7.4.7. Comprobaciones adicionales.

Como se mencionó en el apartado 7.3.10 la estructura ha sido diseñada con respecto al grupo de cargas 1. Asimismo se justificó que los grupos de cargas 2, 3 y 4 están ya incluidos en el grupo 1, dado que sus valores son iguales o inferiores.

La estructura queda definida momentáneamente como se indica en la tabla adjunta:

PÓRTICO	ELEMENTO ESTRUCTURAL	VIGA
FINAL	PILAR	HEM-320 doble en cajón soldado
FINAL	DINTEL	HEM-240 con platabandas laterales de 10 mm
FINAL	PILAR INTERMEDIO	HEM-320 doble en cajón soldado
INTERMEDIO	PILAR	HEM-320 doble en cajón soldado
INTERMEDIO	DINTEL	HEM-240 con platabandas laterales de 10 mm
LATERAL NAVE PRINCIPAL	UNIONES EN CABEZAS DE PILARES	IPE 240
LATERAL NAVE PRINCIPAL	CRUZ DE SAN ANDRÉS	IPE 100

Otros elementos estructurales:

ZONA	ELEMENTO ESTRUCTURAL	VIGA
CUBIERTA	CORRÉA	IPN 100
CERRAMIENTO LATERAL	CORRÉA	IPN 100
FINAL	VIGA CARRILERA	IPE 450

Se muestra seguidamente la comprobación de la estructura frente a los tipos de cargas 5 a 10.

- Para el caso 5 (efectos de cabeceo el puente grúa):

Carga	Coeficiente
Q_C	Φ_4=1.0
Q_H	Φ_4=1.0
H_S	1.0

El cálculo de las reacciones en la viga carrilera A se obtiene de:

$$R_A = Q_H \cdot \Phi_4 \cdot \left(1 - \left(\frac{e_{min}}{l}\right)\right) + Q_{C,2} \cdot \Phi_4 \cdot \left(1 - \left(\frac{e_{min}}{l}\right)\right) + \frac{Q_{c,1}}{2} \cdot \Phi_4$$

$$R_B = Q_H \cdot \Phi_4 \cdot \left(\frac{e_{min}}{l}\right) + Q_{C,2} \cdot \Phi_4 \cdot \left(\frac{e_{min}}{l}\right) + \frac{Q_{C,1}}{2} \cdot \Phi_4$$

$$R_A = 10000 \cdot 1.0 \cdot \left(1 - \left(\frac{0.91}{20}\right)\right) + 850 \cdot 1.0 \cdot \left(1 - \left(\frac{0.91}{20}\right)\right) + \frac{7840}{2} \cdot 1.0 = 14276\,kp$$

$$R_B = 10000 \cdot 1.0 \cdot \left(\frac{0.91}{20}\right) + 850 \cdot 1.0 \cdot \left(\frac{0.91}{20}\right) + \frac{7840}{2} \cdot 1.0 = 4413.7\,kp$$

Cada rueda transmite a la viga carrilera:

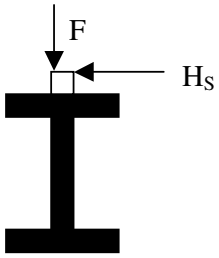
$$Fuerza\ por\ cada\ rueda = \frac{\sum Q_{r,max}}{N°\ de\ ruedas} = \frac{14276\,kp}{2} = 7138\,kp \equiv 70.03kN$$

El torsor que crea esta carga:

$$M_1 = \frac{1}{4} \cdot b_r \cdot F = \frac{1}{4} \cdot 0.05 \cdot 70.03 = 0.876\,kN \cdot m$$

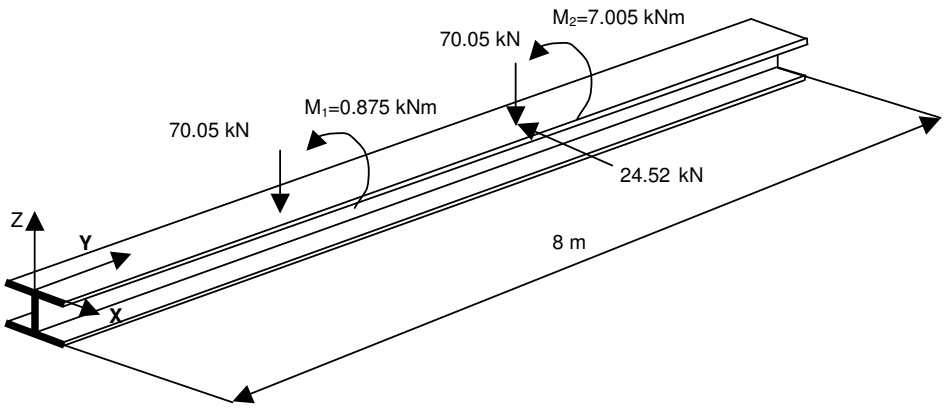
Junto a la carga H_s crea el momento:

$$M_2 = \frac{1}{4} \cdot b_r \cdot F + H_S \cdot \left(\frac{ancho\ perfil}{2} + alto\ carril\right) = \frac{1}{4} \cdot 0.05 \cdot 70.03 + 24.52 \cdot \left(\frac{0.45}{2} + 0.025\right) = 7.005\,kN \cdot m$$



Siendo b_r el ancho del carril de rodadura.

El cálculo de M_2 se ha realizado con el perfil calculado hasta el momento para la viga carrilera, el IPN 450.
En la imagen adjunta se indican los esfuerzos a los que está sometida la viga carrilera A.



El cálculo de la viga carrilera con los esfuerzos indicados arroja que el perfil IPN 450 no es suficiente. Se muestran seguidamente el resumen de las iteraciones efectuadas hasta encontrar el perfil adecuado. Como se desprende la tabla adjunta el valor del momento M_2 ha sido vuelto a calcular dada la dependencia de este valor del ancho de la viga carrilera.

PERFIL	M_2	RESULTADO
IPN 450	7.005 kNm	NO CUMPLE
IPN 500	7.62 kNm	NO CUMPLE
IPN 550	8.23 kNm	CUMPLE

Se presenta en la tabla adjunta, el resumen de esfuerzos que se transmiten a la estructura.

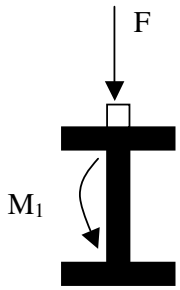
ESFUERZO	PILAR A	PILAR B	PILAR C
R_x (kN)	-3.528	28.756	11.552
R_y (kN)	0	0	0
R_z (kN)	26.180	168.769	26.180
M_x (kNm)	0	0	0
M_y (kNm)	-0.539	6.508	5.061
M_z (kNm)	0	0	0

El cálculo de las reacciones en la viga carrilera B se obtiene de:

$$Fuerza\ por\ cada\ rueda = \frac{\sum Q_{r,max}}{N^{o}\ de\ ruedas} = \frac{4413.7\ kp}{2} = 2206.85\ kp \equiv 21.65\ kN$$

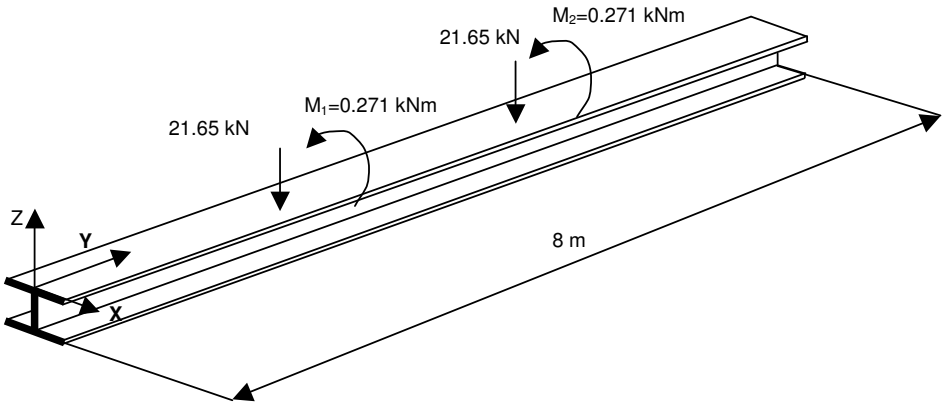
Esta fuerza crea el momento torsor siguiente:

$$M_1 = \frac{1}{4} \cdot b_r \cdot F = \frac{1}{4} \cdot 0.05 \cdot 21.65 = 0.271\,kN \cdot m$$



Siendo b_r el ancho del carril de rodadura.

En la imagen adjunta se indican los esfuerzos a los que está sometida la viga carrilera B.



El cálculo de esta viga se ha efectuado con el perfil IPN 550, cumpliendo todos los criterios.

Se presenta en la tabla adjunta, el resumen de esfuerzos que se transmiten a la estructura.

ESFUERZO	PILAR A'	PILAR B'	PILAR C'
R_x (kN)	0	0	0
R_y (kN)	0	0	0
R_z (kN)	9.542	56.845	9.452

M_x (kNm)	0	0	0
M_y (kNm)	0.167	0.480	0.167
M_z (kNm)	0	0	0

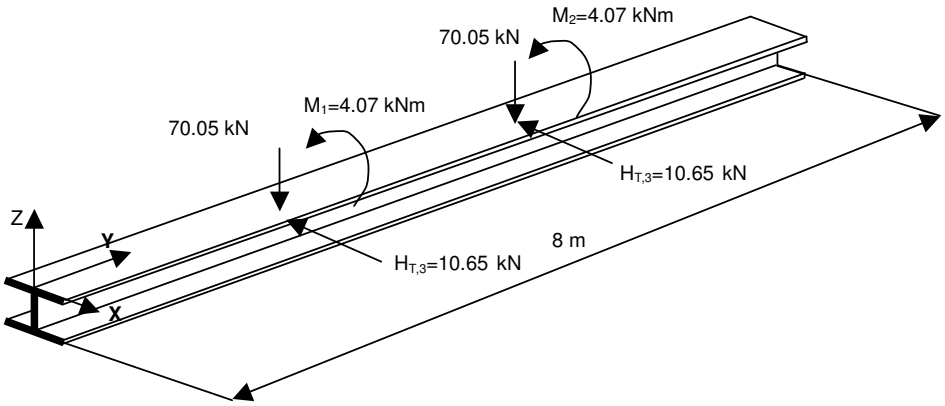
- Para el caso 6 (fuerzas de choque contra los topes del carro polipasto):

Carga	Coeficiente
Q_C	Φ_4=1.0
Q_H	Φ_4=1.0
$H_{T,3}$	1.0

Las reacciones verticales son idénticas a las del caso 5. Los momentos se obtienen del siguiente cálculo:

$$M_1 = M_2 = \frac{1}{4}\cdot b_r \cdot F + H_S \cdot (\frac{ancho\ perfil}{2} + alto\ carril) = \frac{1}{4}\cdot 0.05 \cdot 70.03 + 10.65 \cdot (\frac{0.55}{2} + 0.025) = 4.007\ kN \cdot m$$

Las reacciones sobre la viga carrilera A son:



El perfil IPN 550 cumple todos los criterios de selección.

Se presenta en la tabla adjunta, el resumen de esfuerzos que se transmiten a la estructura.

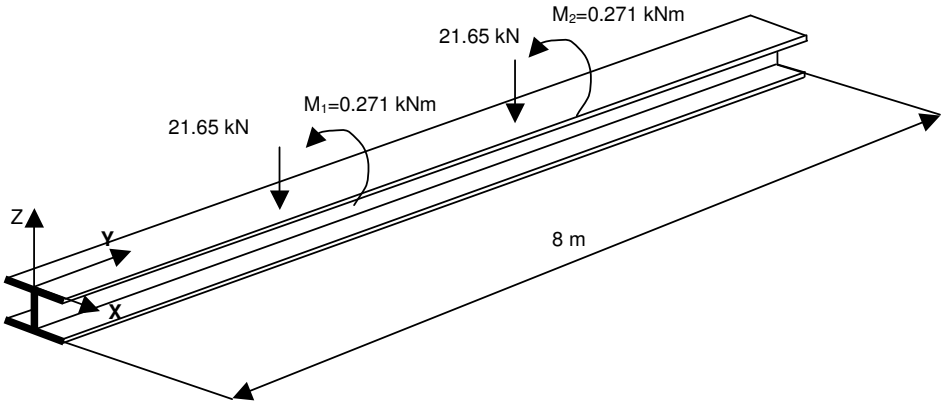
ESFUERZO	PILAR A	PILAR B	PILAR C
R_x (kN)	3.485	24.98	3.485
R_y (kN)	0	0	0
R_z (kN)	26.18	168.769	26.18
M_x (kNm)	0	0	0
M_y (kNm)	2.503	7.204	2.503
M_z (kNm)	0	0	0

Para la viga carrilera B:

Las reacciones verticales son idénticas a las del caso 5. Los momentos se obtienen del siguiente cálculo:

$$M_1 = M_2 = \frac{1}{4} \cdot b_r \cdot F = \frac{1}{4} \cdot 0.05 \cdot 21.65 = 0.271\, kN \cdot m$$

Las reacciones sobre la viga carrilera B son:



El perfil IPN 550 cumple todos los criterios de selección.

Se presenta en la tabla adjunta, el resumen de esfuerzos que se transmiten a la estructura debido a la viga carrilera B.

ESFUERZO	PILAR A'	PILAR B'	PILAR C'
R_x (kN)	0	0	0
R_y (kN)	0	0	0
R_z (kN)	9.542	56.845	9.452
M_x (kNm)	0	0	0
M_y (kNm)	0.167	0.480	0.167
M_z (kNm)	0	0	0

- Para el caso 8 (fuerzas de ensayo estáticas y dinámicas):

Caso estático:

Carga	Coeficiente
Q_C	Φ_6=1.0
Q_H	Φ_6=1.0
Q_T	1.25Q_H

El cálculo de las reacciones en la viga carrilera indica:

$$R_A = 1.25 \cdot Q_H \cdot \Phi_6 \cdot \left(1 - \left(\frac{e_{min}}{l}\right)\right) + Q_{C,2} \cdot \Phi_1 \cdot \left(1 - \left(\frac{e_{min}}{l}\right)\right) + \frac{Q_{c,1}}{2} \cdot \Phi_1$$

$$R_B = 1.25 \cdot Q_H \cdot \Phi_6 \cdot \left(\frac{e_{min}}{l}\right) + Q_{C,2} \cdot \Phi_1 \cdot \left(\frac{e_{min}}{l}\right) + \frac{Q_{C,1}}{2} \cdot \Phi_1$$

$$R_A = 1.25 \cdot 10000 \cdot 1.0 \cdot \left(1 - \left(\frac{0.91}{20}\right)\right) + 850 \cdot 1.1 \cdot \left(1 - \left(\frac{0.91}{20}\right)\right) + \frac{7840}{2} \cdot 1.1 = 17136\,kp$$

$$R_B = 1.25 \cdot 10000 \cdot 1.0 \cdot \left(\frac{0.91}{20}\right) + 850 \cdot 1.1 \cdot \left(\frac{0.91}{20}\right) + \frac{7840}{2} \cdot 1.1 = 4923.3kp$$

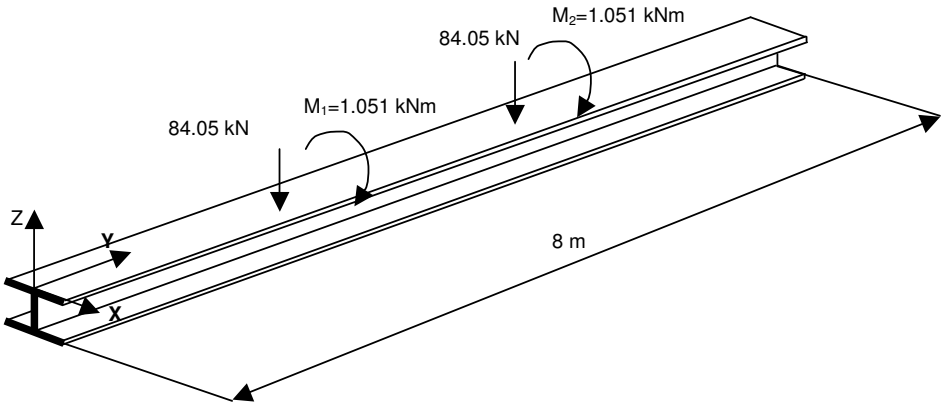
Cada rueda transmite a la viga carrilera A:

$$Fuerza\ por\ cada\ rueda = \frac{\sum Q_{r,max}}{N°\ de\ ruedas} = \frac{17136\,kp}{2} = 8568\,kp \equiv 84.05kN$$

El torsor que crea esta carga:

$$M_1 = \frac{1}{4} \cdot b_r \cdot F = \frac{1}{4} \cdot 0.05 \cdot 84.05 = 1.051\,kN \cdot m$$

Las reacciones sobre la viga carrilera A son:



El perfil IPN 550 cumple todos los criterios de selección.

Se presenta en la tabla adjunta, el resumen de esfuerzos que se transmiten a la estructura.

ESFUERZO	PILAR A	PILAR B	PILAR C
R_x (kN)	0	0	0
R_y (kN)	0	0	0
R_z (kN)	30.993	201.143	30.993
M_x (kNm)	0	0	0
M_y (kNm)	-0.646	-1.86	-0.646
M_z (kNm)	0	0	0

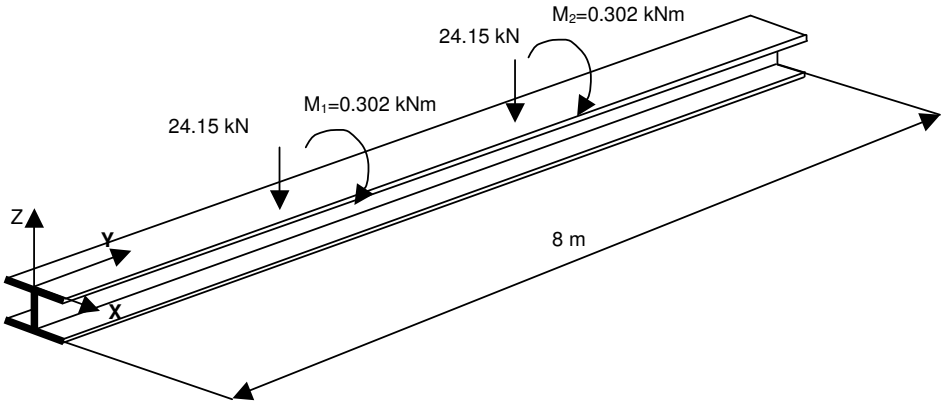
Cada rueda transmite a la viga carrilera B:

$$Fuerza\ por\ cada\ rueda = \frac{\sum Q_{r,max}}{N^{o}\ de\ ruedas} = \frac{4923.3\,kp}{2} = 2461.65\,kp \equiv 24.15kN$$

El torsor que crea esta carga:

$$M_1 = \frac{1}{4} \cdot b_r \cdot F = \frac{1}{4} \cdot 0.05 \cdot 24.15 = 0.302\,kN \cdot m$$

Las reacciones sobre la viga carrilera B son por tanto:



El perfil IPN 550 cumple todos los criterios de selección.

Se presenta en la tabla adjunta, el resumen de esfuerzos que se transmiten a la estructura.

ESFUERZO	PILAR A'	PILAR B'	PILAR C'
R_x (kN)	0	0	0
R_y (kN)	0	0	0
R_z (kN)	10.402	62.626	10.402
M_x (kNm)	0	0	0
M_y (kNm)	-0.186	-0.535	-0.186
M_z (kNm)	0	0	0

Para el caso 8 dinámico, se plantean los siguientes coeficientes:

$$\varphi_1 = 1.1$$
$$\varphi_6 = 1.0 < 1.2 = \varphi_2$$
$$H_L \; y \; H_T \; con \; \varphi_5 = 1.5$$

Este caso es más favorable que el caso 1.

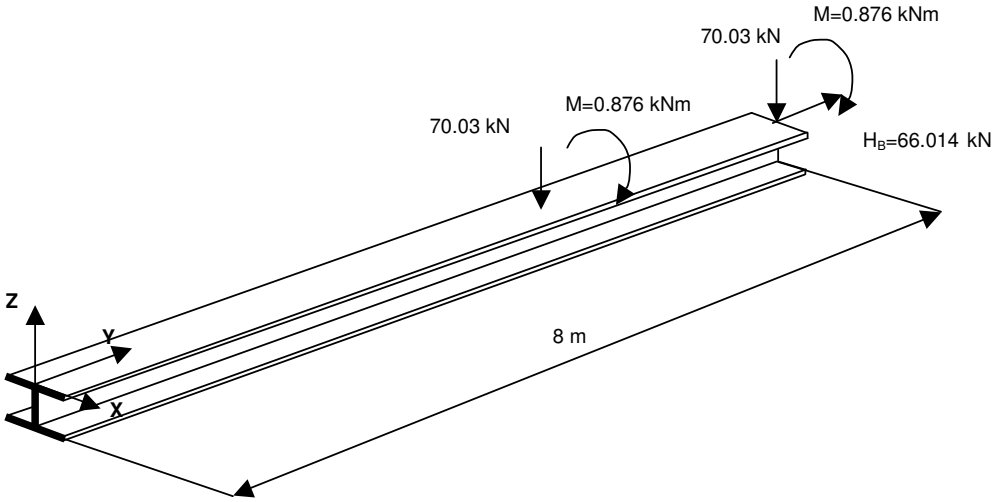
- Caso 9 (Choque contra los topes de la nave):

Carga	Coeficiente
Q_C	1.0
Q_H	1.0
H_B	Φ_7=1.6

Las reacciones verticales en la viga A son idénticas a las del caso 5. Los momentos se obtienen del siguiente cálculo:

$$M = \frac{1}{4} \cdot b_r \cdot F = \frac{1}{4} \cdot 0.05 \cdot 70.03 = 0.876 \, kN \cdot m$$

Las reacciones sobre la viga carrilera A son:



El perfil IPN 550 cumple todos los criterios de selección.

Se presenta en la tabla adjunta, el resumen de esfuerzos que se transmiten a la estructura.

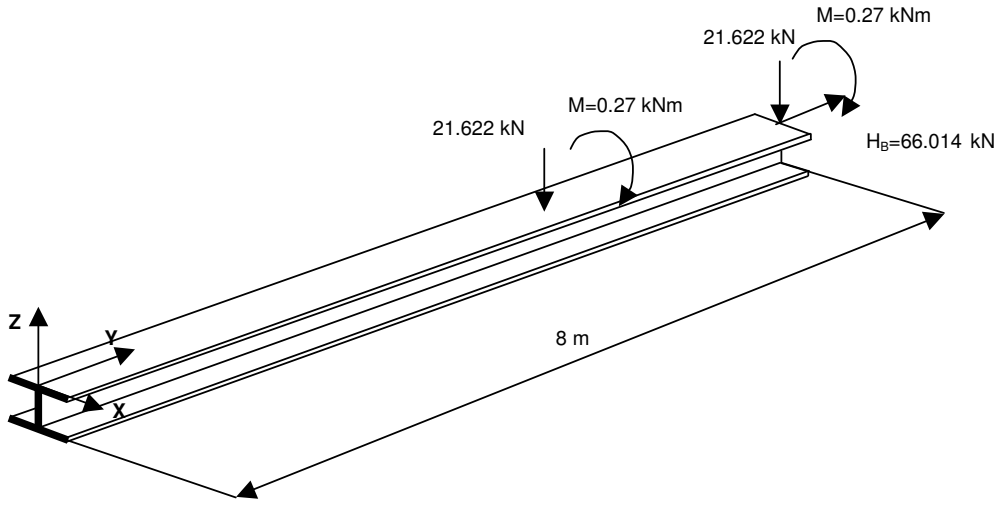
ESFUERZO	PILAR A	PILAR B	PILAR C
R_x (kN)	0	0	0
R_y (kN)	0	0	-99.021
R_z (kN)	-4.781	105.652	120.259
M_x (kNm)	0	0	0
M_y (kNm)	0	-1.064	-1.564
M_z (kNm)	0	0	0

Para la viga carrilera B:

Los momentos se obtienen del siguiente cálculo:

$$M = \frac{1}{4} \cdot b_r \cdot F = \frac{1}{4} \cdot 0.05 \cdot 21.622 = 0.27\ kN \cdot m$$

Las reacciones sobre la viga carrilera B son:



El perfil IPN 550 cumple todos los criterios de selección.

Se presenta en la tabla adjunta, el resumen de esfuerzos que se transmiten a la estructura.

ESFUERZO	PILAR A'	PILAR B'	PILAR C'
R_x (kN)	0	0	0
R_y (kN)	0	0	-99.021
R_z (kN)	-0.024	37.298	38.751
M_x (kNm)	0	0	0
M_y (kNm)	0	-0.328	-0.482
M_z (kNm)	0	0	0

- El caso 7 se considera incluido en los anteriores, pues el factor η es la parte de la carga de la grúa una vez que se ha retirado la carga útil y que no está incluida en el peso propio de la grúa - corresponde a parte de los elementos de elevación -. Este valor es mucho menor de los valores calculados en casos anteriores.

- Finalmente para el caso 10 (fuerzas de inclinación). La norma indica en este caso que si la grúa con cargas horizontales restringidas, puede inclinarse debido al choque de la carga o de los elementos de elevación con un obstáculo, la fuerza estática resultante debe ser considerada. Este caso se considera ya incluido en los casos anteriores, pues dará lugar a cargas horizontales similares a las anteriores.

Estos casos son comprobados en la estructura en 3D. Para ello se usan las ecuaciones indicadas en el apartado 7.4.4 para trasladar las reacciones sobre la viga carrilera a la cabeza del pilar. Una vez introducidas estas fuerzas en la estructura se comprueba que la estructura cumple con todos los requerimientos.

La estructura queda finalmente como indica la siguiente tabla:

PÓRTICO	ELEMENTO ESTRUCTURAL	VIGA
FINAL	PILAR	HEM-320 doble en cajón soldado
FINAL	DINTEL	HEM-240 con platabandas laterales de 10 mm
FINAL	PILAR INTERMEDIO	HEM-320 doble en cajón soldado
INTERMEDIO	PILAR	HEM-320 doble en cajón soldado
INTERMEDIO	DINTEL	HEM-240 con platabandas laterales de 10 mm
LATERAL NAVE PRINCIPAL	UNIONES EN CABEZAS DE PILARES	IPE 240
LATERAL NAVE PRINCIPAL	CRUZ DE SAN ANDRÉS	IPE 100

Otros elementos estructurales:

ZONA	ELEMENTO ESTRUCTURAL	VIGA
CUBIERTA	CORRÉA	IPN 100
CERRAMIENTO LATERAL	CORRÉA	IPN 100
FINAL	VIGA CARRILERA	IPE 550