

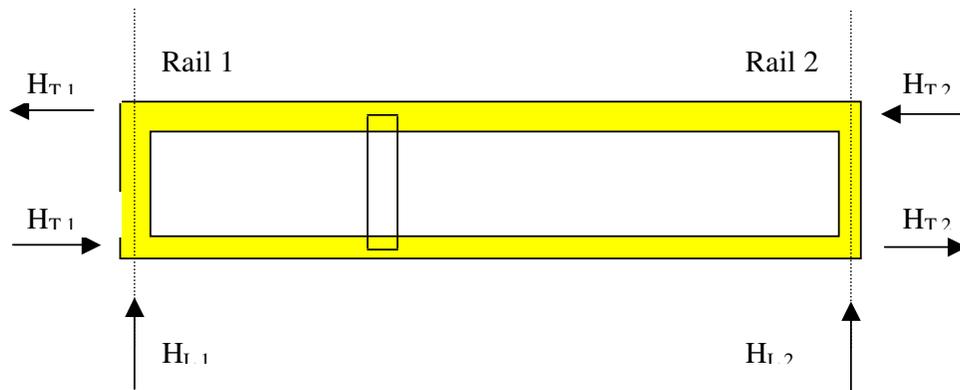
7.3.6 Cálculo de las cargas características horizontales.

Para el cálculo de las cargas características horizontales que se van a transmitir desde la grúa hasta la estructura se tiene en cuenta el apartado 2.7 de la norma ENV 1991-5: 1988.

Las fuerzas horizontales se clasifican en:

- Fuerzas horizontales causadas por la aceleración o deceleración de la grúa en relación a su movimiento a lo largo de la viga carrilera.
- Fuerzas horizontales causadas por la aceleración o deceleración del polipasto en relación a su movimiento a lo largo del puente grúa.
- Fuerzas horizontales causadas por el cabeceo de la grúa en relación a su movimiento a lo largo de la viga carrilera.
- Fuerzas de colisión con los topes relativos al movimiento de la grúa.
- Fuerzas de colisión con los topes relativos al movimiento del polipasto.

Las diferentes fuerzas que se van a transmitir a la estructura son:



La fuerza longitudinal que se aplica a la viga carrilera se calcula como:

$$H_{L,i} = \varphi_5 \cdot K \cdot \frac{1}{n_r}$$

donde:

n_r : es el numero de vigas carrileras

K : fuerza motriz, segun el apartado 2.7.3 de la norma ENV 1991 – 5:1998

φ_5 : es el factor de amplificacion dinamico

i : un entero para distinguir las vigas carrileras

El factor de amplificación dinámica se obtiene de la tabla 2.6 de ENV 1991-5:1998, donde se considera que el sistema es tal que las fuerzas cambian suavemente. Esto se justifica en que las bobinas de los transformadores deben ser transportadas de forma cuidadosa en la nave. Tenemos:

$$n_r = 2$$

$$\varphi_5 = 1.5$$

Para el cálculo de la fuerza motriz K en una rueda motriz se tiene que tener en cuenta que este valor es tal que se evite el giro libre de la rueda.

La fuerza motriz se calcula como sigue:

$$K = K_1 + K_2 = \mu \cdot \sum Q_{r,min}^*$$

donde

μ : factor de friccion

$$\sum Q_{r,min}^* = m_w \cdot Q_{r,min}$$

m_w es el numero de ruedas motrices individuales

En este caso:

$$\text{Contacto acero – acero} \Rightarrow \mu = 0.2$$

$$m_w = 2$$

En el apartado 7.6 se calculó:

$$Q_{r,min} = 2177.3 \text{ kp}$$

Finalmente las fuerzas horizontales longitudinales:

$$\sum Q_{r,min}^* = m_w \cdot Q_{r,min} = 2 \cdot 2177.3 = 4354.6 \text{ kp}$$

$$K = 0.2 \cdot 4354.6 = 870.9$$

$$H_{L,1} = H_{L,2} = 1.5 \cdot 870.9 \cdot \frac{1}{2} = 653.18 \text{ kp}$$

El momento resultante de las fuerzas motrices que está aplicado en el centro de masas está equilibrado por fuerzas transversales horizontales. Las cargas horizontales se obtienen de:

$$H_{T,1} = \varphi_5 \cdot \xi_2 \cdot \frac{M}{a}$$

$$H_{T,2} = \varphi_5 \cdot \xi_1 \cdot \frac{M}{a}$$

donde:

$$\xi_1 = \frac{\sum Q_{r,max}}{\sum Q_r}$$

$$\xi_2 = 1 - \xi_1$$

$$\sum Q_r = \sum Q_{r,max} + \sum Q_r^{max}$$

a : distancia entre ruedas sobre la misma viga carrilera

$$M = K \cdot l_s$$

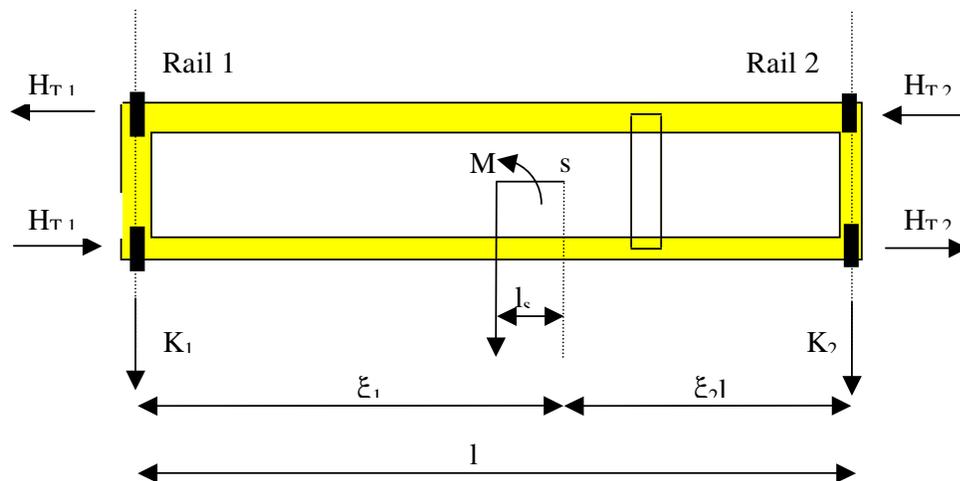
$$l_s = (\xi_1 - 0.5) \cdot l$$

l : luz del puente grua

φ_5 : factor de amplificación dinámico

K : fuerza motriz

En la siguiente figura se aclaran estos conceptos:



El cálculo queda:

$$\xi_1 = \frac{\sum Q_{r,max}}{\sum Q_r} = \frac{16658.46}{21559} = 0.77$$

$$\sum Q_r = \sum Q_{r,max} + \sum Q_r^{max} = 16658.46 + 4900.54 = 21559$$

$$\xi_2 = 1 - \xi_1 = 0.33$$

$$l_s = (\xi_1 - 0.5) \cdot l = (0.77 - 0.5) \cdot 20 = 5.4 \text{ m}$$

$$l = 20 \text{ m}$$

$$M = K \cdot l_s = 870.9 \cdot 5.4 = 4702.86 \text{ kpm}$$

$$a = 3.25 \text{ m}$$

$$\phi_s = 1.5$$

Sustituyendo estos valores en las expresiones de las fuerzas horizontales transversales:

$$H_{T,1} = 1.5 \cdot 0.33 \cdot \frac{4702.86}{3.25} = 716.28 \text{ kp}$$

$$H_{T,2} = 1.5 \cdot 0.77 \cdot \frac{4702.86}{3.25} = 1671.32 \text{ kp}$$

7.3.7 Fuerzas horizontales causadas por el cabeceo de la grúa.

La fuerza guía S y las fuerzas transversales $H_{S,i,j,k}$ causadas por el cabeceo de se obtienen de:

$$S = f \cdot \lambda_S \cdot \sum Q_{r,max}$$

$$H_{S,1,j,L} = f \cdot \lambda_{s,1,j,L} \cdot \sum Q_{r,max} \text{ (índice } j \text{ pareja de ruedas con la rueda motriz)}$$

$$H_{S,2,j,L} = f \cdot \lambda_{s,2,j,L} \cdot \sum Q_{r,max} \text{ (índice } j \text{ pareja de ruedas con la rueda motriz)}$$

$$H_{S,1,j,T} = f \cdot \lambda_{s,1,j,T} \cdot \sum Q_{r,max}$$

$$H_{S,2,j,T} = f \cdot \lambda_{s,2,j,T} \cdot \sum Q_{r,max}$$

donde:

f es el factor no – positivo.

$\lambda_{S,i,j,k}$ es el factor de fuerzas.

i es el rail i .

j es la pareja de ruedas j .

k es la dirección de las fuerza ($L = \text{longitudinal}, T = \text{transversal}$)

El factor no-positivo se calcula de la siguiente expresión:

$$f = 0.3 \cdot (1 - e^{-250\alpha}) \leq 0.3$$

donde α es el ángulo de cabeceo.

El ángulo de cabeceo, que debe ser menor de 0.015 radianes, debe ser elegido teniendo en cuenta el espacio entre los medios de guía y el raíl, así como una variación dimensional razonable y desgaste de las ruedas y de los raíles. Se determina de:

$$\alpha = \alpha_F + \alpha_V + \alpha_0 \leq 0.015 \text{ rad}$$

donde α_F , α_V y α_0 se definen según:

$$\alpha_F = \frac{0.75 \cdot x}{a}, \text{ donde } a \text{ es el ancho entre las bridas de las}$$

ruedas o entre los rodillos guía; x es el deslizamiento lateral.

$$\alpha_V = \frac{y}{a}, \text{ donde } y \text{ es desgaste del raíl.}$$

$$\alpha_0 = 0.001$$

Se deben cumplir las siguientes restricciones:

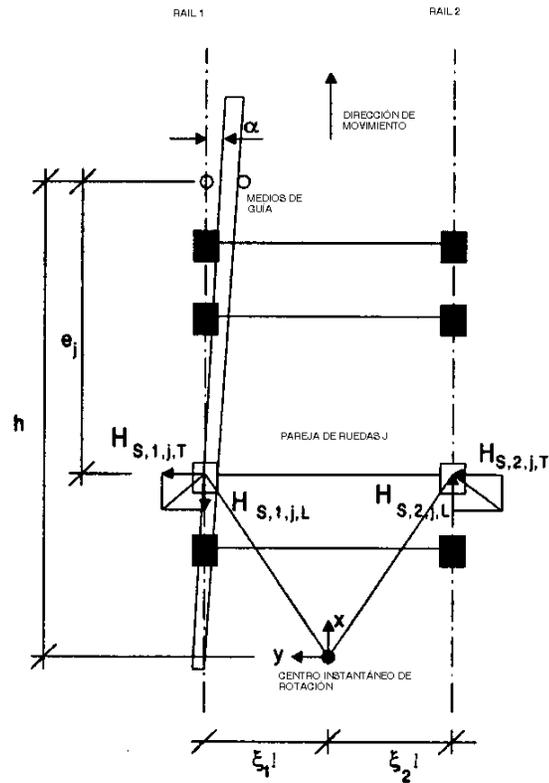
$$0.75 \cdot x \geq 5 \text{ mm para los rodillos guía.}$$

$$0.75 \cdot x \geq 10 \text{ mm para ruedas con bridas.}$$

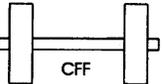
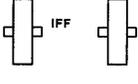
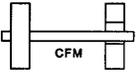
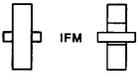
$$y \geq 0.03 \cdot b \text{ mm para rodillos guía.}$$

$$y \geq 0.10 \cdot b \text{ mm para ruedas con bridas.}$$

El factor de fuerza $\lambda_{S,i,j,k}$ depende de la combinación de las parejas de ruedas y la distancia h , definida como la distancia entre el centro instantáneo de rotación y el medio relevante de guiado, el cual es el medio frontal de guiado en la dirección del movimiento. Véase la figura adjunta



El factor h se determina de la siguiente tabla:

	Combination of wheel pairs		h
	coupled (c)	independent (i)	
Fixed/Fixed FF			$\frac{m\xi_1\xi_2\ell^2 + \sum e_j^2}{\sum e_j}$
Fixed/Movable FM			$\frac{m\xi_1\ell^2 + \sum e_j^2}{\sum e_j}$

Donde:

- h es la distancia entre el centro instantaneo de rotacion y los medios relevantes de guia.
- m es el numero de parejas de ruedas acopladas ($m = 0$ para parejas de ruedas independientes).
- $\xi_1 \cdot l$ es la distancia del rail 1 al centro instantaneo de rotacion.
- $\xi_2 \cdot l$ es la distancia del rail 2 al centro instantaneo de rotacion.
- l es la luz de la grua.
- e_j es la distancia de la pareja de ruedas j al medio relevante guia.

Los valores de λ se determinan de la tabla:

System	λ_{Sj}	$\lambda_{S,1,j,L}$	$\lambda_{S,1,j,T}$	$\lambda_{S,2,j,L}$	$\lambda_{S,2,j,T}$
CFF	$1 - \frac{\sum e_j}{nh}$	$\frac{\xi_1\xi_2}{n} \frac{\ell}{h}$	$\frac{\xi_2}{n} \left(1 - \frac{e_j}{h}\right)$	$\frac{\xi_1\xi_2}{n} \frac{\ell}{h}$	$\frac{\xi_1}{n} \left(1 - \frac{e_j}{h}\right)$
IFF		0	$\frac{\xi_2}{n} \left(1 - \frac{e_j}{h}\right)$	0	$\frac{\xi_1}{n} \left(1 - \frac{e_j}{h}\right)$
CFM	$\xi_1 \left(1 - \frac{\sum e_j}{nh}\right)$	$\frac{\xi_1\xi_2}{n} \frac{\ell}{h}$	$\frac{\xi_2}{n} \left(1 - \frac{e_j}{h}\right)$	$\frac{\xi_1\xi_2}{n} \frac{\ell}{h}$	0
IFM		0	$\frac{\xi_2}{n} \left(1 - \frac{e_j}{h}\right)$	0	0

Seguidamente se indican los valores finales que toman las fuerzas de cabeceo para el cálculo de la grúa.

Dada la dificultad de determinar los valores del ángulo de cabeceo se tomará como valor de f el mayor valor posible.

El puente-grúa está formado por dos parejas de ruedas independientes, una de ellas fija y la otra movable. Por lo tanto estamos en el caso IFM. Denominamos por $j=1$ a la pareja de ruedas con los medios relevantes de guiado y por $j=2$ a la pareja de ruedas motrices.

Dadas estas características se procede al cálculo de h . Posteriormente se determinará la posición del centro instantáneo de rotación, sabiendo que éste debe estar sobre la recta perpendicular a la dirección de las fuerzas que dan lugar las ruedas motrices.

Para IFM $ym = 0$:

$$e_1 = 0$$

$$e_2 = 3.25m$$

$$h = \frac{m \cdot \xi_1 \cdot l^2 + \sum e_j^2}{\sum e_j} = \frac{0 \cdot \xi_1 \cdot 3.25^2 + 0 + 3.25^2}{0 + 3.25} = 3.25m$$

De la tabla 2.9 de la norma ENV 1991-5:1998 se deduce para IFM:

$$\lambda_{S,j} = \xi_1 \cdot \left(1 - \frac{\sum e_j}{n \cdot h}\right) = \xi_1 \cdot 0 \left(1 - \frac{3.25}{2 \cdot 3.25}\right) = 0$$

$$\lambda_{S,1,j,L} = 0$$

$$\lambda_{S,1,j,T} = \xi_2 \cdot \left(1 - \frac{e_j}{h}\right)$$

$$\lambda_{S,2,j,L} = 0$$

$$\lambda_{S,2,j,T} = 0$$

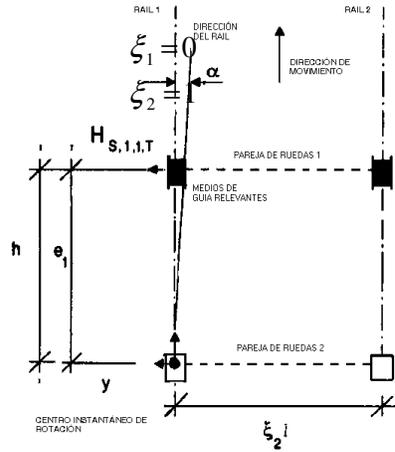
Para cada j :

$$\lambda_{S,1,1,T} = \frac{\xi_2}{n} \cdot \left(1 - \frac{e_1}{h}\right) = \frac{\xi_2}{2} \cdot \left(1 - \frac{0}{3.25}\right) = \frac{\xi_2}{2}$$

$$\lambda_{S,1,2,T} = \frac{\xi_2}{n} \cdot \left(1 - \frac{e_2}{h}\right) = \frac{\xi_2}{2} \cdot \left(1 - \frac{3.25}{3.25}\right) = 0$$

Dada la distancia h y que la única acción definida es la transversal en la pareja de ruedas 2, como se ve en la figura adjunta:

De aquí se deduce la posición del centro instantáneo de rotación:



Finalmente las fuerzas de cabeceo quedan como:

$$\begin{aligned}
 S &= f \cdot \lambda_s \cdot \sum Q_{r,max} = 0 \\
 H_{S,1,j,L} &= f \cdot \lambda_{s,1,j,L} \cdot \sum Q_{r,max} = 0 \quad \forall j \\
 H_{S,2,j,L} &= f \cdot \lambda_{s,2,j,L} \cdot \sum Q_{r,max} = 0 \quad \forall j \\
 H_{S,1,1,T} &= f \cdot \lambda_{s,1,1,T} \cdot \sum Q_{r,max} = 0.3 \cdot 0.5 \cdot 16658.46 = 2498.7 \text{ kp} \\
 H_{S,1,2,T} &= f \cdot \lambda_{s,1,2,T} \cdot \sum Q_{r,max} = 0 \\
 H_{S,2,j,T} &= f \cdot \lambda_{s,1,j,T} \cdot \sum Q_{r,max} = 0 \quad \forall j
 \end{aligned}$$

7.3.8 Cargas de ensayo.

Conforme al apartado 2.10 de la norma ENV 1991.5:1998, cuando se realicen ensayos tras el montaje de la grúa sobre la estructura, dicha estructura debe ser comprobada con respecto a estas condiciones de ensayo.

La carga útil debe ser amplificada por un factor dinámico φ_6 .

Se distinguen dos casos:

➤ Carga de ensayo dinámica:

La carga de ensayo en movimiento en la grúa de la misma forma en la que se moverá durante la vida útil. La carga útil de ensayo debe ser como mínimo 110 % de la carga útil nominal. El factor dinámico vale:

$$\varphi_6 = 0.5 \cdot (1 + \varphi_2)$$

➤ Carga de ensayo estática:

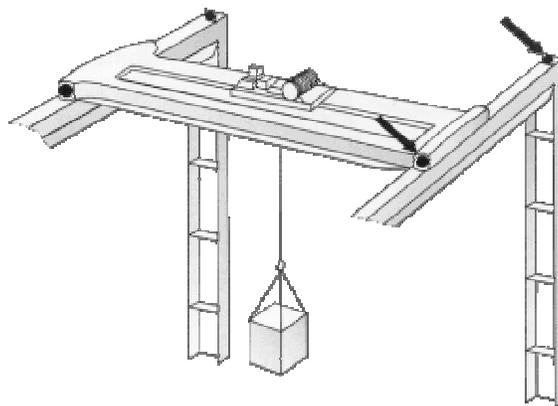
La carga de la grúa es incrementada durante el ensayo sin el uso de los dispositivos de elevación y translación. La carga de ensayo debe ser como mínimo 125 % de la carga útil nominal.

$$\varphi_6 = 1.0$$

7.3.9 Acciones accidentales.

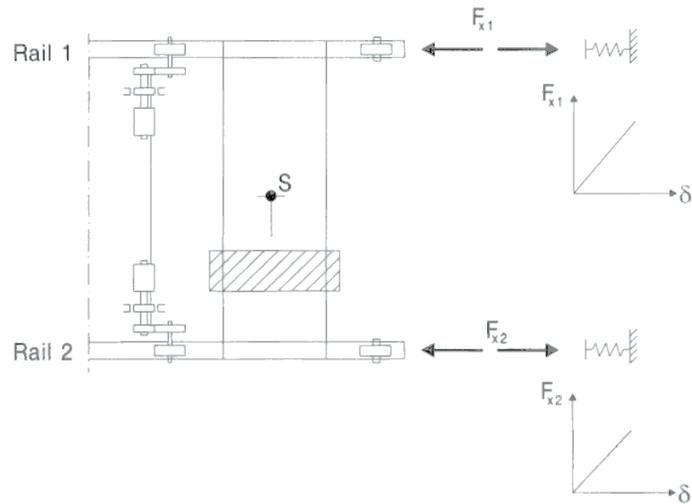
7.3.9.1. Fuerzas debidas al choque contra los topes de la nave durante las traslación de la grúa.

Según el apartado de 2.11.1 de la norma, para el cálculo de las fuerzas sobre la estructura debidas al choque de la grúa con los topes de la nave se debe tener en cuenta la energía cinética de todas las partes relevantes de la grúa moviéndose a una velocidad entre 0,7 y una vez la velocidad nominal.



Las fuerzas buffer multiplicadas por φ_7 para incluir los efectos dinámicos serán calculadas teniendo en cuenta la distribución de las masas relevantes y las características del tope.

En la figura siguiente se muestra las fuerzas características debido al choque con los topes de la nave (fuerzas buffer).



Las fuerzas se obtienen de:

$$H_B = \varphi_7 \cdot v_1 \cdot \sqrt{m_c \cdot S_B}$$

donde:

φ_7 es el factor dinámico.

v_1 es el 70% de la velocidad de traslación en $\frac{m}{s}$.

m_c es la masa de la grua y de la carga útil en kg.

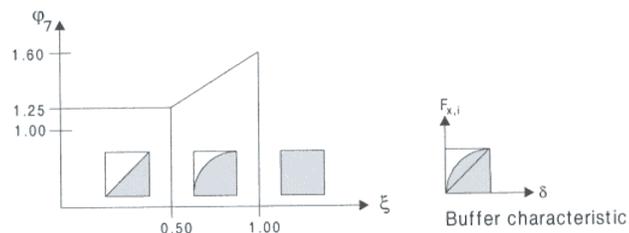
S_B es la constante elástica del muelle en $\frac{kN}{m}$.

El factor dinámico se obtiene de:

$$\varphi_7 = 1.25 \quad \text{si } 0 \leq \xi \leq 0.5$$

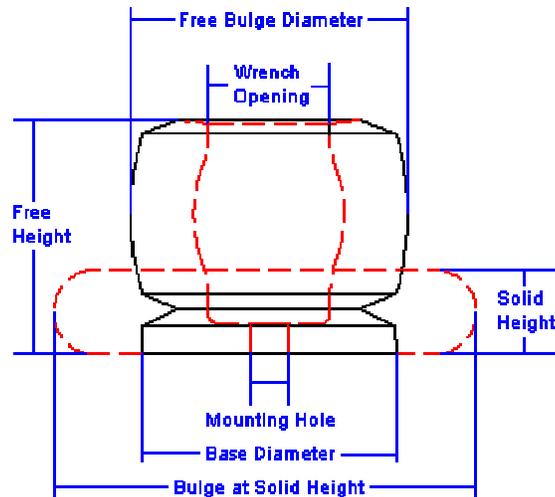
$$\varphi_7 = 1.25 + 0.7 \cdot (\xi - 0.5) \quad \text{si } 0.5 \leq \xi \leq 1$$

O gráficamente:



Como elemento tope se usará el modelo TCB-10B de la empresa MINER-Elastomer Products Corporation. Se describen a continuación las características de este producto.

Se deduce el valor de la constante de rigidez del tope de la tabla adjunta.



Free Height	Altura libre	4.18 in
Free Bulge Diameter	Diámetro libre de tope	5.35 in
Wrench Opening	Abertura para llave	1.69 in
Base Diameter	Diámetro de la base	4.16 in
Mounting Hole	Agujero de montaje	0.80 in
Solid Height	Altura en compresión	1.63 in
Bulge at Solid Height	Diámetro de tope a compresión	7.00 in
Rated Energy Capacity	Capacidad energética	3130 in-lbs
Peak Dynamic Force	Fuerza dinámica máxima	112000 lbs

$$E_p = \frac{1}{2} \cdot k \cdot \Delta x^2 = 3130 \text{ in} \cdot \text{lbs} = 353.65 \text{ J}$$

$$\Delta x = \text{altura libre} - \text{altura en compresión} = 4.18 \text{ in} - 1.63 \text{ in} = 2.55 \text{ in} = 0.065 \text{ m}$$

$$k = \frac{2 \cdot E_p}{\Delta x^2} = \frac{2 \cdot 353.65 \text{ J}}{(0.065)^2} = 168600 \frac{\text{J}}{\text{m}^2} = 168600 \frac{\text{N}}{\text{m}} = 168.6 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Introduciendo los valores de la grúa:

$$H_B = \varphi_7 \cdot v_1 \cdot \sqrt{m_c \cdot S_B} = 1.60 \cdot \left(0.7 \cdot 1.05 \frac{m}{s}\right) \cdot \sqrt{18690kg \cdot 168.6 \frac{kN}{m}} = 66.014 kN$$

En realidad cada buffer no recibe este impacto, pues depende de la configuración puente grúa-carro polipasto. Como seguridad y para simplificar se consideran las dos acciones sobre los topes iguales al valor indicado. Esta carga se mostrará sobre el pórtico final. Se ha tomado el valor máximo del factor dinámico, dado que el comportamiento del elastómero es no lineal.

7.3.9.2. Fuerzas debidas al choque contra los topes del puente-grúa durante la traslación del carro polipasto.

La fuerza horizontal $H_{T,3}$ que representa la fuerza del carro polipasto se calculará considerando el 10% de la suma de la carga nominal y del carro polipasto.

$$H_{T,3} = 0.1 \cdot (Q_{c,2} + Q_H) = 0.1 \cdot (850 + 10000) = 1085 kp$$

7.3.9.3. Fuerzas contra obstáculos (Tilting forces).

Se deben considerar si la grúa tiene las cargas horizontales restringidas.

7.3.10 Resumen de las acciones y de los factores dinámicos.

Los siguientes grupos de cargas deben ser considerados en el diseño de la estructura.

		Símbolo	Grupo de Cargas									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Peso propio de la grúa	Q_c	$\varphi_1=1.1$	$\varphi_1=1.1$	1	$\varphi_4=1.0$	$\varphi_4=1.0$	$\varphi_4=1.0$	1	$\varphi_1=1.1$	1	1
2	Carga de elevación	Q_H	$\varphi_2=1.2$	$\varphi_3=1.0$	-	$\varphi_4=1.0$	$\varphi_4=1.0$	$\varphi_4=1.0$	η	-	1	1
3	Aceleración del puente grúa	H_L, H_T	$\varphi_5=1,5$	$\varphi_5=1,5$	$\varphi_5=1,5$	$\varphi_5=1,5$	-	-	-	$\varphi_5=1,5$	-	-
4	Efectos de cabeceo del puente grúa	H_S	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-
5	Aceleración o frenada del polipasto	H_{T3}	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-
6	Carga de viento en servicio	F_W^*	1	1	1	1	1	-	-	1	-	-
7	Carga de ensayo	Q_T	-	-	-	-	-	-	-	$\varphi_6=1,0$	-	-
8	Fuerzas contra los topes	H_B	-	-	-	-	-	-	-	-	$\varphi_7=1.60$	-
9	Fuerzas de impactos	H_{TA}	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1

Los grupos de carga 2, 3 y 4 están incluidos en el grupo de cargas 1, pues éste es más restrictivo. La estructura debe ser comprobada frente a los grupos de carga 5 a 10 por separado.

El diseño estará centrado en el grupo 1. Posteriormente se comprobará para el resto de grupos.