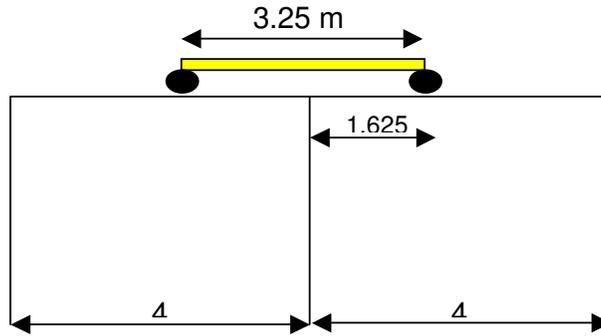


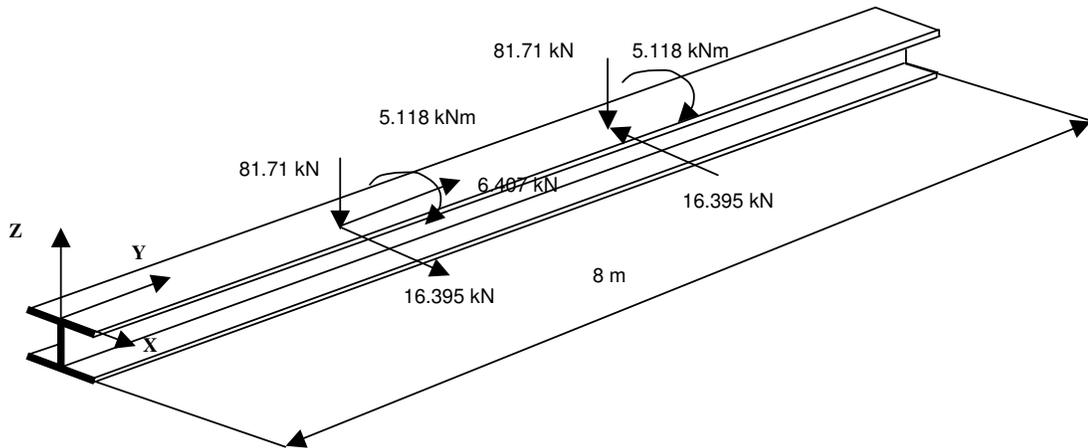
7.4.2. Cálculo de la viga carrilera.

7.4.2.1. Caso A.

Se presenta aquí la condición en que el puente-grúa presenta el tren de cargas a una distancia de 1,625 m a la derecha del pilar central.



Esta condición lleva al cálculo de una viga de dos vanos apoyada con los esfuerzos producidos por el puente-grúa y calculados previamente, tal y como se muestra en la figura adjunta.



El cálculo de esta viga en el módulo METAL3D de CYPECAD se realiza con las siguientes condiciones:

- Viga continua de 8 metros de largo apoyada de dos vanos.
- Los apoyos tienen los siguientes movimientos y giros impedidos:
 - Movimiento según ejes X, Y y Z.
 - Giro según Y.
- Las acciones a las que está sometida la viga:
 - Peso propio de la viga carrilera.
 - Acciones del puente grúa, según el esquema anterior.
- Criterio de flecha máxima: $L/500$ en ambos sentidos.
- Para el cálculo de las longitudes de pandeo se considera el coeficiente de esbeltez, según el apartado 3.2.4.1 de EA-95 para una pieza biarticulada, de valor 1.
- Para el pandeo lateral, la distancia de arriostramiento del ala se toma igual a la longitud de la viga. Coeficiente de momentos igual a 1.

Criterios de selección:

- Peso mínimo.
- Porcentajes de aprovechamiento para tensión y flecha máximos.

Finalmente se obtiene para la viga carrilera:

Tipo de perfil	Tensión de aprovechamiento	Flecha de aprovechamiento
IPN 400	No cumple	No cumple
IPN 450	98.11 %	76 %

Con las siguientes tensiones y esfuerzos máximos en ejes locales de las barras:

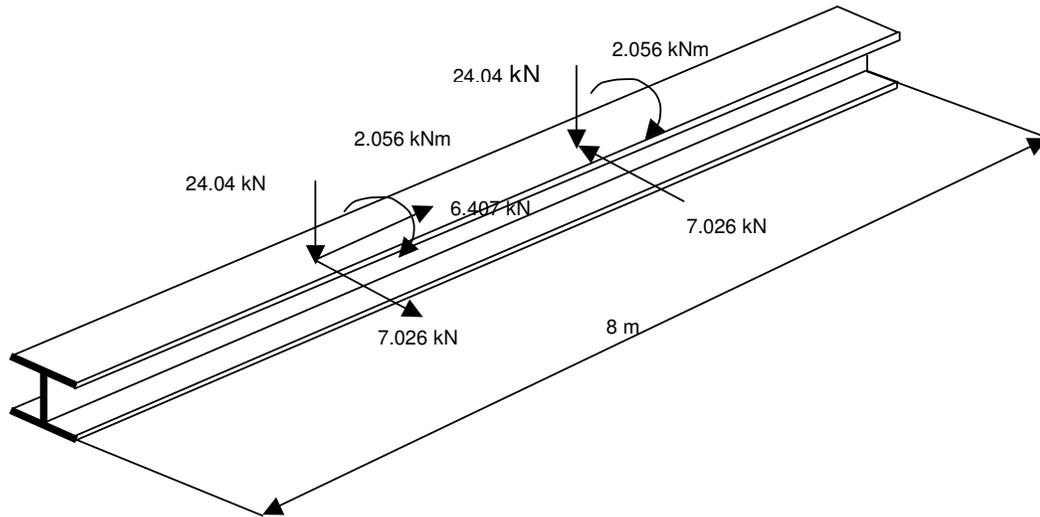
BARRA	σ (MPa)	POS(m)	N(kN)	Ty(kN)	Tz(kN)	Mt(kN·m)	My(kN·m)	Mz(kN·m)
1-2	250.2421	2.4	-5.67	14.51	95.73	4.53	62.41	23.21
2-3	249.4774	1.6	0	14.51	-95.73	4.53	62.41	-23.21

Las reacciones que se producen en cada uno de los pilares se resumen en el siguiente cuadro:

ESFUERZO	PILAR A	PILAR B	PILAR C
R_x (kN)	-10.083	0	10.083
R_y (kN)	-3.940	-5.67	0
R_z (kN)	29.262	194.698	29.262
M_x (kNm)	0	0	0
M_y (kNm)	-3.148	-9.059	-3.148
M_z (kNm)	0	0	0

Estos esfuerzos han sido calculados suponiendo los esfuerzos máximos que el puente grúa transmite a la estructura. Estos se obtienen de suponer que el puente grúa está en las máximas condiciones de carga y situado lo más próximo posible a una de las vigas carrilera. Para continuar en el diseño del pórtico es necesario conocer las reacciones del puente grúa en la otra viga carrilera, es decir, la del pilar opuesto del pórtico. Allí la grúa está cargada en las máximas condiciones, pero lo más alejada posible de ese lateral de la nave.

En este caso las cargas, que también han sido calculadas previamente son:

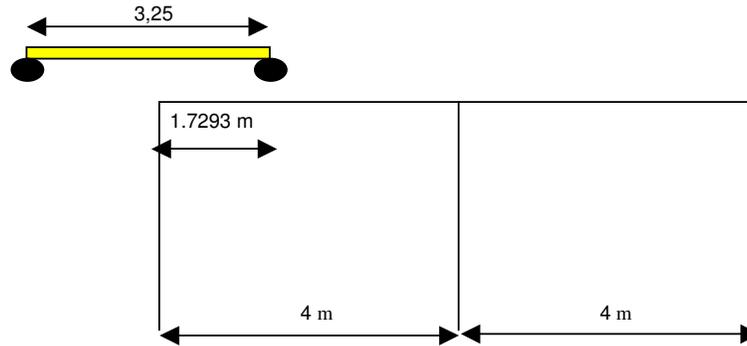


Las reacciones que se producen en cada uno de los pilares se resumen en el siguiente cuadro:

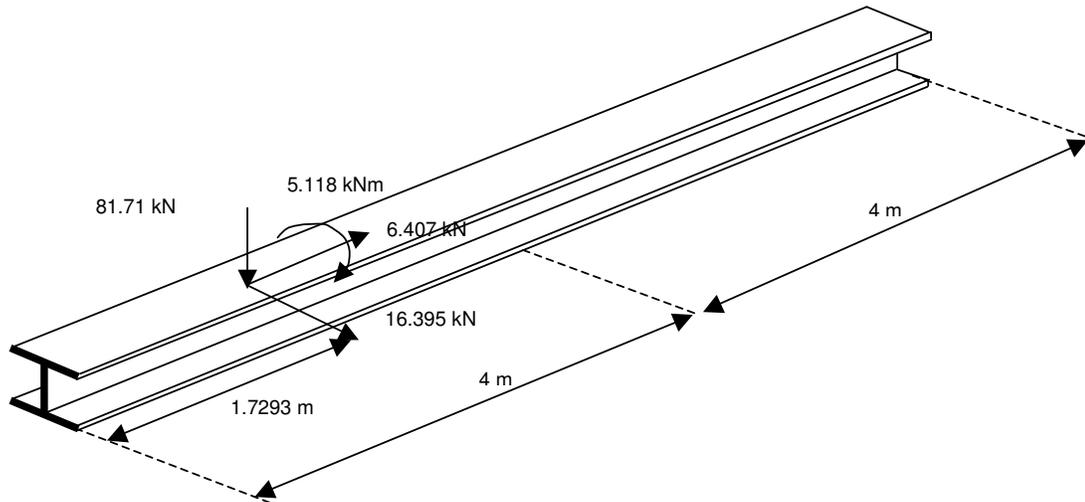
ESFUERZO	PILAR A'	PILAR B'	PILAR C'
R_x (kN)	-4.321	0	4.321
R_y (kN)	-3.940	-5.67	0
R_z (kN)	9.695	60.876	9.695
M_x (kN·m)	0	0	0
M_y (kN·m)	-1.264	-0.531	0.895
M_z (kN·m)	0	0	0

7.4.2.2. Caso B

En este caso el punto de máximos esfuerzos para M_x se halla a 1,7293 metros a la derecha de A.



Las acciones quedan representadas de la siguiente forma:



Finalmente se obtiene para la viga carrilera:

Tipo de perfil	Tensión de aprovechamiento	Flecha de aprovechamiento
IPN 400	No cumple	No cumple
IPN 450	95.69 %	57.37 %

Con las siguientes tensiones y esfuerzos máximos en ejes locales de las barras:

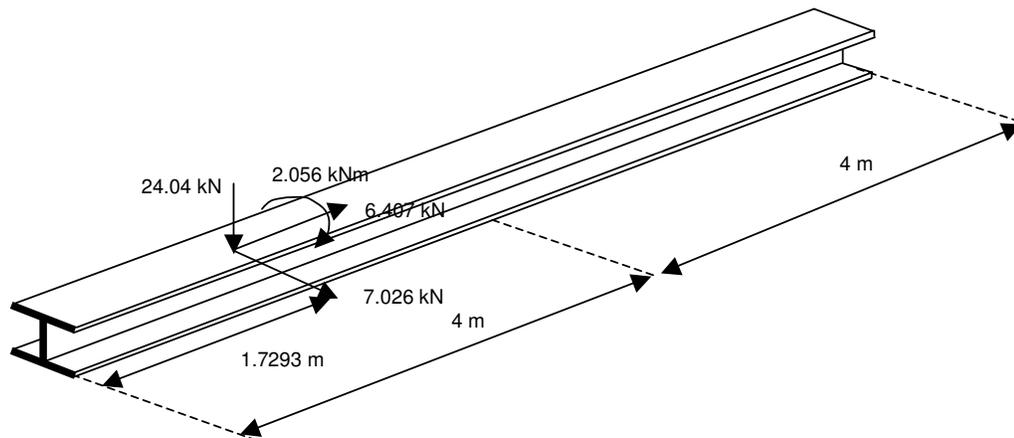
BARRA	σ (MPa)	POS(m)	N(kN)	Ty(kN)	Tz(kN)	Mt(kN·m)	My(kN·m)	Mz(kN·m)
1-2	244.057	1.6	5.478	-11.86	-59.52	4.376	96.524	18.987
2-3	77.323	0	0	-2.15	-12.77	0	-42.99	-8.6

Las reacciones que se producen en cada uno de los pilares se resumen en el siguiente cuadro:

ESFUERZO	PILAR A	PILAR B	PILAR C
R_x (kN)	-11.687	-14.876	2.151
R_y (kN)	-5.478	-4.133	0
R_z (kN)	61.137	78.248	-8.725
M_x (kN·m)	0	0	0
M_y (kN·m)	-4.376	-3.301	0
M_z (kN·m)	0	0	0

Por lo tanto el perfil IPE-450 es también el óptimo en estas condiciones.

En este caso, para la viga carrilera en el otro extremo:



Con las siguientes tensiones y esfuerzos máximos en ejes locales de las barras:

BARRA	σ (MPa)	POS(m)	N(kN)	Ty(kN)	Tz(kN)	Mt(kN·m)	My(kN·m)	Mz(kN·m)
1-2	95.337	1.6	5.478	-5.085	-17.45	1.7579	29.22	8.137
2-3	77.323	0	0	-0.921	-5.527	0	-14.013	-3.686

Las reacciones que se producen en cada uno de los pilares se resumen en el siguiente cuadro:

ESFUERZO	PILAR A'	PILAR B'	PILAR C'
R _x (kN)	-5.086	-6.375	0.922
R _y (kN)	-5.478	-4.133	0
R _z (kN)	19.072	26.558	-1.480
M _x (kN·m)	0	0	0
M _y (kN·m)	-1.758	-1.326	0
M _z (kN·m)	0	0	0

Comparando la pareja de esfuerzos B y B', en el caso A y en el caso B, se comprueba que el caso A es el más desfavorable de los dos. Si bien la estructura se diseñará frente al caso A, se comprobará que cumple también frente a las condiciones del caso B.

7.4.3. Pórtico frontal.

El cálculo del pórtico frontal se divide en el cálculo de las correas de cubierta y de las correas laterales y el cálculo del pórtico propiamente dicho.

Existen dos tipos de pórticos frontales:

- Pórtico central.
- Pórtico extremo.

Se calculará primero el pórtico central y posteriormente el pórtico extremo.

Como se ha explicado el cálculo de las correas se efectúa con el programa de cálculo de estructuras CYPE, módulo generador de pórticos.

7.4.3.1. Cálculo de las cargas sobre el tejado de la construcción.

Estas cargas se determinan según la norma AE-88, Acciones sobre la Edificación. Son las siguientes:

- Cargas de viento.

Altura de coronación del edificio: 14 m.

Ángulo de inclinación: 11,31°.

Para esa altura la presión dinámica del viento para una superficie expuesta es:

$$w = 100 \frac{kg}{m^2}$$
$$p = c \cdot w = c \cdot 100 \frac{kg}{m^2}$$

Donde c es el coeficiente eólico. El valor se obtiene extrapolando de la tabla 5.2 de la norma AE-88. Finalmente:

$$p = -0,29 \cdot 100 \frac{kg}{m^2}$$

Con el valor de la presión dinámica y el área expuesta en cada caso se calculan la distribución de cargas que genera el viento sobre cada uno de los soportes y de las vigas.

- Cargas del forjado.

MATERIAL	PESO (kg/m ²)
Chapa	5,74
Capa Impermeable	5,00
Aislante	1,50
TOTAL	~13

- Cargas de nieve.

Según la tabla 4.1 de la norma AE-88:

ALTURA (m)	PESO (kg/m ²)
0 a 200	40

Pendiente del tejado $\alpha = 11,31^\circ < 60^\circ$.
Separación entre pórticos es igual a 4 metros.

$$\text{Área} = \text{ancho} \cdot \text{alto} = 1\text{ m} \cdot 4\text{ m}$$

- Coeficientes de mayoración:

Mayorando cada una de las cargas exteriores por el coeficiente correspondiente según la norma EA-95 capítulo 3.

Los coeficientes usados son:

Sobrecarga del forjado y peso propio	1.33
Sobrecarga de nieve	1.50
Sobrecarga de viento	0

La sobrecarga de viento no se considera al ser un efecto favorable.

7.4.3.2. Diseño de las correas.

Hipótesis de cálculo:

- Separación entre pórticos: 4 m.
- Separación entre correas: 1 m.

- Una separación de correas mayor no permitirá posteriormente que se asimilen las cargas puntuales a una distribución uniforme.
- Tipo de fijación: por gancho.
 - En este caso, la cubierta se supone infinitamente rígida en su plano, y por tanto, las correas sólo soportan la flexión en el plano normal a la cubierta.
- Dos vanos.
- Criterio de flecha máxima: $L/500$.
- Válido para cerramiento en cubierta y cerramiento lateral.

Criterios de selección:

- Peso mínimo.
- Porcentajes de aprovechamiento para tensión y flecha máximos.
- Mismo perfil para cerramiento de cubierta y lateral.

Para el cerramiento de cubierta:

Tipo de perfil	Tensión de aprovechamiento	Flecha de aprovechamiento	Peso (kN/m^2)
IPN 80	46.48 %	63.66 %	0.058
IPN 100	28.81 %	29.96 %	0.081
80X40X3	61.09 %	97.02 %	0.050
80x60x3	44.58 %	72.80 %	0.059
100x50x3	36.54 %	48.28 %	0.063
100x60x4	27.06 %	34.92 %	0.089

Para el cerramiento de lateral:

Tipo de perfil	Tensión de aprovechamiento	Flecha de aprovechamiento	Peso (kN/m^2)
IPN 80	No cumple	No cumple	
IPN 100	22.64 %	32.06 %	0.081
80X40X3	No cumple	No cumple	
80x60x3	No cumple	No cumple	
100x50x3	No cumple	No cumple	
100x60x4	28.69 %	36.92 %	0.089

Se selecciona finalmente IPN 100.

7.4.3.3. Diseño del pórtico frontal.

Este apartado trata del diseño del primero de los pórticos.

Hipótesis de cálculo:

- Se efectuará un diseño previo con distancia de separación entre pilares de 20 m. Esto se debe corregir posteriormente, dado que la distancia entre ruedas del puente grúa es de 20 metros y, por lo tanto, la distancia entre los pilares debe ser algo mayor.
- Altura de los pilares: 12 m.
- Pendiente de la cubierta: $11,31^\circ$.
- Criterio de flecha máxima: $L/500$.
- Cálculo aproximado de las longitudes de pandeo en planos x-y y x-z, considerando la estructura en el plano x-y -perpendicular al plano del pórtico- como traslacional y en el plano x-z -plano del pórtico- como traslacional
- Coeficientes de momentos para pandeo lateral y distancias de arriostramiento según descritos en la tabla de más abajo.
- Nudos empotrados.

Cargas de cálculo:

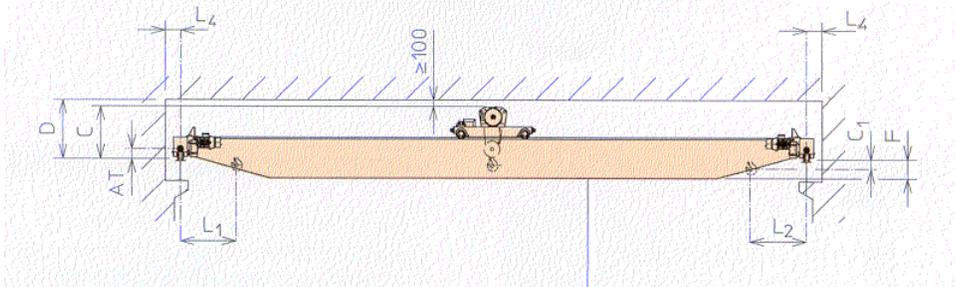
- Peso propio.
- Acciones de viento y nieve.
- Acciones sísmicas según NCSE-94.
- Acciones de sobrecarga: efecto de la grúa según el caso A para el cálculo de la viga carrilera, visto más arriba.

Criterios de selección:

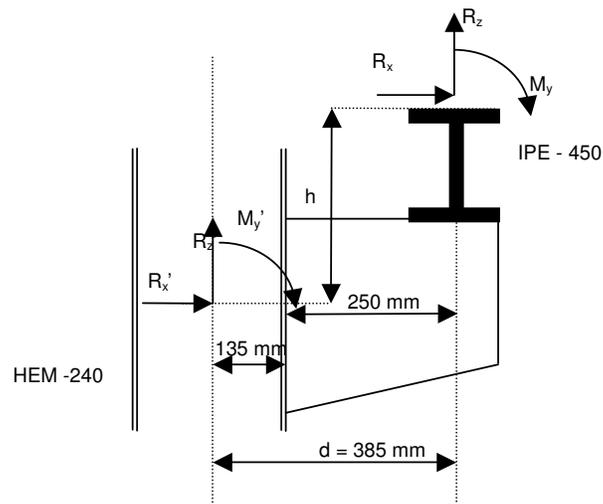
- Peso mínimo.
- Porcentajes de aprovechamiento para tensión y flecha máximos.
- Cumplimiento de los criterios de resistencia, esbeltez y flecha.

Tras ejecutar el programa con los datos indicados, se comprueba que para cumplir el criterio de esbeltez es necesario usar un perfil especial. Para el pilar se usará un perfil HEM-240 doble en cajón soldado con cordón continuo. Para el dintel se usará un perfil HEM-280 con platabandas laterales de 10 mm con soldadura continua.

Tras el diseño previo, se ajusta el cálculo de la distancia entre pilares teniendo en cuenta la distancia L4 definida más abajo y que para esta grúa es de 250 mm.



El ancho del pilar HEM 240 es de 270 mm, por lo tanto la diferencia entre el eje del pilar y el eje de la viga carrilera es de 385 mm.



Asimismo se trasladan las reacciones de la viga carrilera al pilar, teniendo en cuenta el momento adicional que crean estas cargas. Las ecuaciones son:

$$R'_x = R_x$$

$$R'_y = R_y$$

$$R'_z = R_z$$

$$M'_x = M_x - R_y \cdot h$$

$$M'_y = M_y + R_x \cdot h - R_z \cdot d$$

$$M'_z = M_z + R_y \cdot d$$

Para h se tomará el valor 0.45 m para un IPE 450 y para d el valor es de 0.385 m. Dado que M' es dependiente del tipo de viga carrilera utilizado, deberá ser

ajustado en cada situación convenientemente. En el caso del valor d ocurre lo mismo. No se incluye el diseño del elemento soporte de la viga carrilera.

Las reacciones en los pilares pasan a ser tras el traslado de cargas:

Carril A:

ESFUERZO	PILAR A	PILAR B	PILAR C
R_x (kN)	-10.083	0.000	10.083
R_y (kN)	-3.940	-5.670	0.000
R_z (kN)	29.262	194.698	29.262
M_x (kNm)	1.773	2.552	0.000
M_y (kNm)	-9.877	-84.018	-18.951
M_z (kNm)	11.266	74.959	11.266

Carril B:

ESFUERZO	PILAR A'	PILAR B'	PILAR C'
R_x (kN)	-4.321	0.000	4.321
R_y (kN)	-3.940	-5.670	0.000
R_z (kN)	9.695	60.876	9.695
M_x (kN·m)	1.773	2.552	0.000
M_y (kN·m)	-3.052	-23.968	-4.782
M_z (kN·m)	3.733	23.437	3.733

Tras reintroducir las nuevas dimensiones de diseño y la nuevas cargas, el cálculo indica que el pilar HEM-240 doble con cajón soldado es insuficiente en la parte superior del pilar izquierdo. El cálculo se repite con el HEM-320, con el uso previo de las ecuaciones de más arriba. El valor de d es ahora de 420 mm y los nuevos esfuerzos son:

Carril A:

ESFUERZO	PILAR A	PILAR B	PILAR C
R_x (kN)	-10.083	0.000	10.083
R_y (kN)	-3.940	-5.670	0.000
R_z (kN)	29.262	194.698	29.262
M_x (kNm)	1.773	2.552	0.000
M_y (kNm)	-10.901	-90.832	-19.975
M_z (kNm)	12.290	81.773	12.290

Carril B:

ESFUERZO	PILAR A'	PILAR B'	PILAR C'
R_x (kN)	-4.321	0.000	4.321
R_y (kN)	-3.940	-5.670	0.000
R_z (kN)	9.695	60.876	9.695
M_x (kN·m)	1.773	2.552	0.000
M_y (kN·m)	-3.391	-26.099	-5.121
M_z (kN·m)	4.072	25.568	4.072

Para los pilares:

Tipo de perfil	Tensión de aprovechamiento
HEM-320 doble en cajón soldado	78.23 %

Para los dinteles:

Tipo de perfil	Tensión de aprovechamiento
HEM-240 con platabandas laterales de 10 mm	79.44 %

Cuadro de datos de cálculo relativos a los elementos de la estructura:

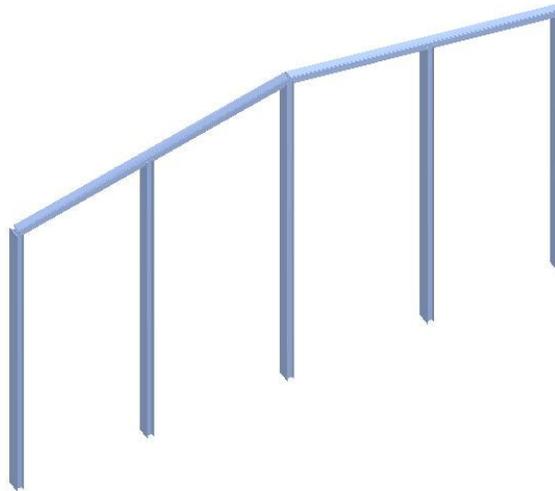
Elemento barra	Pilar Izquierdo Inferior	Pilar Izquierdo Superior	Pilar Derecho Inferior	Pilar Derecho Superior	Dintel Izquierdo	Dintel Derecho
Longitud	10	2	10	2	10.61	10.61
Tipo de perfil	HEM-320 doble en cajón soldado	HEM-240 con platabandas laterales de 10 mm	HEM-240 con platabandas laterales de 10 mm			
Coefficiente de pandeo en xy	2	4.91	2	4.91	1.45	1.45
Coefficiente de pandeo en xz	2	6.14	2	6.14	1.47	1.47

Coeficiente momento ala superior	1	1	1	1	1	1
Distancia arriostramiento ala superior	10	2	10	2	10.61	10.61
Coeficiente momento ala inferior	1	1	1	1	1	1
Distancia arriostramiento ala inferior	10	2	10	2	10.61	10.61

La distancia entre pilares queda finalmente 20.84 metros.

7.4.3.4. Diseño del pórtico extremo.

Se estudia seguidamente el pórtico final de la nave. Éste formado por pilares y dinteles similares a los anteriores. Se añaden 3 pilares adicionales, uno en el centro y otros dos a cada lado del pilar central, a una distancia de 5.42 metros.



Hipótesis de cálculo para el pórtico extremo:

- Altura de los pilares extremos: 12 m.
- Altura del pilar central: 14m.
- Altura de los pilares intermedios: 12.963 m.
- Pendiente de la cubierta: 11,31°
- Criterio de flecha máxima: L/500.

- Cálculo aproximado de las longitudes de pandeo en planos x-y y x-z, considerando la estructura en el plano x-y -perpendicular al plano del pórtico- como traslacional y en el plano x-z -plano del pórtico- como traslacional.
- Coeficientes de momentos para pandeo lateral y distancias de arriostramiento según descritos en la tabla de más abajo.
- Nudos empotrados.

Cargas de cálculo:

- Peso propio.
- Acciones de viento y nieve. Se incluyen también las acciones del viento frontal.
- Acciones sísmicas según NCSE-94.
- Acciones de sobrecarga: efecto de la grúa según el caso A para el cálculo de la viga carrilera, visto más arriba. Los valores introducidos corresponden a los del pilar A y A', pues son los únicos posibles para el pórtico extremo.

Criterios de selección:

- Peso mínimo.
- Porcentajes de aprovechamiento para tensión y flecha máximos.
- Cumplimiento de los criterios de resistencia, esbeltez y flecha.

Para los pilares de la nave se usará un perfil HEM-320 doble en cajón soldado con cordón continuo. Para el dintel de la nave se usará un perfil HEM-240 con platabandas laterales de 10 mm con soldadura continua.

Para los pilares:

Tipo de perfil	Tensión de aprovechamiento
HEM-320 doble en cajón soldado	53.40 %

Para el dintel:

Tipo de perfil	Tensión de aprovechamiento
HEM-240 con platabandas laterales de 10 mm	11.60 %

Cuadro de datos de cálculo relativos a los elementos de la estructura:

Elemento barra	Pilar Izqdo Inferior	Pilar Izqdo Superior	Pilar Dcho Inferior	Pilar Dcho Superior	Dintel Izquierdo 1	Dintel Izquierdo 2	Dintel Derecho 1	Dintel Derecho 2	Pilar Central Izquierdo	Pilar Central Derecho	Pilar Central
Posición	Nave	Nave	Nave	Nave	Nave	Nave	Nave	Nave	Nave	Nave	Nave
Longitud	10	2	10	2	5.52	5.09	5.52	5.09	13.04	13.04	14
Tipo de perfil	HEM-320 doble en cajón soldado	HEM-240 con platabandas laterales de 10 mm	HEM-320 doble en cajón soldado	HEM-320 doble en cajón soldado	HEM-320 doble en cajón soldado						
Coficiente de pandeo en xy	2	4.01	2	4.01	1.55	1.86	1.55	1.86	1.12	1.05	1.11
Coficiente de pandeo en xz	2	4.49	2	4.49	1.23	1.37	1.23	1.37	1.14	1.14	1.14
Coficiente momento ala superior	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Distancia arriostramiento ala superior	10	2	10	2	5.52	5.09	5.52	5.09	13.04	13.04	14.0
Coficiente momento ala inferior	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Distancia arriostramiento ala inferior	10	2	10	2	5.52	5.09	5.52	5.09	13.04	13.04	14.0

7.4.4. Diseño del pórtico lateral.

Seguidamente se muestran los pasos realizados para el cálculo de los arriostramientos transversales de la nave.

Se usarán dos tipos de arriostramientos transversales:

- Disposición de cruces de San Andrés en determinados pórticos laterales.
- Unión de los pórticos por medio de barras en los vértices superiores.

Los primeros elementos consisten en barras cruzadas que unen las bases de los pilares con los extremos superiores de los pilares. Estas barras no se cortan en el punto de intersección, pues físicamente no están en el mismo plano. Las barras trabajan exclusivamente a tracción, dado que estarán articuladas en las uniones.

Esta disposición deberá soportar los esfuerzos transversales que se producen en la estructura, como el viento frontal que sufre la nave, así como los esfuerzos de frenada que se transmiten del puente-grúa a la estructura.

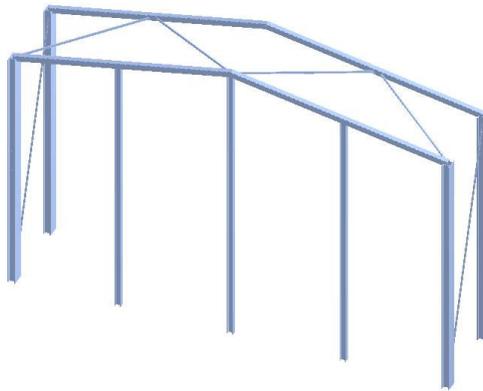
Para simular estas barras se introducen en el programa CYPE dos franjas de arriostramientos, el primer pórtico de la nave y el siguiente. Se colocarán en esta franja sólo aquellos elementos de las cruces que trabajan a tracción.

El motivo de esto son las limitaciones inherentes al programa de cálculo empleado, dado que realmente las dos barras que forman la cruz de San Andrés no se intersectan.

Se comprobará la estructura ante los siguientes esfuerzos:

- Viento Frontal.
- Esfuerzos de frenada de la nave.

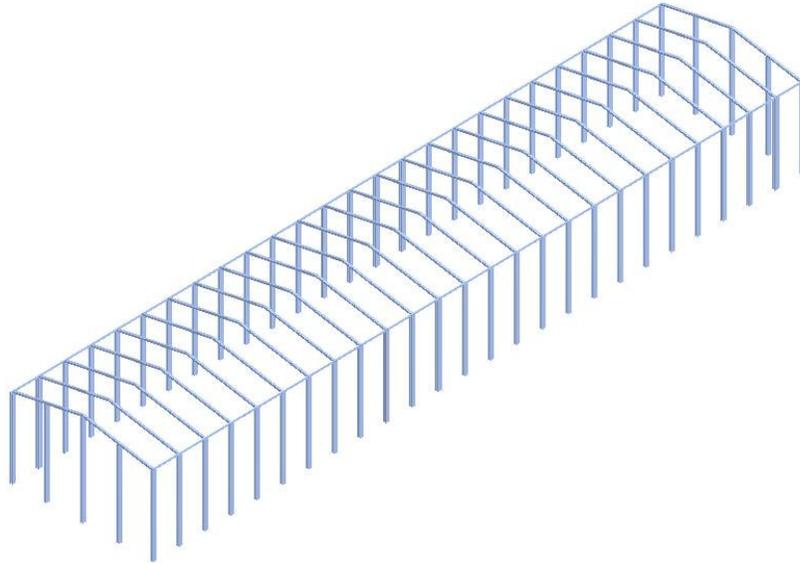
El modelo de cálculo es el que se muestra en la figura adjunta. En ella se ha considerado el vano final de la estructura y tan sólo se han representado aquellas barras de las cruces de San Andrés que trabajan traccionadas.



Tras el cálculo, se obtiene:

Tipo de perfil
IPE 100

En adición a las cruces de San Andrés, los pórticos laterales presentarán sus vértices superiores unidos, mediante barras. En esta imagen se presenta la estructura de la nave en 3D con los arriostramientos laterales entre pórticos. No están representadas en este caso las cruces de San Andrés.



El cálculo de estas barras se ha efectuado teniendo en cuenta toda la estructura - cálculo en 3D-.

Se obtiene para estas barras:

Ubicación	Tipo de perfil
Unión de pórticos de la nave principal	IPE-240