

7. MEMORIA DE CÁLCULO

7.1. Generalidades.

La estructura viene definida por una planta de 20 metros de ancho y 100 metros de largo. La separación entre pórticos frontales es de 4 metros, habiendo por tanto un total de 26 pórticos. Cada pórtico frontal está formado por dos columnas de 12 metros de altura. La pendiente de la viga frontal es de $11,31^\circ$. La altura de coronación del edificio es de 14 metros.

Una vez definida la planta de la fábrica es necesario calcular las acciones que el puente grúa transmite a la estructura de la fábrica. Para el cálculo de las acciones a las que va ser sometida la viga carrilera se usará las acciones descritas en el Eurocódigo 1: Basis of design and actions on structures. Part 5: Actions induced by cranes and other machinery. Prenorma ENV-1991-5:1998.

Adicionalmente se utiliza el catálogo del fabricante de grúas JASO para definir el puente grúa.

7.2. Características del puente-grúa

Partiendo de los valores especificados en el proyecto:

- Luz del puente-grúa: 20 metros.
- Capacidad máxima de carga: 10000 kg.

Usando el catálogo general de puentes-grúa de JASO se obtienen las características geométricas, cinemáticas y dinámicas del tipo de grúa apropiada para cumplir con las especificaciones generales de más arriba.

Estas son:

- Reacciones por rueda:

$$R_{max} = 7140 \text{ kp}$$

$$R_{min} = 2205 \text{ kp}$$

- Peso de la grúa:

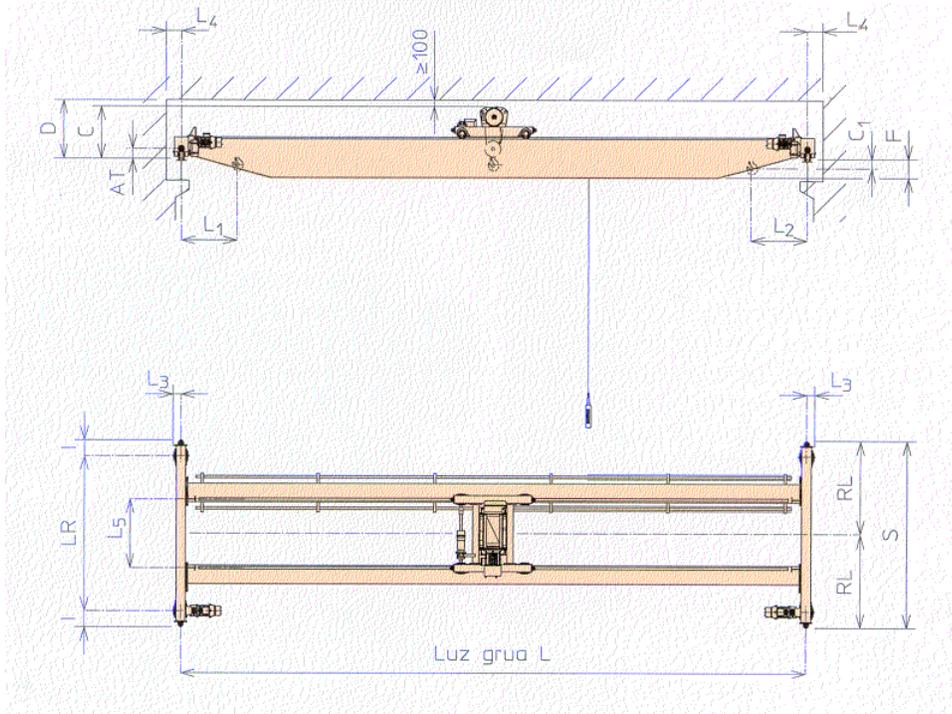
$$P = 2 \cdot (R_{max} + R_{min}) - \text{Capacidad de la Grúa} = 2 \cdot (7140 + 2205) - 10000 = 8690 \text{ kp}$$

- Tipo de grúa: birrail.
- Testero y mecanismos de traslación: Tipo 21. Referencia 315325.
- Diámetro de rueda: 315 mm (Del catálogo de testeros).
- Velocidad de traslación: 63 m/min.
- Ancho del carril de rodadura: 50 mm.

Con estos datos se puede obtener de los catálogos la carga máxima admisible por rueda:

- Carga máxima admisible por rueda: 10430 kp.

Se muestra seguidamente las características del puente grúa.

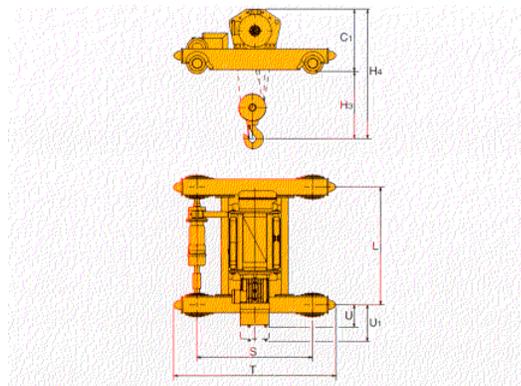


AT	C	D	L ₁	L ₄	L ₂	C ₁	F	L ₃	L ₅	LR	RL	S	I	L(m)
228	1105	1205	910	250	910	65	574	160	1300	3250	1955	3910	330	20

Para calcular el carro polipasto es necesario calcular el número de ciclos que va a estar trabajando, dependiendo del tipo de grúa y de la carga a la que va a estar sometida.

➤ Velocidad de elevación: 5 m/min \cong 0.083 m/s.

El carro polipasto:



7.3. Cálculo de las reacciones del puente-grúa sobre la viga carrilera, en función de los coeficientes dinámicos.

7.3.1. Procedimiento general de cálculo. Acciones sobre la edificación según Eurocódigo ENV-1991-5:1998.

Para el cálculo de las acciones a las que va ser sometida la viga carrilera se usará las acciones descritas en la el Eurocódigo 1: Basis of design and actions on structures. Part 5: Actions induced by cranes and other machinery. Prenorma ENV-1991-5:1998.

Las acciones que actúan sobre los puentes-grúa se clasifican en **variables** y **accidentales**.

Para condiciones normales de servicio las **acciones variables** resultan de la variación en el tiempo y en la localización. Están formadas por las **fuerzas gravitatorias** que incluyen las cargas de elevación (carga de elevación útil, los útiles de elevación y una parte de los cables de elevación), **las fuerzas de inercia** causadas por aceleración o deceleración o por cabeceo (skewing) y los **efectos dinámicos**.

Las grúas pueden generar **acciones accidentales** por la **colisión con los topes** (buffer forces) o por la **colisión de los útiles de elevación** con algún obstáculo (tilting forces).

La componente dinámica inducida por diferentes cargas debidas a masas y fuerzas de inercia están dadas en general en términos de factores de amplificación dinámicos, ϕ_i , que serán aplicados a las cargas estáticas. En la tabla 7.1 se muestran los diferentes factores de amplificación dinámicos y la acción a la que deben ser aplicados.

La simultaneidad de las cargas que se debe considerar en cada caso para el diseño de la estructura está definida en la tabla 7.2.

Tabla 7.1 Factores de amplificación dinámicos φ_i

Factores de amplificación dinámicos	Efectos a considerar	Se aplica a
φ_1	<ul style="list-style-type: none"> Vibraciones en la estructura de la grúa debido a elevación de la carga desde el suelo. 	Peso propio de la grúa
φ_2 o φ_3	<ul style="list-style-type: none"> Efectos dinámicos de transferencia de la carga de elevación desde el suelo a la grúa. Efectos dinámicos de liberación repentina de la carga útil como por ejemplo si se usan ganchos o imanes. 	Carga de elevación
φ_4	<ul style="list-style-type: none"> Efectos dinámicos inducidos durante el movimiento en la viga carrilera 	Peso propio de la grúa y carga de elevación
φ_5	<ul style="list-style-type: none"> Efectos causados por fuerzas motrices 	Fuerzas motrices
φ_6	<ul style="list-style-type: none"> Cuando la carga de ensayo se mueve de la misma forma que en el movimiento de la grúa 	Carga de ensayo
φ_7	<ul style="list-style-type: none"> Efecto elástico de impacto en los topes 	Fuerza de impacto
φ_8	<ul style="list-style-type: none"> Factor de respuesta 	Carga de viento

Tabla 7.2 Grupo de cargas y factores dinámicos a ser considerados como una acción característica sobre la grúa

		Símbolo	Grupo de Cargas									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Peso propio de la grúa	Q_C	φ_1	φ_1	1	φ_4	φ_4	φ_4	1	φ_1	1	1
2	Carga de elevación	Q_H	φ_2	φ_3	-	φ_4	φ_4	φ_4	η	-	1	1
3	Aceleración del puente grúa	H_L, H_T	φ_5	φ_5	φ_5	φ_5	-	-	-	φ_5	-	-
4	Efectos de cabeceo del puente grúa	H_S	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-
5	Aceleración o frenada del polipasto	H_{T3}	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-
6	Carga de	F_W^*	1	1	1	1	1	-	-	1	-	-

Proyecto Fin de Carrera – ES Ingenieros Industriales de Sevilla
 Planta de Fabricación de Bobinas para Transformadores de Potencia.

	viento en servicio											
7	Carga de ensayo	Q_T	-	-	-	-	-	-	-	φ_6	-	-
8	Fuerzas contra los topes	H_B	-	-	-	-	-	-	-	-	φ_7	-
9	Fuerzas de impactos	H_{TA}	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1

7.3.2. Definiciones.

Para el cálculo de las reacciones sobre la viga carrilera de cada rueda se utilizará la siguiente nomenclatura:

- Q_C : Peso del puente-grúa, incluido el carro.
- $Q_{C,1}$: Peso del puente-grúa sin carro.
- $Q_{C,2}$: Peso del carro.
- Q_H : Peso de la carga nominal.
- e_{min} : Distancia mínima del polipasto a los extremos.
- l : Luz del puente-grúa.
- Φ_i : Coeficientes de cálculo generalizados. Estos coeficientes se sustituirán posteriormente, dependiendo de cada caso por el correspondiente factor de amplificación dinámico.
- φ_i : Factores de amplificación dinámicos. La componente dinámica inducida por diferentes cargas debidas a masas y fuerzas de inercia están generalmente dadas en términos de unos **factores de amplificación dinámicos** aplicados sobre los valores de las cargas estáticas.
- $\Sigma Q_{r,max}$: Suma de las reacciones de todas las ruedas sobre la viga carrilera **más** solicitada, estando el puente-grúa **cargado con la nominal** y situado el carro en una posición extrema.
- ΣQ_r^{max} : Suma de las reacciones de todas las ruedas sobre la viga carrilera **menos** solicitada, estando el puente-grúa **cargado con la nominal** y situado el carro en una posición extrema.
- $\Sigma Q_{r,min}$: Suma de las reacciones de todas las ruedas sobre la viga carrilera **menos** solicitada, estando el puente-grúa **sin carga** y situado el carro en una posición extrema.
- ΣQ_r^{min} : Suma de las reacciones de todas las ruedas sobre la viga carrilera **más** solicitada, estando el puente-grúa **sin carga** y situado el carro en una posición extrema.

Una vez definidos estos conceptos necesarios en el cálculo de las acciones sobre la estructura debidos a la grúa, se resuelven dos problemas generales que proporcionarán los valores de los sumatorios anteriores:

- Puente grúa bajo carga nominal y situada en uno de los extremos, y
- Puente grúa sin carga y situada en uno de los extremos.

Posteriormente se definirán las características generales del puente grúa para pasar posteriormente al cálculo de las acciones verticales y las horizontales.

7.3.3. Puente-grúa bajo carga nominal y situada en uno de los extremos.

Este caso coincide con el descrito en la figura 1

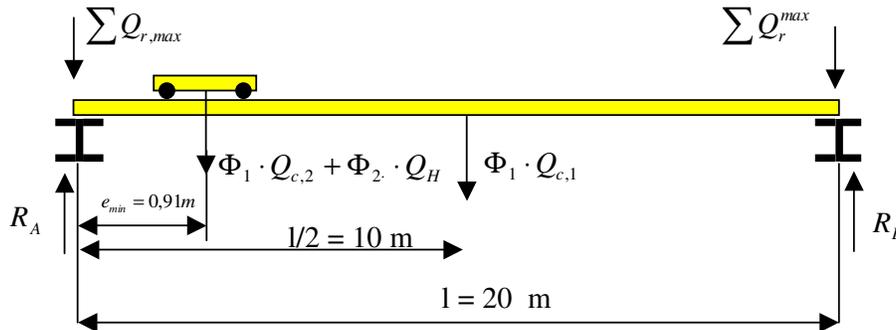


Figura 1. Distribución de cargas y reacciones, bajo condiciones extremas de carga.

Bajo dicho estado de cargas se pueden calcular las reacciones que cada rueda ejerce sobre cada viga carrilera, usando las ecuaciones que equilibran las fuerzas y los momentos. Este cálculo se usará posteriormente para definir el estado de cargas, es decir, axiles, cortantes y torsores que actúan sobre la viga carrilera. Con ello se podrá dimensionar dicha viga.

El equilibrio de fuerzas lleva a:

$$\sum \text{fuerzas} = 0 \quad \Rightarrow \quad R_A + R_B = Q_H \cdot \Phi_2 + Q_{C,2} \cdot \Phi_1 + Q_{C,1} \cdot \Phi_1$$

$$\sum \text{momentos}_{\text{en } A} = 0 \quad \Rightarrow \quad R_B \cdot l - \Phi_1 \cdot Q_{C,1} \cdot \frac{l}{2} - \Phi_1 \cdot Q_{C,2} \cdot e_{\text{min}} - \Phi_2 \cdot Q_H \cdot e_{\text{min}} = 0$$

Despejando el valor de RA y RB:

$$R_A = Q_H \cdot \Phi_2 \cdot \left(1 - \left(\frac{e_{\text{min}}}{l}\right)\right) + Q_{C,2} \cdot \Phi_1 \cdot \left(1 - \left(\frac{e_{\text{min}}}{l}\right)\right) + Q_{C,1} \cdot \frac{\Phi_1}{2}$$

$$R_B = Q_H \cdot \Phi_2 \cdot \left(\frac{e_{\text{min}}}{l}\right) + Q_{C,2} \cdot \Phi_1 \cdot \left(\frac{e_{\text{min}}}{l}\right) + Q_{C,1} \cdot \frac{\Phi_1}{2}$$

De donde se obtiene las reacciones sobre cada viga por la acción de las ruedas del puente-grúa:

$$\begin{aligned} \sum Q_{r,\text{max}} &= -R_A \\ \sum Q_r^{\text{max}} &= -R_B \end{aligned}$$

7.3.4. Puente-grúa sin carga y situada en uno de los extremos.

Este caso coincide con el descrito en la figura 2

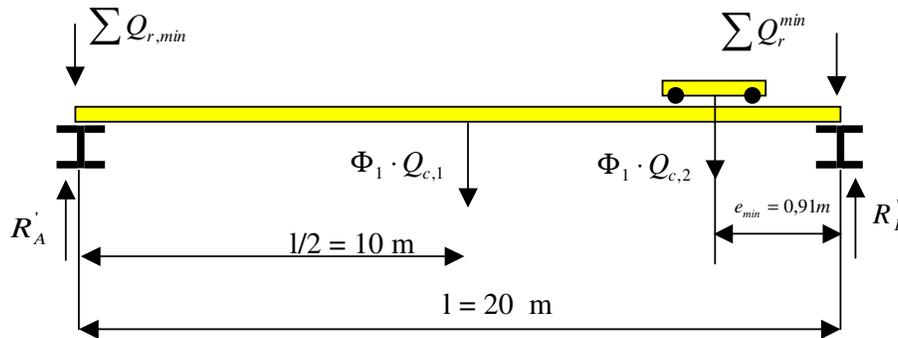


Figura 2. Distribución de cargas y reacciones, bajo condiciones mínimas de carga.

El equilibrio de fuerzas lleva en esta situación a:

$$\sum \text{fuerzas} = 0 \quad \Rightarrow \quad R'_A + R'_B = Q_{C,2} \cdot \Phi_1 + Q_{C,1} \cdot \Phi_1$$

$$\sum \text{momentos_en_A} = 0 \Rightarrow R'_B \cdot l - \Phi_1 \cdot Q_{C,1} \cdot \frac{l}{2} - \Phi_1 \cdot Q_{C,2} \cdot (l - e_{\min}) = 0$$

Despejando el valor de R'_A y R'_B :

$$R'_A = Q_{C,2} \cdot \Phi_1 \cdot \left(\frac{e_{\min}}{l} \right) + Q_{C,1} \cdot \frac{\Phi_1}{2}$$

$$R'_B = Q_{C,2} \cdot \Phi_1 \cdot \left(\frac{l - e_{\min}}{l} \right) + Q_{C,1} \cdot \frac{\Phi_1}{2}$$

De donde se obtiene las reacciones sobre cada viga por la acción de las ruedas del puente-grúa:

$$\begin{aligned} \sum Q_{r,min} &= -R'_A \\ \sum Q_r^{min} &= -R'_B \end{aligned}$$

7.3.5. Cálculo de las cargas características verticales.

Para ello se aplicará lo descrito en el apartado 2.5.3 de ENV-1991-5:1998, a los valores del puente-grúa particular. El primer caso se ha descrito en el apartado 6.2 de este capítulo. Se particularizará para:

- Peso de la grúa sin polipasto ($Q_{c,1}$): 7840 kp.
- Peso del polipasto ($Q_{c,2}$): 850 kp.
- Peso total (Q_c): 8690 kp.
- Peso de la carga (Q_H): 10000 kp.

Los coeficientes de cálculo generalizados se sustituirán por los coeficientes de amplificación dinámicos.

De la tabla 2.4 de ENV 1991-5:1998 se obtiene el valor de los coeficientes dinámicos para cargas verticales:

$$\phi_1 = 1 \pm a \therefore 0 < a < 0.1$$

$$\phi_2 = \phi_{2,min} + \beta_2 \cdot v_h$$

$$v_h : \text{velocidad fija de elevacion en } \frac{m}{s}$$

Donde los valores (1+a) y (1-a) representan los valores superiores e inferiores de los pulsos de vibración.

El apéndice B, tabla B.1 de la ENV 1991-5, da recomendaciones sobre la clase de carga. Las grúas se asignan a modos de elevación (Hoisting Classes), desde HC1 hasta HC4, que clasifican los efectos dinámicos de transferir la carga del suelo a la grúa. La selección depende del tipo particular de grúa.

Por el tipo de grúa y uso se toma HC3 (Apartado 5 de la tabla B.1).

De la tabla 2.5 se obtienen los valores necesarios para poder calcular los coeficientes dinámicos verticales, teniendo en cuenta la velocidad fija de elevación definida en las características de la grúa:

$$v_h = 0.083 \frac{m}{s}$$

Para clase HC3:

$$\phi_{2,min} = 1.15$$

$$\beta_2 = 0.51$$

$$\phi_1 = 1 \pm 0.1 \Rightarrow \phi_1)_{maximo} = 1.1$$

$$\phi_2 = \phi_{2,min} + \beta_2 \cdot v_h = 1.15 + 0.51 \cdot 0.083 \approx 1.2$$

El cálculo de las cargas características verticales queda de la siguiente forma:

$$R_A = Q_H \cdot \Phi_2 \cdot \left(1 - \left(\frac{e_{min}}{l}\right)\right) + Q_{C,2} \cdot \Phi_1 \cdot \left(1 - \left(\frac{e_{min}}{l}\right)\right) + \frac{Q_{C,1}}{2} \cdot \Phi_1$$

$$R_B = Q_H \cdot \Phi_2 \cdot \left(\frac{e_{min}}{l}\right) + Q_{C,2} \cdot \Phi_1 \cdot \left(\frac{e_{min}}{l}\right) + \frac{Q_{C,1}}{2} \cdot \Phi_1$$

$$R_A = 10000 \cdot 1.2 \cdot \left(1 - \left(\frac{0.91}{20}\right)\right) + 850 \cdot 1.1 \cdot \left(1 - \left(\frac{0.91}{20}\right)\right) + \frac{7840}{2} \cdot 1.1 = 16658.46 \text{ kp}$$

$$R_B = 10000 \cdot 1.2 \cdot \left(\frac{0.91}{20}\right) + 850 \cdot 1.1 \cdot \left(\frac{0.91}{20}\right) + \frac{7840}{2} \cdot 1.1 = 4900.54 \text{ kp}$$

Finalmente queda:

$$\sum Q_{r,max} = -R_A = -16658.46 \text{ kp}$$

$$\sum Q_r^{max} = -R_B = -4900.54 \text{ kp}$$

Cada rueda transmite a la viga carrilera:

$$\text{Fuerza por cada rueda} = \frac{\sum Q_{r,max}}{N^{\circ} \text{ de ruedas}} = \frac{16658.46 \text{ kp}}{2} = 8329.23 \text{ kp}$$

Para un cálculo posterior es necesario definir los valores del equilibrio cuando el puente grúa no está cargado, situación descrita en el apartado 6.3.

Despejando el valor de R'_A y R'_B :

$$R'_A = Q_{C,2} \cdot \Phi_1 \cdot \left(\frac{e_{min}}{l}\right) + \frac{Q_{C,1}}{2} \cdot \Phi_1 = 850 \cdot 1.1 \cdot \left(\frac{0.91}{20}\right) + \frac{7840}{2} \cdot 1.1 = 4354.54 \text{ kp}$$

$$R'_B = Q_{C,2} \cdot \Phi_1 \cdot \left(\frac{l - e_{min}}{l}\right) + \frac{Q_{C,1}}{2} \cdot \Phi_1 = 850 \cdot 1.1 \cdot \left(\frac{20 - 0.91}{20}\right) + \frac{7840}{2} \cdot 1.1 = 5204.46 \text{ kp}$$

De donde se obtiene las reacciones sobre cada viga por la acción de las ruedas del puente-grúa:

$$\sum Q_{r,min} = -R'_A = -4354.54 \text{ kp}$$

$$\sum Q_r^{min} = -R'_B = -5204.46 \text{ kp}$$

$$Q_{r,min} = \frac{|\sum Q_{r,min}|}{2} = 2177.27 \text{ kp}$$

$$Q_r^{min} = \frac{|\sum Q_r^{min}|}{2} = 2602.23 \text{ kp}$$