.000	0.000	0.000	-1.000
16/17	1 (PP 1)	Uniforme	1.020 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
4/5	1 (PP 1)	Trapez.	0.949 KN/m	1.088 KN/m	0.000	1.000	0.000	0.000	-1.000
4/5	1 (PP 1)	Uniforme	2.340 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
17/18	1 (PP 1)	Trapez.	1.208 KN/m	0.949 KN/m	0.000	1.400	0.000	0.000	-1.000
17/18	1 (PP 1)	Uniforme	1.020 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
3/4	1 (PP 1)	Uniforme	0.949 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
3/4	1 (PP 1)	Uniforme	2.340 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
18/19	1 (PP 1)	Uniforme	0.949 KN/m	-	-	-	0.000	0.000	-1.000
18/19	1 (PP 1)	Uniforme	1.020 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
2/3	1 (PP 1)	Trapez.	1.208 KN/m	0.949 KN/m	0.000	1.400	0.000	0.000	-1.000
2/3	1 (PP 1)	Uniforme	2.340 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
19/20	1 (PP 1)	Trapez.	0.949 KN/m	1.088 KN/m	0.000	1.000	0.000	0.000	-1.000
19/20	1 (PP 1)	Uniforme	1.020 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
1/2	1 (PP 1)	Trapez.	1.374 KN/m	1.208 KN/m	0.000	1.000	0.000	0.000	-1.000
1/2	1 (PP 1)	Uniforme	2.340 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000
20/21	1 (PP 1)	Trapez.	1.088 KN/m	1.272 KN/m	0.000	1.000	0.000	0.000	-1.000
20/21	1 (PP 1)	Uniforme	1.020 KN/m	-	-	-	0.000	1.000	0.000

2.7.- Desplazamientos

Nudos	Descripción	DESPLAZAMIENTOS (EJES GENERALES)					
		DX (m)	DY (m)	DZ (m)	GX (rad)	GY (rad)	GZ (rad)
1	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	-0.0017	0.0000	0.0026	0.0000	0.0000
		0.0000	-0.0017	0.0000	0.0026	0.0000	0.0000
3	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	-0.0093	-0.0001	0.0072	0.0000	0.0000
		0.0000	-0.0093	-0.0001	0.0072	0.0000	0.0000
4	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	-0.0243	-0.0002	0.0079	0.0000	0.0000
		0.0000	-0.0243	-0.0002	0.0079	0.0000	0.0000
5	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	-0.0313	-0.0002	0.0046	0.0000	0.0000
		0.0000	-0.0313	-0.0002	0.0046	0.0000	0.0000
6	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	-0.0349	-0.0003	0.0016	0.0000	0.0000
		0.0000	-0.0349	-0.0003	0.0016	0.0000	0.0000
7	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	-0.0323	-0.0293	-0.0131	0.0000	0.0000
		0.0000	-0.0323	-0.0293	-0.0131	0.0000	0.0000
8	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	-0.0247	-0.1075	-0.0244	0.0000	0.0000
		0.0000	-0.0247	-0.1075	-0.0244	0.0000	0.0000
9	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	-0.0033	-0.3222	-0.0160	0.0000	0.0000
		0.0000	-0.0033	-0.3222	-0.0160	0.0000	0.0000
10	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0013	-0.3723	-0.0032	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0013	-0.3723	-0.0032	0.0000	0.0000
11	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0013	-0.3764	0.0002	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0013	-0.3764	0.0002	0.0000	0.0000
12	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0014	-0.3709	0.0035	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0014	-0.3709	0.0035	0.0000	0.0000



Pórtico Sección Variable 55 Metros De Luz

		0.0000	0.0014	-0.3709	0.0035	0.0000	0.0000
13	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0062	-0.3191	0.0162	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0062	-0.3191	0.0162	0.0000	0.0000
14	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0276	-0.1040	0.0242	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0276	-0.1040	0.0242	0.0000	0.0000
15	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0351	-0.0269	0.0127	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0351	-0.0269	0.0127	0.0000	0.0000
16	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
17	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0018	0.0000	-0.0027	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0018	0.0000	-0.0027	0.0000	0.0000
18	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0098	-0.0001	-0.0076	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0098	-0.0001	-0.0076	0.0000	0.0000
19	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0257	-0.0002	-0.0085	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0257	-0.0002	-0.0085	0.0000	0.0000
20	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0333	-0.0002	-0.0051	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0333	-0.0002	-0.0051	0.0000	0.0000
21	Envolvente (Desplazam.)	0.0000	0.0375	-0.0003	-0.0021	0.0000	0.0000
		0.0000	0.0375	-0.0003	-0.0021	0.0000	0.0000

El desplazamiento vertical que se produce debido a la flexión en el nudo 11 (cubriera) es de 37,64 cm. Éste valor es muy importante tenerlo en cuenta a la hora del diseño del pórtico, porque este desplazamiento no puede ser excesivo.

2.8.- Reacciones

Nudos	Descripción	REACCIONES (EJES GENERALES)					
		RX (KN)	RY (KN)	RZ (KN)	MX (KN·m)	MY (KN·m)	MZ (KN·m)
1	Envolvente (Cim.equil.)	0.0000	279.6146	132.4837	-1405.3039	0.0000	0.0000
		0.0000	419.4219	198.7255	-936.8693	0.0000	0.0000
1	Envolvente (Cim.tens.terr.)	0.0000	279.6146	132.4837	-936.8693	0.0000	0.0000
		0.0000	279.6146	132.4837	-936.8693	0.0000	0.0000
16	Envolvente (Cim.equil.)	0.0000	-449.6619	132.6961	991.5084	0.0000	0.0000
		0.0000	-299.7746	199.0441	1487.2627	0.0000	0.0000
16	Envolvente (Cim.tens.terr.)	0.0000	-299.7746	132.6961	991.5084	0.0000	0.0000
		0.0000	-299.7746	132.6961	991.5084	0.0000	0.0000

2.9.-Tensiones

Barras	TENSION MÁXIMA								
	TENS. ()	APROV. (%)	Pos. (m)	N (KN)	Vy (KN)	Vz (KN)	Mt (KN·m)	My (KN·m)	Mz (KN·m)
10/11	0.4151	41.51	0.000	-396.9001	0.0000	16.3136	0.0000	240.9082	0.0000
12/11	0.4131	41.31	0.000	-396.9300	0.0000	16.0285	0.0000	239.7612	0.0000
9/10	0.5517	55.17	0.527	-400.0800	0.0000	-13.9231	0.0000	246.7633	0.0000
13/12	0.5459	54.59	0.527	-400.1099	0.0000	-14.2083	0.0000	244.1895	0.0000
8/9	0.5499	54.99	9.050	-400.4121	0.0000	-17.0718	0.0000	238.5985	0.0000



Pórtico Sección Variable 55 Metros De Luz

14/13	0.5436	54.36	9.050	-400.4420	0.0000	-17.3569	0.0000	235.8746	0.0000
7/8	0.8584	85.84	0.000	-408.5577	0.0000	-96.0176	0.0000	-498.1831	0.0000
15/14	0.8695	86.95	0.000	-408.5873	0.0000	-96.3028	0.0000	-504.6346	0.0000
6/7	0.9528	95.28	0.000	-412.1504	0.0000	-127.3188	0.0000	-1056.9664	0.0000
21/15	0.9599	95.99	0.000	-412.1807	0.0000	-127.6039	0.0000	-1064.8516	0.0000
5/6	0.9528	95.28	1.000	-170.0541	0.0000	-396.4337	0.0000	1056.9664	0.0000
16/17	0.9947	99.47	0.000	-179.1397	0.0000	404.6957	0.0000	1338.5364	0.0000
4/5	0.9116	91.16	1.000	-171.6472	0.0000	-393.2747	0.0000	662.1123	0.0000
17/18	0.9650	96.50	0.000	-177.3969	0.0000	403.3187	0.0000	934.5292	0.0000
3/4	0.7390	73.90	0.000	-175.0719	0.0000	-385.0612	0.0000	-349.7245	0.0000
18/19	0.7888	78.88	0.000	-175.3586	0.0000	401.3909	0.0000	371.2326	0.0000
2/3	0.9145	91.45	0.000	-177.1101	0.0000	-380.6387	0.0000	-885.7144	0.0000
19/20	0.9194	91.94	1.000	-171.9339	0.0000	397.8107	0.0000	-667.7295	0.0000
1/2	0.9399	93.99	0.000	-178.8529	0.0000	-377.4797	0.0000	-1264.7736	0.0000
20/21	0.9599	95.99	1.000	-170.3408	0.0000	396.4337	0.0000	-1064.8516	0.0000

La descripción de las tensiones para este pórtico se reduce a la descripción del pilar y viga derecha del mismo, ya que en estos es donde se produce las mayores tensiones. Vamos a empezar comentando el pilar: si echamos un vistazo al diagrama de tensiones podemos ver como el reparto de tensiones en el pilar es uniforme a lo largo del mismo exceptuando la zona intermedia donde el valor de aprovechamiento disminuye. El valor de aprovechamiento de los perfiles es el siguiente: el que se encuentra junto al suelo (16-17) tiene un aprovechamiento del 99,50%, totalmente uniforme y constante en dicha barra. La barra (17-18) al igual que la anterior tiene un aprovechamiento uniforme y constante con un valor del 96,50%. En la barra intermedia (18-19) el aprovechamiento medio es del 63,90%. La barra (19-20) tiene un aprovechamiento máximo del 91,90%. Por último, la barra que se encuentra junto a la viga, (20-21), tiene un aprovechamiento del 96,00%, siendo este valor uniforme y constante en toda la barra.

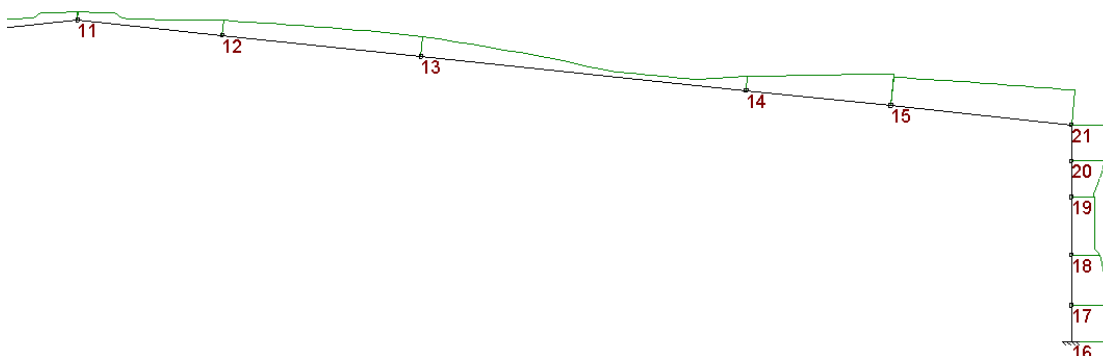


Diagrama de tensiones del pórtico.

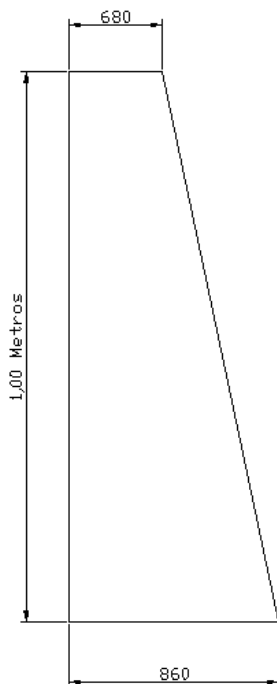


La viga como ya sabemos consta de cinco tramos. El tramo (15-21) está aprovechado al 96,00%, en la cual el espesor del perfil es idéntico al utilizado en el pilar, aunque disminuye dicho aprovechamiento conforme nos acercamos a la barra (14-15), la cual tiene un aprovechamiento del 87,00% y el espesor es menor al de la barra anteriormente comentada. En la barra intermedia (13-14) existe una variación en el aprovechamiento del perfil, oscilando entre un 54,40% de máximo y el 14,50% de mínimo. A continuación la barra (12-13) tiene un aprovechamiento medio del 54,60% uniforme en toda la barra. Por último en la barra (11-12), como podemos apreciar en el diagrama de tensiones, el nudo 12 tiene un aprovechamiento del perfil de 41,30% y que dicho aprovechamiento va disminuyendo conforme nos acercamos a la cumbrera, siendo éste de 23,40%. Ésta disminución de aprovechamiento a lo largo del perfil se produce, porque conforme nos acercamos a la cumbrera, el canto del perfil utilizado va siendo mayor. Es verdad que podríamos haber disminuido dicho canto para poder aprovecharlo mejor, pero si lo hubiéramos hecho el desplazamiento vertical que se produce en el nudo 11 sería demasiado grande y no lo podríamos permitir.

3. Cálculo de rigidizadores

Según el CTE no es necesario colocar rigidizadores en perfiles laminados ya que éstos vienen diseñados de manera que no se produce abolladura del alma. En este caso, dado que todos los perfiles son de sección variable habría que comprobarlos todos, pero después de haber realizado una primera valoración, en este caso solo hay que colocar rigidizadores en la barra (1-2) perteneciente al pilar.

La pieza a comprobar es la que vemos a continuación:



1ª Comprobación sin rigidizadores:

$$\frac{d}{t} < 70 \times \varepsilon$$

Siendo d y t dimensiones del alma (altura y espesor)

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}} \quad \text{con } f_{ref} = 235 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{y con } f_y = 275 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{860}{12} < 70 \times 0,9244$$



$$71,66 < 64,708 \quad \text{No cumple.}$$

Vamos a diseñarlo de manera que se cumpla que $a \geq d$

donde a = separación entre rigidizadores

$$\frac{L}{d} = \frac{1}{0,860} = 1,16 \quad R = 2$$

$$a = \frac{L}{R - 1} = \frac{1}{1} = 1$$

$$a \geq d \quad ; \quad 1 \geq 0,860$$

2ª Comprobación con Rigidizadores:

$$\frac{d}{t} < 30 \times \varepsilon \times \sqrt{K_t}$$

Según CTE para $a \geq d$:

$$K_t = 5,34 + \frac{4}{\left(\frac{a}{d}\right)^2} \quad ; \quad K_t = 5,34 + \frac{4}{\left(\frac{1}{0,860}\right)^2} = 8,29$$

Los cálculos de la segunda comprobación son:

$$\frac{860}{12} < 30 \times 0,9244 \times \sqrt{8,29}$$

$$71,67 < 79,88 \quad \text{OK}$$

Hay que colocar 2 rigidizadores separados 1000 mm.



RESUMEN PARA 55 METROS DE LUZ



RESUMEN DEL ESTUDIO REALIZADO PARA 55 METROS

A continuación vamos a hacer una comparación entre los tres tipos de diseños descritos anteriormente para 55 metros de luz, eligiendo en base al estudio realizado la solución más aconsejable.

En la tabla que vemos justo debajo aparece a modo de resumen los datos más significativos de cada uno de los pórticos. Estos datos a los que hacemos referencia son: las tensiones o grado de aprovechamiento del perfil, el desplazamiento que se produce en el punto más alto de los pórticos (cubrera) y por último, siendo éste el más importante, el peso total de la estructura. Decimos que es el más importante porque la finalidad de este estudio es conseguir la solución estructural más económica de entre las posibles y esto está relacionado directamente con el peso de la estructura.

(+Peso → +Coste)

Tabla 1. Resumen de los datos más significativos de los diseños estudiados

TIPO DE PÓRTICO	(APROVECHAMIENTO) TENSIONES %		DESPL. VERTICAL CUMBRERA (CM)	PESO PROPIO (KP)
	DINTEL DERECHO	PILAR DERECHO		
IPE 550	95,52%	96,92%	25,86 cm	8156,88
VIGA VOID 500	95,42%	94,94%	24,64 cm	6838,86
SECCIÓN VARIABLE*	96,00%	99,50%	37,64 cm	6736,94
VIGA CELOSÍA*	-	-	-	-

SECCIÓN VARIABLE* Es el único pórtico en el que el pilar no es un IPE, siendo éste de sección variable.

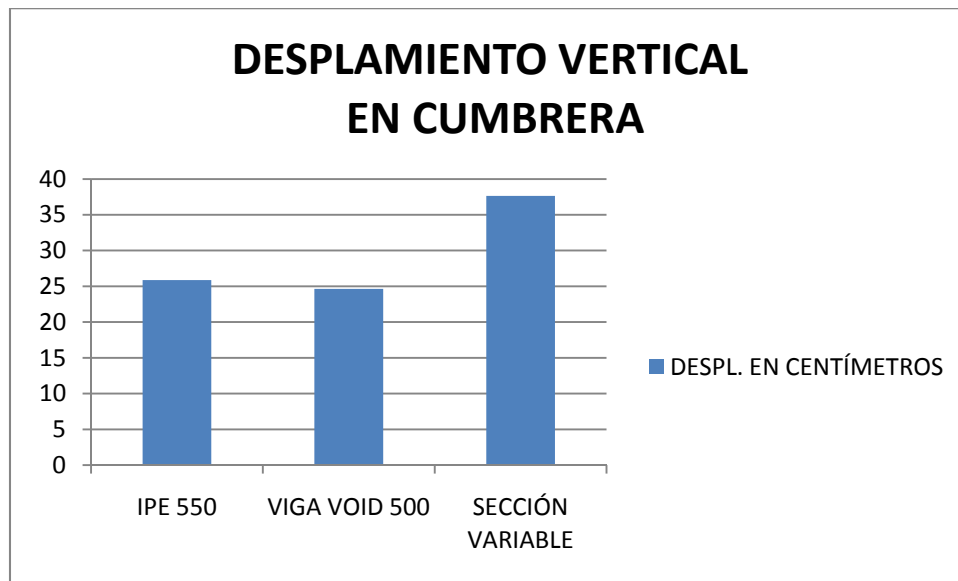
VIGA CELOSÍA* Para esta luz el diseño de viga de celosía que estamos estudiando no es capaz de aguantar la tensión.

En la tabla podemos ver cómo se van produciendo diferencias sobre todo en desplazamiento en cubrera y el peso total de la estructura.

En cuanto a las tensiones o grado de aprovechamiento del perfil, se ha intentado que en cada uno de los pórticos estos valores sean máximos, por tanto la diferencia entre los mismos es muy pequeña. Atendiendo a la tabla, el tipo de pórtico que tiene un grado de aprovechamiento más alto es el de Sección Variable, pero si atendemos al estudio de los pórticos realizados anteriormente, vemos que el mejor reparto de tensiones y más uniforme se produce en el pórtico de viga Void, siendo éste el que mejor aprovechamiento general tiene.

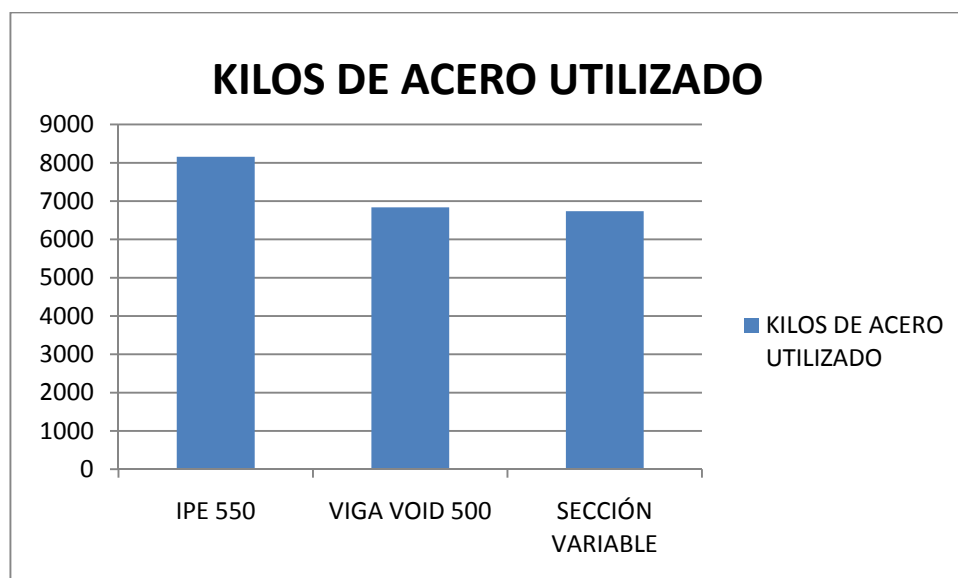


Gráfica 1. Desplazamiento vertical en función del tipo de pórtico



El desplazamiento vertical producido en la cumbrera para el pórtico de Viga Void y para el IPE son muy similares como podemos apreciar en el gráfico anterior, estando entre 24 y 25cm. Como viene siendo habitual el pórtico de Sección Variable es en el que más desplazamiento se produce estando éste en torno a 37 cm.

Gráfica 2. Kilos de acero en función del tipo de pórtico



El pórtico IPE, como podemos apreciar en la gráfica, es el más pesado de todos con 8156,88 Kg, la diferencia con respecto a Void y Sección Variable



es de al menos 1350 kg más. Debido a esto vamos a descartar esta opción como diseño a elegir. Para esta luz la solución a elegir está entre Void y Sección Variable. Si atendemos a la tabla vemos que la diferencia de peso entre ambos diseños es de 100 kg, siendo el tipo Sección Variable el más ligero de los dos.

Tras lo comentado anteriormente y según el estudio realizado, el diseño Viga Void es el que mejor aprovechamiento de perfiles tiene de entre todos los diseños estudiados y en el que menos desplazamiento vertical en cumbrera se produce. Por tanto, a nivel de optimización de perfiles, sería la solución a elegir, sin embargo no es mi decisión final, ya que el coste de fabricación de este diseño es muy superior al de sección Variable y siendo la diferencia de peso entre ambos de tan solo 100 kg y aunque el desplazamiento vertical sea mayor y el reparto de tensiones no sea tan uniforme yo elegiría como solución final el diseño de sección Variable.



CONCLUSIONES

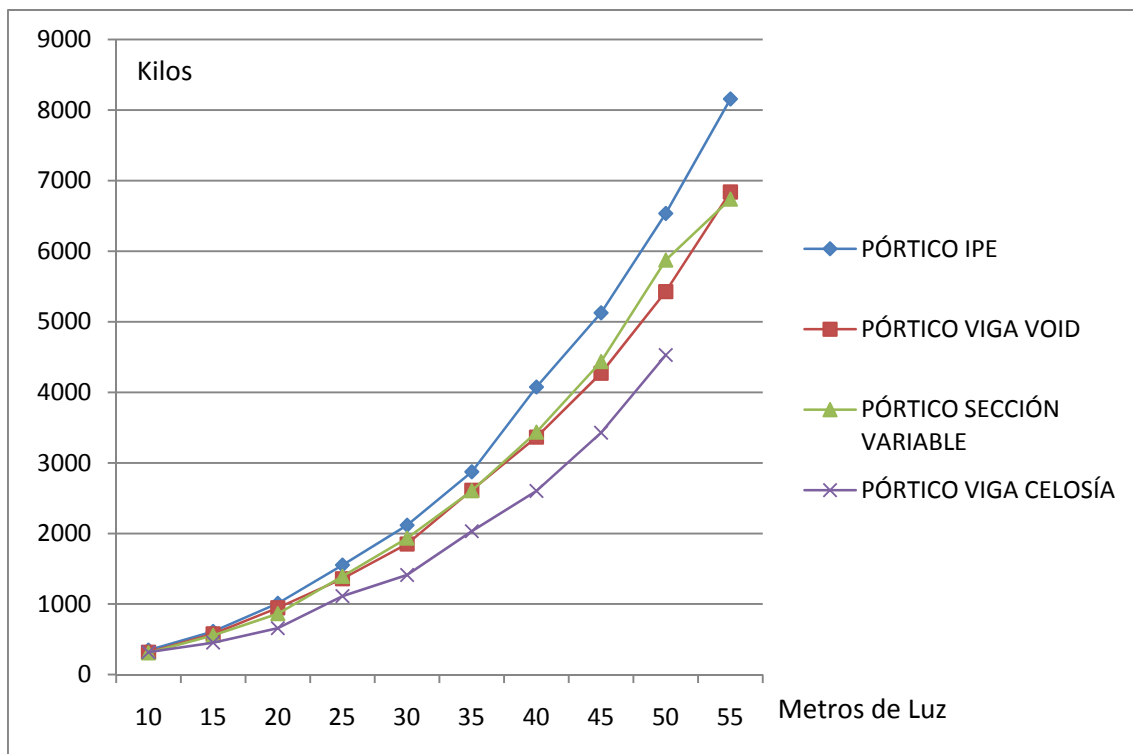


CONCLUSIONES

Para la culminación de este estudio se procede al desarrollo de una serie de gráficas en las cuales se representa una comparación para cada luz, de cada uno de los diseños estudiados.

En la gráfica que vemos a continuación se representa para cada pórtico, el peso total de la estructura en las diferentes luces estudiadas. A groso modo según vemos en la gráfica el pórtico que más pesa es el formado íntegramente por perfiles IPE y el más ligero es el formado por viga de Celosía y pilares IPE. El peso de los diseños de viga Void y sección Variable es muy similar, encontrándose de manera intermedia entre los comentados anteriormente.

Gráfica 1. Peso total de cada tipo de pórtico en función de la luz



Si nos fijamos un poco más a fondo vemos como la diferencia de peso entre el pórtico formado por perfiles IPE y el de viga de celosía es muy baja para 10 y 15 metros de luz, con lo cual la solución de viga de Celosía no es la mejor, puesto que el **Pórtico IPE** es más fácil de montar en obra, por lo tanto menos costoso, y como hemos dicho la diferencia de peso es mínima. A partir de los 20 metros y hasta los 40 metros de luz, la diferencia de peso se va

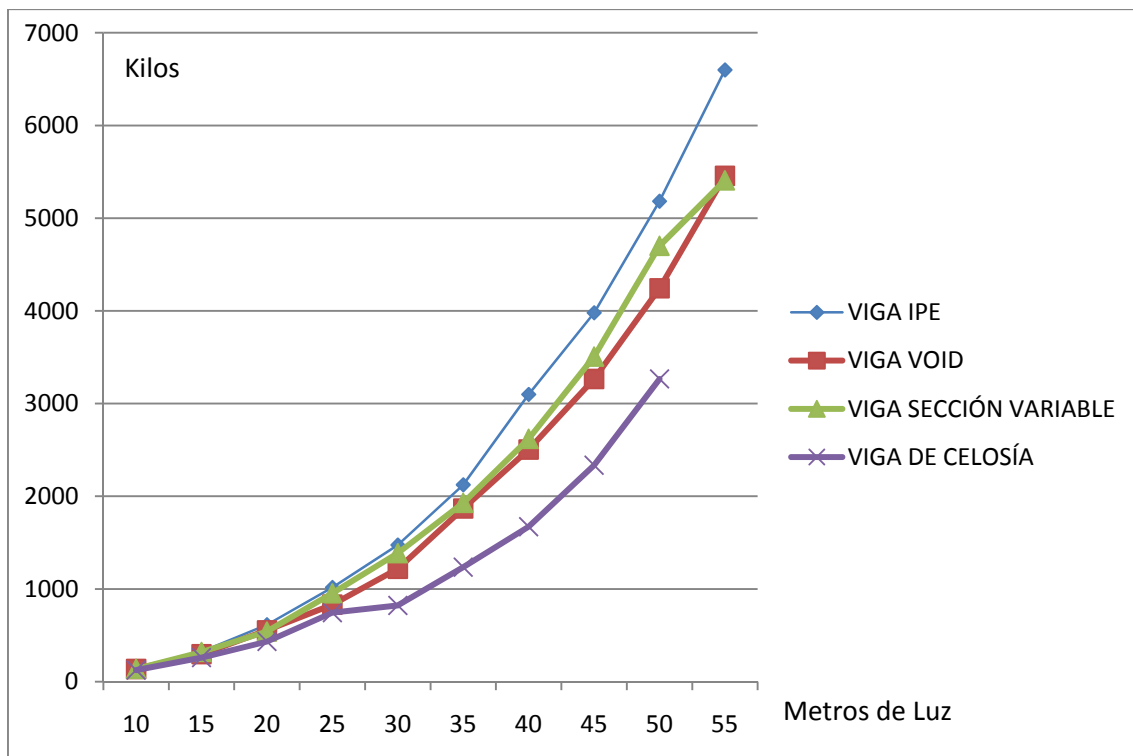


haciendo cada vez mayor entre el pórtico IPE y el de viga de celosía, siendo la solución IPE la más pesada de todas. La diferencia de dicho peso entre Viga de Celosía y pórticos de Sección Variable y Viga Void no es tan grande como para plantearnos como solución más optima ninguna de ambas, por tanto para tal intervalo de luces la mejor solución en cuanto a peso y desplazamiento vertical en cumbrera (se comentará más adelante) es la solución de **Viga de celosía**. Para las luces de 45, 50 y 55 metros, el hecho de utilizar el pórtico de Viga de Celosía crea una gran incertidumbre por parte del diseñador, debido al uso que el propietario pueda hacer de él ya que el pórtico está diseñado para soportar la carga ligera de la cubierta y las cargas adicionales como viento, nieve, peso propio y sobre carga de uso. Pero esta sobrecarga de uso es solo y exclusivamente para mantenimiento de cubierta no pudiendo en ningún caso colgar maquinarias ni mobiliario en dicha celosía. Debido a esta situación se ha rechazado la opción de elegir este diseño como solución más optima. De entre las dos posibilidades que nos quedan pórtico de sección Variable y Viga Void como podemos apreciar en la gráfica ambas curvas se desplazan de manera casi simultánea. Para elegir la solución más adecuada en este caso, es necesario recurrir al estudio realizado para la distribución de tensiones y a los desplazamientos producidos en la cumbrera de la estructura. Según el estudio realizado la distribución de tensiones en el pórtico Viga Void es más constante, mayor y uniforme que la distribución en el pórtico de Sección Variable. Además, el desplazamiento vertical que se produce en la cumbrera en la viga Void es mucho menor que el producido en el pórtico de sección Variable (el cual se comentará más adelante). Atendiendo a todo lo comentado anteriormente, la solución más optima a nivel de características mecánicas es el pórtico de **Viga Void**, lo cual no quiere decir que sea la más económica ya que según empresa experta los coste de fabricación de viga void son muy superiores a los del pórtico de sección variable.

A continuación vamos a comentar una gráfica muy similar a la anterior en la que las variables son iguales y lo único que cambia es que se ha suprimido el peso de los pilares para hacer una comparación más exacta de los perfiles en los que realmente se nota el cambio de diseño. Como ya todos sabemos, todos los pilares de todos los diseños excepto del pórtico de sección variable son perfiles IPE con refuerzos en los nudos, por tanto si queremos saber una comparación más exacta entre los diferentes tipos de diseños es mejor que esta comparación se realice solo con las vigas de los pórticos ya que los pilares son común a todos.



Gráfica 2. Peso total de cada tipo de viga en función de la luz

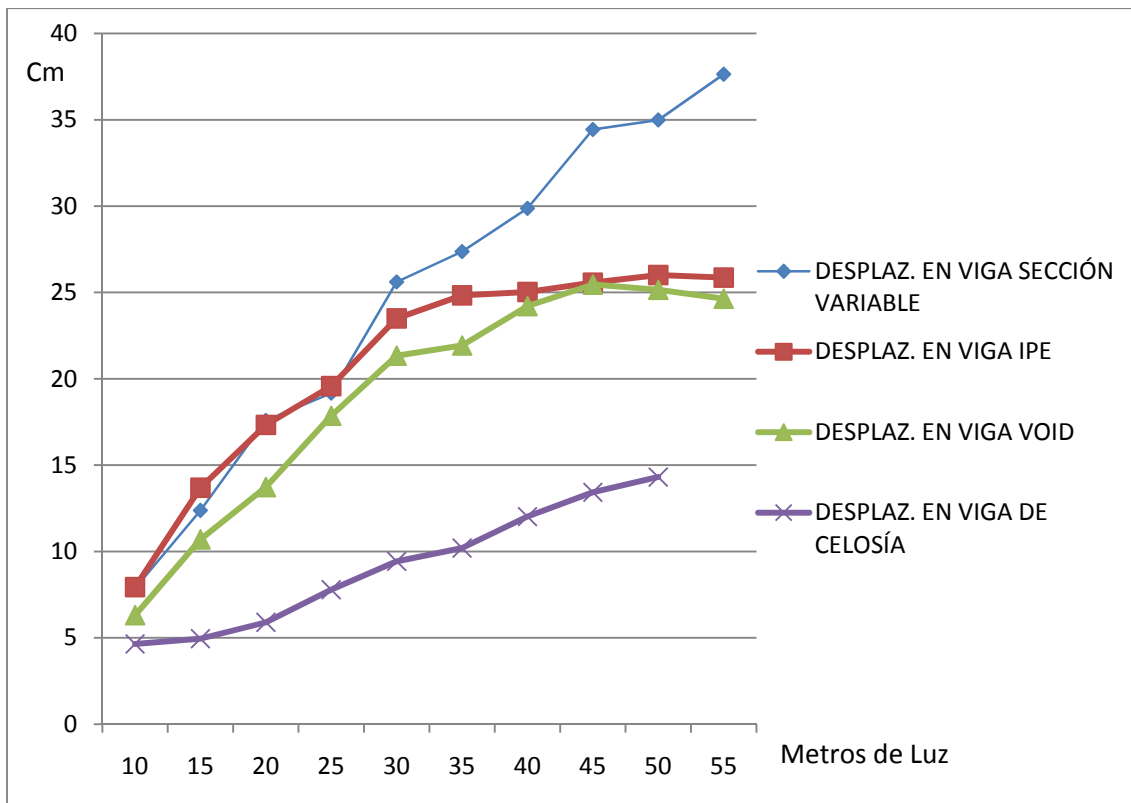


El hecho de suprimir el peso de los pilares y representar en la gráfica solo las vigas no ha supuesto un cambio considerable en dicha gráfica, quedando ésta muy similar a la anterior.



En la gráfica que vemos a continuación se representa una comparación entre los diferentes diseños para el desplazamiento producido en la cumbrera de cada estructura estudiada.

Gráfica 3. Desplazamiento vertical en cumbrera de cada uno de los pórticos en función de la luz



Como podemos apreciar los desplazamientos que sufre el diseño de viga de celosía son los menores de todas las tipologías estudiadas y por el contrario el diseño de sección Variable es en el que se produce unos desplazamientos más grandes. El desplazamiento producido en el pórtico IPE es siempre ligeramente superior al producido en el diseño de Viga Void, esto tiene su lógica ya que el alma de la viga Void es en todos los casos superior al alma del IPE utilizado para cada luz. También es de comentar que ambas tipologías tienen curvas muy similares. Para el diseño de sección variable la curva es similar a la del diseño IPE desde los 10 hasta los 25 metros de luz, a partir de esta luz, el desplazamiento producido en la cumbrera para el pórtico de sección variable va aumentando superando incluso los 35 centímetros para los 50 metros de luz. Una vez realizada esta gráfica me da que pensar que el diseño utilizado para dicho pórtico quizás hubiera tenido que cambiar en longitudes de barras o espesores de los perfiles a partir de los 30 metros de luz para intentar conseguir unos desplazamientos más pequeños.



POSIBLES CAMPOS O RAMAS PARA COMPLETAR ESTE ESTUDIO

- Se podrían añadir otro tipo de diseño que según me han comentado es bastante efectivo como es el caso de utilizar directamente perfiles IPE aligerados, realizando perforaciones en el alma de los mismos.
- Se podría indagar de manera profunda en los costes de fabricación reales que supondría cada diseño estudiado en este proyecto para así optimizar desde el punto de vista económico la mejor solución.
- La aplicación del Análisis por componentes principales (Reduced-basic method) al estudio realizado.
- Después de las conclusiones sacadas del estudio realizado sabemos que el diseño de Viga de Celosía es de los más efectivos y ligeros, por tanto se podría plantear como otra solución a estudiar la que vemos a continuación:

