

Reproducción prohibida - Teléfono 4 10 49 61 - 20010 Madrid - Fernández de la Hoz, 52 - 28010 Madrid

<div>NORMA ESPAÑOLA</div>	<div>Construcciones metálicas</div> <div>CAMINOS DE RODADURA DE PUENTES GRUA</div> <div>Bases de cálculo</div>	<div>UNE</div> <div>76-201-88</div>																																																																														
<div>INDICE</div> <table><tr><td></td><td></td><td>Páginas</td></tr><tr><td>1</td><td>OBJETO</td><td>2</td></tr><tr><td>2</td><td>CAMPO DE APLICACION</td><td>2</td></tr><tr><td>3</td><td>DETERMINACION DE LAS ACCIONES QUE INTERVIENEN EN EL CALCULO DE LOS CAMINOS DE RODADURA</td><td>2</td></tr><tr><td>3.1</td><td>Datos que debe suministrar el constructor del puente grúa</td><td>2</td></tr><tr><td>3.2</td><td>Características que debe suministrar el usuario</td><td>4</td></tr><tr><td>3.3</td><td>Características medias de los puentes grúa no especiales</td><td>4</td></tr><tr><td>3.4</td><td>Clasificación de los puentes grúa</td><td>4</td></tr><tr><td>3.5</td><td>Acciones que deben considerarse en el cálculo</td><td>7</td></tr><tr><td>3.6</td><td>Evaluación de los esfuerzos</td><td>8</td></tr><tr><td>3.7</td><td>Efectos locales</td><td>18</td></tr><tr><td>4</td><td>HIPOTESIS DE CALCULO</td><td>23</td></tr><tr><td>4.1</td><td>Estados límites últimos</td><td>23</td></tr><tr><td>4.2</td><td>Estado límite de servicio</td><td>23</td></tr><tr><td>5</td><td>CRITERIOS DE AGOTAMIENTO</td><td>25</td></tr><tr><td>5.1</td><td>Sistema de coordenadas</td><td>25</td></tr><tr><td>5.2</td><td>Cálculo de tensiones</td><td>25</td></tr><tr><td>5.3</td><td>Resistencia de cálculo del acero</td><td>26</td></tr><tr><td>5.4</td><td>Condiciones de agotamiento</td><td>26</td></tr><tr><td>6</td><td>CALCULO A FATIGA</td><td>27</td></tr><tr><td>6.1</td><td>Valoración de las acciones</td><td>28</td></tr><tr><td>6.2</td><td>Número de ciclos de sollicitación</td><td>28</td></tr><tr><td>6.3</td><td>Ponderación de la resistencia a la fatiga</td><td>28</td></tr><tr><td>7</td><td>NORMAS PARA CONSULTA</td><td>29</td></tr><tr><td>8</td><td>BIBLIOGRAFIA</td><td>29</td></tr><tr><td></td><td>ANEXO A CARACTERISTICAS MEDIAS DE LOS PUENTES GRUA</td><td>30</td></tr></table>					Páginas	1	OBJETO	2	2	CAMPO DE APLICACION	2	3	DETERMINACION DE LAS ACCIONES QUE INTERVIENEN EN EL CALCULO DE LOS CAMINOS DE RODADURA	2	3.1	Datos que debe suministrar el constructor del puente grúa	2	3.2	Características que debe suministrar el usuario	4	3.3	Características medias de los puentes grúa no especiales	4	3.4	Clasificación de los puentes grúa	4	3.5	Acciones que deben considerarse en el cálculo	7	3.6	Evaluación de los esfuerzos	8	3.7	Efectos locales	18	4	HIPOTESIS DE CALCULO	23	4.1	Estados límites últimos	23	4.2	Estado límite de servicio	23	5	CRITERIOS DE AGOTAMIENTO	25	5.1	Sistema de coordenadas	25	5.2	Cálculo de tensiones	25	5.3	Resistencia de cálculo del acero	26	5.4	Condiciones de agotamiento	26	6	CALCULO A FATIGA	27	6.1	Valoración de las acciones	28	6.2	Número de ciclos de sollicitación	28	6.3	Ponderación de la resistencia a la fatiga	28	7	NORMAS PARA CONSULTA	29	8	BIBLIOGRAFIA	29		ANEXO A CARACTERISTICAS MEDIAS DE LOS PUENTES GRUA	30
		Páginas																																																																														
1	OBJETO	2																																																																														
2	CAMPO DE APLICACION	2																																																																														
3	DETERMINACION DE LAS ACCIONES QUE INTERVIENEN EN EL CALCULO DE LOS CAMINOS DE RODADURA	2																																																																														
3.1	Datos que debe suministrar el constructor del puente grúa	2																																																																														
3.2	Características que debe suministrar el usuario	4																																																																														
3.3	Características medias de los puentes grúa no especiales	4																																																																														
3.4	Clasificación de los puentes grúa	4																																																																														
3.5	Acciones que deben considerarse en el cálculo	7																																																																														
3.6	Evaluación de los esfuerzos	8																																																																														
3.7	Efectos locales	18																																																																														
4	HIPOTESIS DE CALCULO	23																																																																														
4.1	Estados límites últimos	23																																																																														
4.2	Estado límite de servicio	23																																																																														
5	CRITERIOS DE AGOTAMIENTO	25																																																																														
5.1	Sistema de coordenadas	25																																																																														
5.2	Cálculo de tensiones	25																																																																														
5.3	Resistencia de cálculo del acero	26																																																																														
5.4	Condiciones de agotamiento	26																																																																														
6	CALCULO A FATIGA	27																																																																														
6.1	Valoración de las acciones	28																																																																														
6.2	Número de ciclos de sollicitación	28																																																																														
6.3	Ponderación de la resistencia a la fatiga	28																																																																														
7	NORMAS PARA CONSULTA	29																																																																														
8	BIBLIOGRAFIA	29																																																																														
	ANEXO A CARACTERISTICAS MEDIAS DE LOS PUENTES GRUA	30																																																																														
<div>Continúa en páginas 2 a 34</div>																																																																																
<div>Secretaría del CTN SERCOMETAL</div>	<div>Las observaciones relativas a la presente norma deben ser dirigidas a AENOR - Fernández de la Hoz, 52 - 28010 Madrid</div>																																																																															

UNE 76-201-88

Stell constructions. Rolling ways for bridge cranes. Basis of calculation.
Constructions métalliques. Chemins de roulement pour ponts roulants.
Bases de calcul.

© AENOR 1988

Depósito legal: M 33 793-88

Grupo 17

1 OBJETO

La presente norma tiene por objeto fijar las bases de cálculo específicas para los caminos de rodadura de puentes grúa realizados en construcción metálica. Estas bases complementan las generales que se adopten para las estructuras metálicas de edificios e instalaciones de las que formen parte los caminos de rodadura.

2 CAMPO DE APLICACION

La presente norma se refiere a las vigas carrileras de los puentes grúa más corrientemente utilizados en fábricas, talleres, almacenes, etc. No ampara los puentes grúa especiales, tales como:

Puentes de deslingotado.

Puentes rompe-fundición.

Puentes para hornos de fosa.

Puentes sometidos a altas temperaturas.

Puentes de camino de rodadura circular.

Puentes de cargas unidas rígidamente al carro.

Puentes de electro imán.

3 DETERMINACION DE LAS ACCIONES QUE INTERVIENEN EN EL CALCULO DE LOS CAMINOS DE RODADURA

3.1 Datos que debe suministrar el constructor del puente grúa

El constructor del puente grúa ha de facilitar al proyectista del camino de rodadura los datos que se indican en los apartados 3.1.1, 3.1.2 y 3.1.3 siguientes.

3.1.1 Dimensiones. La notación empleada se indica en la figura 1.

Longitud total del puente, entre puntos más salientes del mismo (L_1).

Luz del puente, entre ejes de carriles de rodadura (L).

Longitud total de la viga testera del puente, entre topes (A).

Distancia entre ruedas de cada viga testera (B) o entre ejes de carretones (B_1) y de la rueda extrema o del eje del carretón al tope (C).

Distancia mínima vertical entre el gancho y el carril de rodadura (e).

Gálbo de paso superior (d , h) y lateral (b , s). Dimensiones de la cabina.

Posiciones extremas del gancho (a).

Tipo y características de los topes.

Altura del tope con relación al carril de rodadura (D).

Posición y dimensiones de las líneas de las tomas de corriente.

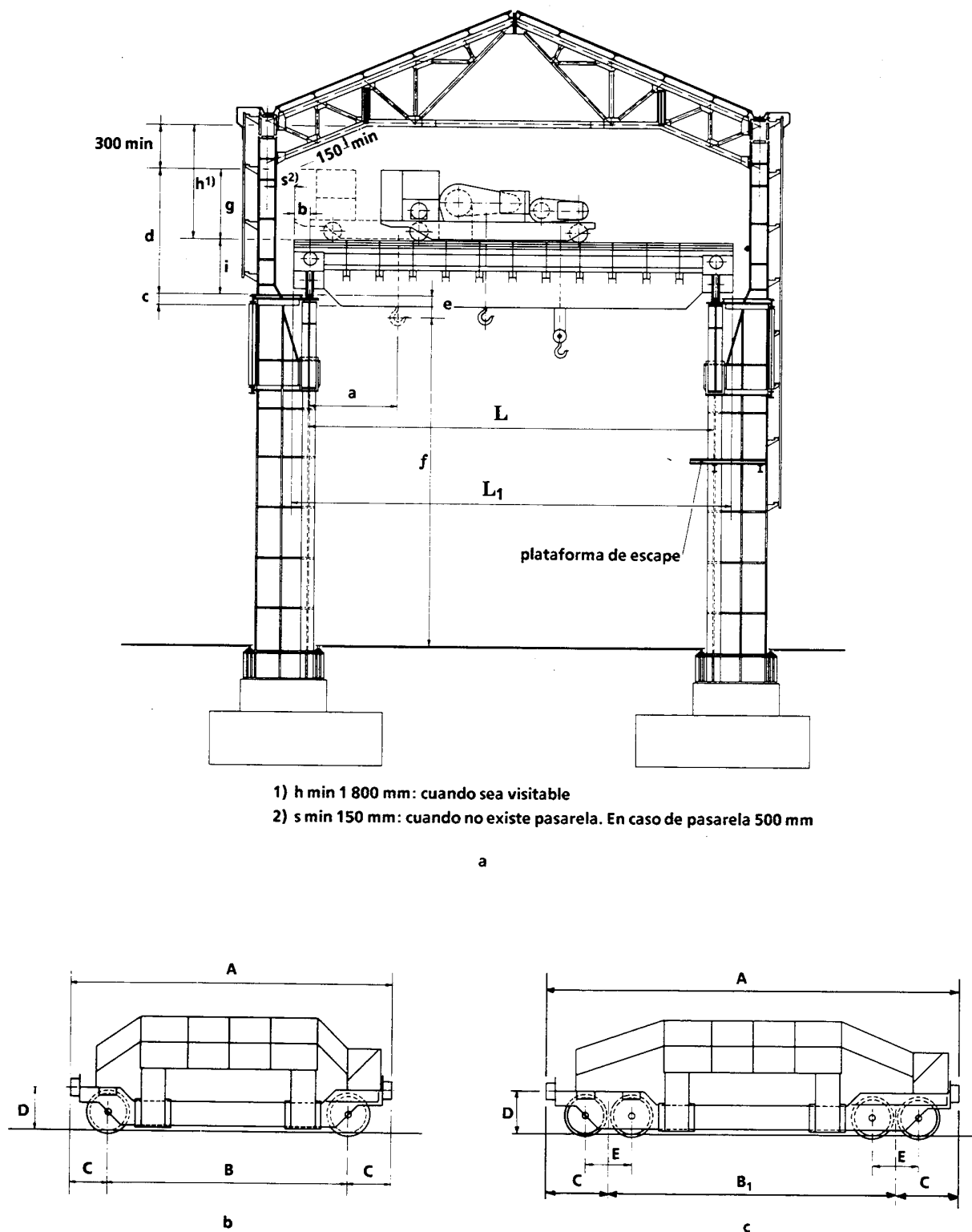


Figura 1

3.1.2 Peso propio de los distintos elementos del puente en función de la carga de servicio. Peso del puente grúa con todo el equipo, con excepción del carro móvil y de la carga de servicio.

Peso del carro móvil, totalmente equipado.

Carga de servicio, incluyendo la carga útil a elevar y el peso de los accesorios necesarios para su elevación.

Acciones verticales de las ruedas de cada viga testera, correspondientes:

- a) al puente enteramente equipado con exclusión del carro;
- b) al carro en vacío, en sus posiciones extremas;
- c) a la carga útil en servicio más accesorios en posiciones extremas.

Las acciones horizontales deberán especificarse en los casos en que los dispositivos de guiado no sean los considerados en la presente norma.

3.1.3 Características de los distintos movimientos. Velocidad y aceleración medias para los movimientos de:

- Elevación.
- Traslación lateral del carro.
- Traslación longitudinal del puente.

3.2 Características que debe suministrar el usuario

El usuario del puente grúa ha de facilitar al proyectista del camino de rodadura los datos que se indican a continuación:

Carga útil.

Altura máxima de elevación (cota superior del gancho) con relación al suelo de la nave o edificio y luz del puente entre ejes de carriles de rodadura.

Condiciones de utilización del puente, definidas según la norma UNE 58-112.

Condiciones de carga, según esta misma norma.

3.3 Características medias de los puentes grúa no especiales

Como datos de anteproyecto, en ausencia y espera de los definitivos indicados en los apartados prece- dentes, podrán utilizarse los datos aproximados que figuran en las tablas del anexo.

3.4 Clasificación de los puentes grúa

Todo puente grúa se proyecta para cumplir unos requisitos prefijados, entre los que son de destacar -ade- más de la carga nominal ya mencionada- su vida de servicio y la secuencia de variación aleatoria del valor de las diferentes cargas, izadas durante tal vida.

La norma UNE 58-112 define la vida de servicio de un aparato de elevación mediante el número máximo convencional de ciclos de maniobra que se espera sean realizados; mientras que la secuencia de variación del valor de las diferentes cargas izadas la define mediante el coeficiente nominal -o parámetro- del espectro de cargas K_Q .

La misma norma especifica el valor del número máximo convencional de maniobras de un aparato a partir de las condiciones de utilización de éste; mientras que el parámetro del espectro de cargas es fijado en función de sus condiciones -o estados- de carga.

Además, en la misma norma se recoge una clasificación global de los aparatos de elevación por grupos.

En la tabla 1 se presenta, a título de ejemplo, una lista de grúas clasificadas en función de sus utilizaciones más corrientes.

3.4.1 Condiciones de utilización. En función del número convencional máximo de ciclos de maniobra, N_m , que el puente grúa debe cumplir durante su vida de servicio, se establecen las siguientes diez condiciones de utilización, recogidas en la tabla 2.

3.4.2 Condiciones de carga. Las condiciones de carga se definen en función de la relación prevista entre las cargas que el puente grúa debe transportar normalmente en servicio y su carga nominal.

En la tabla 3 se recogen las cuatro condiciones de carga, Q1, Q2, Q3 y Q4, utilizadas en el ámbito de la presente norma.

Tabla 1
Ejemplo de clasificación de los aparatos de elevación

Denominación	Condiciones de utilización	Condiciones de carga	Grupo
Puente grúa de central	A	1-2	1-2
Puente grúa de montaje y desmontaje para sala de máquinas	A	2-3	2-3
Puente grúa de almacén	B-C	2-3	3-4-5-6
Puente grúa de taller con gancho	B	2-3	3-4
Puente grúa con cuchara	B-C-D	4	5-6-7-8
Puente grúa para parque de chatarra o puente con electroimán*	B-C	4	5-6-7-8
Puente de colada*	B	4	5-6
Puente rompe-fundición*	B-C	4	5-6-7-8
Puente para deslingotar*	C-D	4	7-8
Puente para hornos de fosa*	B-C	4	5-6-7-8
Puente cargador de hornos*	C-D	4	5-6-7-8
Puente para forja*	C-D	4	5-6-7-8
Pórtico con gancho para servicio de parque de material	B-C	3	4-5-6
Pórtico con cuchara	B-C-D	4	5-6-7-8
Pórtico con gancho para descarga o carga sobre vehículo	B-C	3	4-5-6
Pórtico para almacén	B-C-D	4	5-6-7-8
Pórtico para desmontaje de material	A-B	2-3	2-3-4
Grúa para desmontaje y montaje de material	A-B	2-3	2-3-4
Grúa con gancho	B-C	3	4-5-6
Grúa con cuchara	B-C-D	4	5-6-7-8
Grúa de dique	B	3-4	4-5-6
Grúa de puerto con gancho	B-C	3	4-5-6
Grúa de puerto con cuchara	B-C	4	5-6-7-8
Grúa para servicio excepcional	A	1-2	1-2
Grúa flotante con gancho	A-B	3	3-4
Grúa flotante con cuchara	A-B	4	4-5-6
Grúa de astillero	A-B	3	3-4
Grúa de reparación sobre vía férrea	A	2-3	2-3
Grúa de a bordo	B	3-4	4-5-6
Grúa velocípeda automóvil	B-C	3	4-5-6
Grúa derrick	A-B	3	3
Monocarril (según utilización)			4-5-6-7-8
Pórtico y puente para contenedores	B-C	3	4-5-6

* Puente especial.

Tabla 2
Condiciones de utilización

Condiciones de utilización	Número convencional de ciclos de maniobra, Nm	Observaciones
U ₀	$1,6 \times 10^4$	Utilización ocasional
U ₁	$3,2 \times 10^4$	
U ₂	$6,3 \times 10^4$	
U ₃	$1,25 \times 10^5$	
U ₄	$2,5 \times 10^5$	Utilización regular en servicio ligero
U ₅	5×10^5	Utilización regular en servicio intermitente
U ₆	1×10^6	Utilización regular en servicio intensivo
U ₇	2×10^6	Utilización intensiva
U ₈	4×10^6	
U ₉	Más de 4×10^6	

Tabla 3
Condiciones de carga

Condiciones de carga	Parámetro del espectro, K _Q	Observaciones
Q1 – Ligero	0,125	Aparato que levanta raramente la carga útil y corrientemente cargas muy pequeñas.
Q2 – Moderado	0,25	Aparato que levanta con bastante frecuencia la carga útil y corrientemente cargas pequeñas.
Q3 – Pesado	0,50	Aparato que levanta con bastante frecuencia la carga útil y corrientemente cargas medianas.
Q4 – Muy pesado	1,00	Aparato que corrientemente maneja cargas próximas a la carga útil

3.4.3 Grupos de puentes grúa. En función de las condiciones de utilización y las de carga, definidas en los apartados anteriores, se clasificarán los puentes grúa en ocho grupos, definidos en la tabla 4.

Tabla 4
Clasificación de los puentes grúa

Condiciones de carga	Condiciones de utilización									
	U ₀	U ₁	U ₂	U ₃	U ₄	U ₅	U ₆	U ₇	U ₈	U ₉
Q1 – Ligero	1	1	1	2	3	4	5	6	7	8
Q2 – Moderado	1	1	2	3	4	5	6	7	8	8
Q3 – Pesado	1	2	3	4	5	6	7	8	8	8
Q4 – Muy Pesado	2	3	4	5	6	7	8	8	8	8

3.5 Acciones que deben considerarse en el cálculo

Las acciones que deben considerarse son las que se indican en los apartados siguientes.

3.5.1 Acciones permanentes. Comprenden el peso de todos los elementos que constituyen la viga carrilera:

- Viga vertical de rodadura.
- Viga vertical de acompañamiento, o ménsulas soportes de la pasarela.
- Pasarela.
- Vigas horizontales y celosías de arriostramiento.
- Carriles de rodadura y eventualmente de guiado.

Se considerará para el acero un peso específico de 78,50 kN/m³.

3.5.2 Sobrecarga móvil del puente. Está constituida por las acciones verticales y horizontales de las ruedas de traslación y eventualmente de guiado del puente grúa.

Estas acciones son función de:

a) El peso propio de:

- El puente grúa y su equipo.
- El carro y su equipo.
- La carga a elevar y sus accesorios.

b) Los efectos dinámicos debidos a:

- La aceleración o deceleración de los movimientos de elevación de la carga, de la traslación del carro y de la propia del puente grúa.
- Al efecto lazo de la traslación del puente grúa.
- A los choques producidos en la rodadura del puente debido a los defectos y desgastes de las ruedas y a la existencia de juntas en los carriles.
- A la brusca elevación o descenso de la carga de servicio.

3.5.3 Sobrecarga de uso de la pasarela. Originada por la circulación del personal de mantenimiento y, eventualmente, del material necesario para las reparaciones.

3.5.4 Acción del viento

- a) Vigas carrileras en el exterior. Se considerará la acción del viento. No se tendrá en cuenta la nieve, admitiéndose que su existencia es incompatible con la circulación del puente grúa.
- b) Vigas carrileras en el interior de edificios. Sólo se considerará la acción del viento cuando algunos de los elementos de las vigas carrileras formen parte de la estructura contraviento del edificio. En caso de que sea preciso tener en cuenta la acción del viento, ésta se determinará según lo indicado en la norma NBE-MV-101.

3.5.5 Variación de temperatura. Debe considerarse en el caso en que la viga carrilera no pueda dilatarse libremente y que su longitud entre juntas de dilatación sea superior a 40 m.

Debe considerarse igualmente su influencia cuando existan fuentes importantes de calor que puedan originar dilataciones desiguales en los elementos que constituyen la viga carrilera.

3.5.6 Acción sísmica. Debe considerarse en los caminos de rodadura ubicados en la zona tercera de sismicidad alta, así como en los ubicados en la segunda zona en lugares con grado VII de intensidad, según la clasificación del capítulo 3 de la Norma Sismorresistente P.G, S – 1 (1974).

3.6 Evaluación de los esfuerzos

3.6.1 Acciones permanentes. Origina momentos flectores y esfuerzos cortantes, a los cuales puede añadirse momentos torsores cuando las vigas horizontales y verticales tienen uniones rígidas entre sí, y la resultante de los pesos no pasa por el centro de esfuerzos cortantes de la sección conjunta de la viga carrilera y la de frenado.

3.6.2 Sobrecarga móvil del puente. El puente grúa, al crear acciones verticales y horizontales que actúan sobre los elementos constituyentes del camino de rodadura, origina en éstos solicitaciones, tanto generales como locales, de flexión, compresión y cortantes, a las que se añaden esfuerzos de torsión.

Los valores que se especifican en los apartados siguientes, corresponden a puentes grúa de 4 ruedas, de las cuales 2 son motrices, y sustentación de la carga por medio de cables.

En el caso de 8 ruedas sobre 4 carretones, los valores numéricos se considerarán por carretón, desdoblándose las fuerzas sobre las dos ruedas.

3.6.2.1 Notación

a) Características del puente grúa:

- P peso del puente y su equipo;
- C peso del carro y su equipo;
- Q peso de la carga nominal;
- v_n velocidad nominal de elevación de la carga;
- v_c velocidad nominal de desplazamiento del carro;
- v_p velocidad nominal de traslación del puente;
- j_c aceleración media positiva o negativa del carro;
- j_p aceleración media positiva o negativa del puente;
- g aceleración de la gravedad.

b) Acción de una rueda en carga:

- Acción vertical:
 - V acción estática;
 - V_d acción dinámica (puente en movimiento).
- Acción horizontal longitudinal:
 - H_l por aceleración o frenado del puente.
- Acción horizontal transversal:
 - H_c por aceleración o frenado del carro;
 - H_p por aceleración o frenado del puente;
 - H_o por marcha oblíqua del puente.

c) Coeficientes:

- f coeficiente de adherencia de la rueda al carril;
- k_c relación entre el número de ruedas motrices del carro y su número total de ruedas;
- k_p relación entre el número de ruedas motrices del puente y su número total de ruedas;
- \emptyset coeficiente de efectos dinámicos;
- \emptyset_{\max} coeficiente máximo de efectos dinámicos para las acciones verticales del puente;
- \emptyset_{red} coeficiente reducido de efectos dinámicos para las acciones verticales del puente;
- ω factor de resistencia por fricción; véase la tabla A-2.

3.6.2.2 Acciones verticales de las ruedas del puente grúa. Las acciones de las ruedas del puente en movimiento se obtienen a partir de las acciones estáticas máximas correspondientes, multiplicándolas por un coeficiente de efectos dinámicos. Con la notación establecida:

$$V_d = \emptyset V$$

La tabla 5 recoge los valores del coeficiente \emptyset correspondiente a los distintos grupos de puentes grúa, tanto para las vigas del camino de rodadura como para los soportes de las mismas. Estos valores corresponden al caso de que, tanto el carril como las ruedas, estén en buen estado y que las maniobras se efectúen normalmente.

Cuando sobre una viga carrilera actúe simultáneamente más de un puente grúa, se aplicará el valor reducido del coeficiente de efectos dinámicos.

Los inconvenientes provenientes de un mal estado del camino de rodadura, juntas defectuosas, carriles sin el necesario grado de fijación, o del mal estado de las ruedas, rueda aplanada, son imposibles de tener en cuenta con valor alguno del coeficiente de efectos dinámicos.

3.6.2.3 Acciones horizontales longitudinales

a) *Acciones sobre los carriles de traslación del puente*

La aceleración, o el frenado, del movimiento de traslación del puente conduce a la aparición de acciones longitudinales aplicadas a las cabezas de los carriles. Estas fuerzas horizontales, que las llantas de las ruedas motrices del puente ejercen sobre el carril, se calcularán en función de la aceleración, o deceleración, máximas que se produzcan en servicio normal.

Si los valores de las aceleraciones y deceleraciones no fueran dados por el constructor de la grúa o impuestos por el usuario, se podrá fijar, a título indicativo, en función de la velocidad del movimiento y de las tres condiciones de explotación siguientes:

Tabla 5
Valor del coeficiente de efectos dinámicos vertical

Grupo	Viga carrilera		Soportes	
	máx	red	máx	red
1 y 2	1,1	1,1	1,0	1,0
3 y 4	1,15	1,1	1,0	1,0
5 y 6	1,25	1,1	1,1	1,0
7 y 8	1,35	1,1	1,2	1,0

Tabla 6
Valores medios de las aceleraciones y deceleraciones

Velocidad m/s	1 Velocidad lenta y media con gran recorrido		2 Velocidad media y rápida (aplicaciones corrientes)		3 Velocidad rápida con fuertes aceleraciones	
	Duración de la aceleración s	Aceleración media m/s ²	Duración de la aceleración s	Aceleración media m/s ²	Duración de la aceleración s	Aceleración media m/s ²
4,00			8,0	0,50	6,0	0,67
3,15			7,1	0,44	5,4	0,58
2,50			6,3	0,39	4,8	0,52
2,00	9,1	0,22	5,6	0,35	4,2	0,47
1,60	8,3	0,19	5,0	0,32	3,7	0,45
1,00	6,6	0,15	4,0	0,25	3,0	0,33
0,63	5,2	0,12	3,2	0,19		
0,40	4,1	0,098	2,5	0,16		
0,25	3,2	0,078				
0,16	2,5	0,064				

1) Aparatos de velocidad lenta y aparatos de velocidad media con grandes recorridos.

2) Aparatos de velocidad media y rápida de aplicación corriente.

3) Aparatos de velocidad rápida con fuertes aceleraciones.

La tabla 6 recoge los valores medios de las aceleraciones y deceleraciones, para las tres condiciones de explotación.

Cuando se desconozca la velocidad del movimiento del puente, se adoptará 0,4 m/s² como valor medio de la aceleración.

El valor medio de la resultante de las acciones longitudinales de aceleración de un puente estará limitado por la adherencia entre las ruedas motrices y los carriles.

Para el cálculo de la viga carril y de sus vínculos a la estructura soporte se adoptará:

$$\Sigma H_{l_{\max}} = (Q + C + P) \left(\omega + \frac{2 j_p}{g} \right) \leq (Q + C + P) f k_p$$

debiendo tomarse como valor del coeficiente de adherencia:

$f = 0,12$ en caminos de rodadura húmedos;

$f = 0,2$ en caminos secos.

Se considerará que la carga se halla en su posición más elevada, y no se tendrá en cuenta su oscilación. Las acciones longitudinales se considerarán repartidas por igual en los dos carriles, siempre que su valor no esté limitado por la adherencia entre rueda y carril. En caso contrario, se repartirá en dos fuerzas desiguales, de la manera siguiente:

Reacción longitudinal menor:

$$H_{l2} = f k_p \Sigma V_2$$

Reacción longitudinal mayor:

$$H_{l1} = \Sigma H_{l_{\max}} - H_{l2}$$

siendo $\Sigma V_2 = \Sigma V_{\min}$ la suma de las acciones verticales estáticas ejercidas por las ruedas de la viga testera menos cargada.

Para el cálculo de los soportes se adoptará:

$$H_l = 0,2 \Sigma V k_p$$

siendo ΣV la suma de todas las acciones estáticas ejercidas por las ruedas de la viga testera correspondiente.

b) Acciones sobre los topes finales del camino de rodadura

Estas acciones corresponden al choque de los topes de las vigas testeras del puente contra los topes finales del camino de rodadura, y son función de la velocidad de traslación del puente grúa, de la flexibilidad de la estructura del mismo, y principalmente, de la flexibilidad de los amortiguadores de los topes. Los valores de estas acciones se acordarán con el constructor de la grúa.

A falta de instrucciones pertinentes, se podrán calcular, siempre que el puente grúa disponga de instalación automática de reducción de la velocidad de traslación, por las expresiones siguientes:

1) En el caso de amortiguador de muelle con diagrama triangular de crecimiento del esfuerzo:

$$\Sigma H_{lt} = 1,25 (C + P) \left(0,5 \frac{V^2}{g s_a} - 2 f k_p \right)$$

2) En el caso de amortiguador hidráulico de esfuerzo constante y diagrama rectangular:

$$\Sigma H_{lt} = 1,5 (C + P) \left(0,25 \frac{V^2}{g s_a} - f k_p \right)$$

siendo s_a el acortamiento del amortiguador.

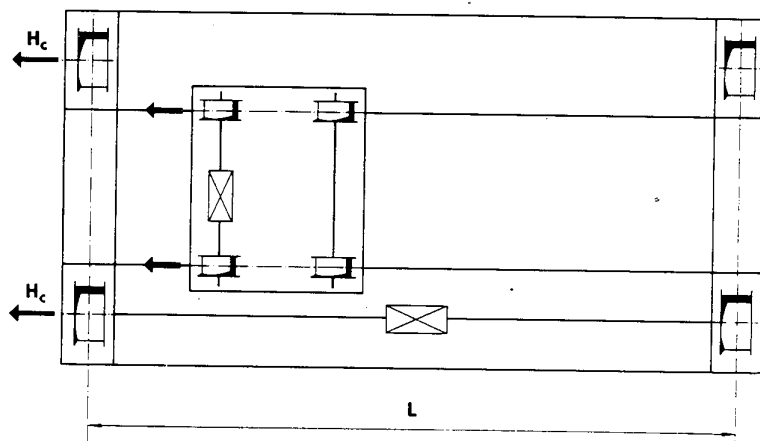


Figura 2

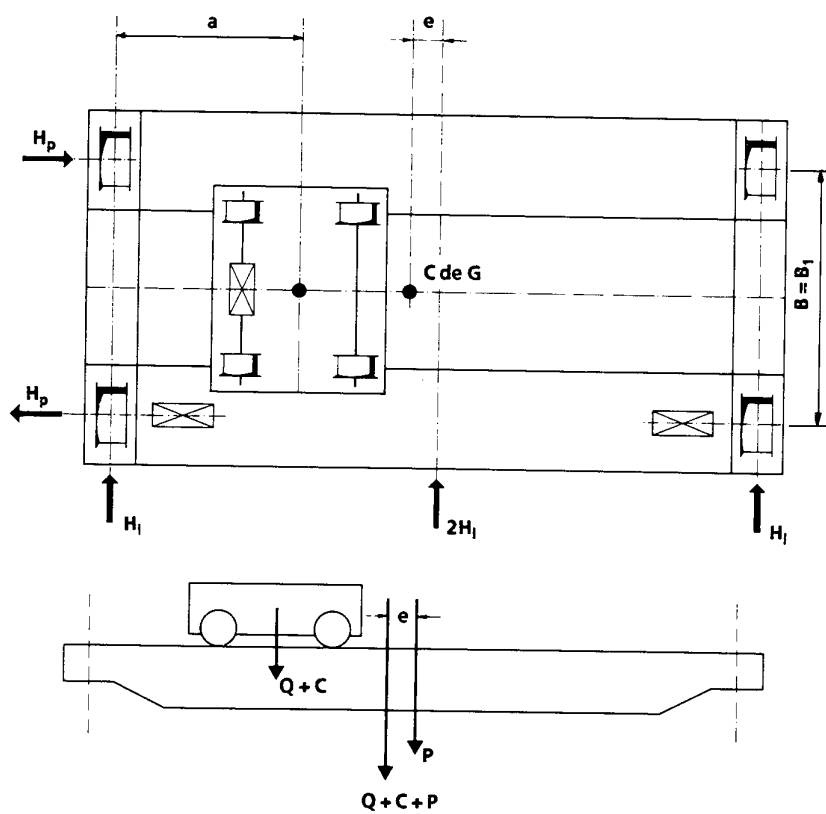


Figura 3

3.6.2.4 Acciones horizontales transversales sobre los carriles de traslación del puente

a) Acciones H_c debidas a la aceleración o deceleración del carro

La aceleración, o deceleración, del movimiento de traslación del carro conduce a la aparición de acciones horizontales transversales al camino de rodadura. Estas fuerzas transversales se calcularán en función de la aceleración, deceleración, máximas que se produzcan en un servicio normal.

El valor de la fuerza total de aceleración del carro estará limitado por la adherencia entre las ruedas motrices y los carriles de las vigas del puente.

El valor de la aceleración media positiva o negativa es un dato que debe proporcionar el constructor de la grúa, o fijar el usuario. En caso de no ser conocido, podrán utilizarse a título indicativo los valores que se dan en la tabla 6, para aplicaciones corrientes. Cuando se desconozca la velocidad del movimiento, se adoptará $0,2 \text{ m/s}^2$ como aceleración media.

- Para el cálculo de la viga carril y de sus vínculos a la estructura de soporte se tomará:

$$\Sigma H_{c\max} = (Q + C) \left(\omega + \frac{2j_c}{g} \right) \leq (Q + C) f k_c$$

siendo los valores del coeficiente de adherencia los mismos del apartado 3.6.3, a) (figura 2), y considerando que la carga se encuentra en su posición más elevada.

- Para el cálculo de los soportes se tomará:

$$\Sigma H_c = 0,1 \Sigma V$$

siendo ΣV la suma de todas las acciones verticales estáticas ejercidas por las ruedas de una viga testera del puente.

b) Acciones H_p debidas a la aceleración o deceleración del puente

Se supone un puente grúa con sincronización en revoluciones de las ruedas motrices de ambas vigas testeras.

En este caso, la fuerza tractora se reparte por igual entre las ruedas motrices de uno y otro carril, con resultante en el eje de ambos. La resultante de la fuerza de inercia, debida a la masa conjunta del puente, carro y carga, en el caso de carro trasladado presenta una excentricidad de valor e_{\max} , respecto de dicho eje. Esta excentricidad origina la aparición de fuerzas horizontales transversales que forman un par de equilibrio, como se indica en la figura 3. El valor máximo de estas fuerzas corresponderá al corrimiento máximo del carro y, por tanto, a la excentricidad máxima; y su valor vendrá dado por:

- Para el cálculo de la viga carril y de sus vínculos a la estructura soporte:

$$H_p = \pm \Sigma H_{l\max} \frac{e_{\max}}{B}$$

Se considera que la carga se halla en su posición más elevada.

- Para el cálculo de los soportes:

Se entenderá englobada en las ΣH_c .

c) Acciones H_o debidas a la marcha oblicua del puente

La marcha oblicua del puente origina acciones horizontales transversales, iguales y opuestas, en las ruedas extrema o rodillos guía, alcanzando áquellas su valor máximo cuando el carro se encuentra sobre el eje de la nave. A falta de un cálculo más riguroso, en el que se consideren las particularidades constructivas de la grúa en cuestión, y las de su mecanismo de traslación en concreto, podrá adoptarse como valor de cada fuerza horizontal, H_o , constitutivas del par.

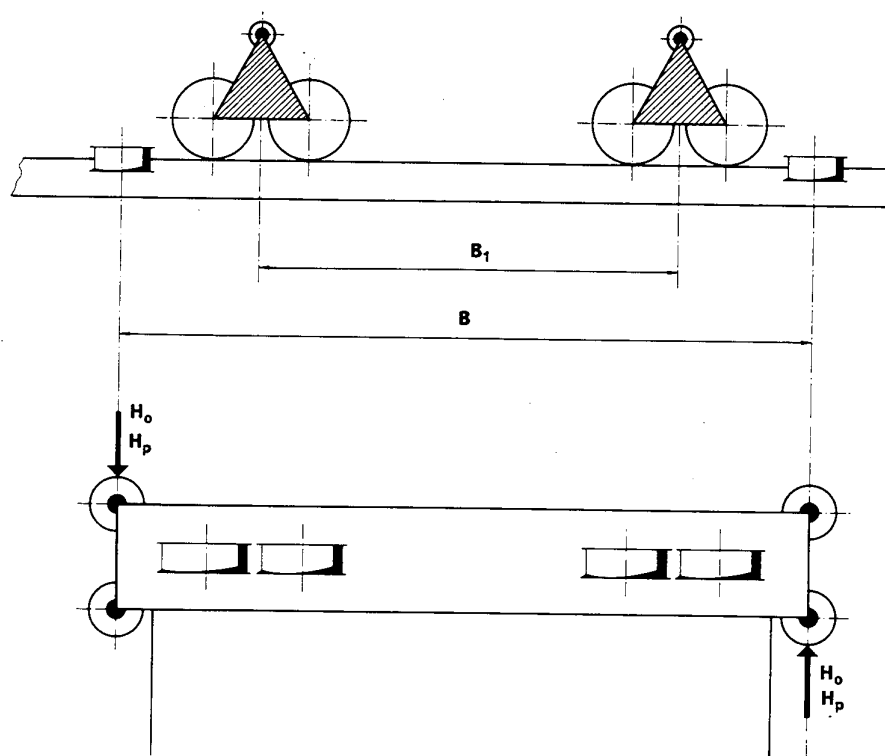


Fig. 4 – Puente grúa con rodillos guía

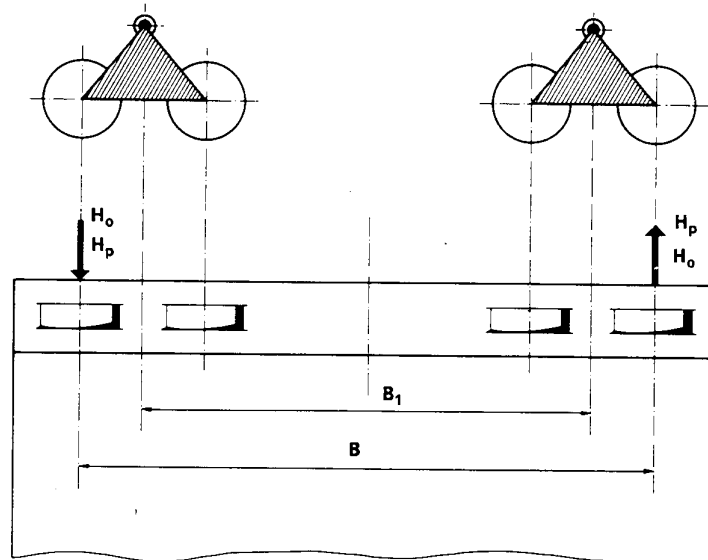
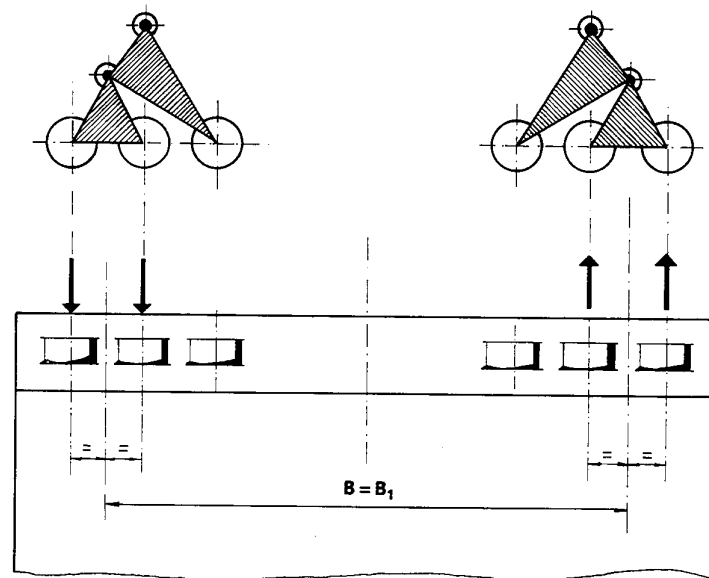


Fig. 5 – Puente grúa con ruedas de pestaña

- Para el cálculo de la viga carril y de sus vínculos a la estructura soporte:

$$H_o = 0,024 (Q + C + P) \frac{L}{B}$$

- Para el cálculo de los soportes:

Se considerará englobada en las ΣH_c .

3.6.2.5 Punto de aplicación de las acciones

a) Acciones verticales

para tener en cuenta las tolerancias de ejecución y montaje, tanto del puente grúa como de las vigas de rodadura, se supondrá que las acciones verticales presentan una excentricidad horizontal cuyo valor será:

Tabla 7
Superficie expuesta por la carga útil a acción del viento

Carga útil en kN	10	20	30	50	100	200	300	500	750	1 000	1 500
Superficie en m ²	3,0	4,0	5,5	7,0	10,0	16,0	20,0	25,0	30,0	36,0	45,0

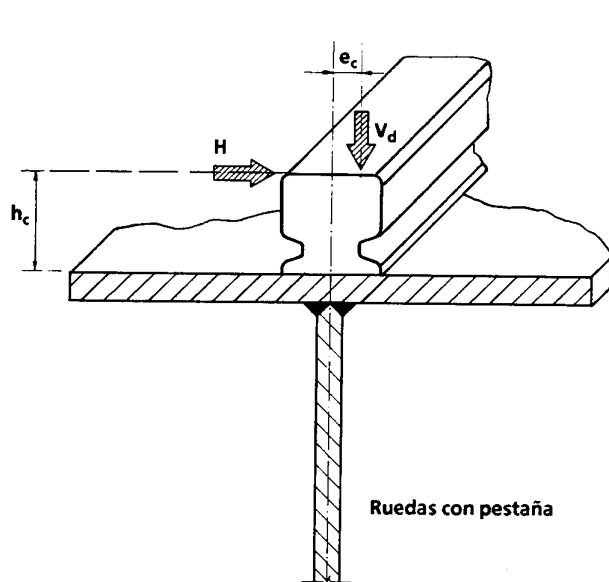


Figura 6

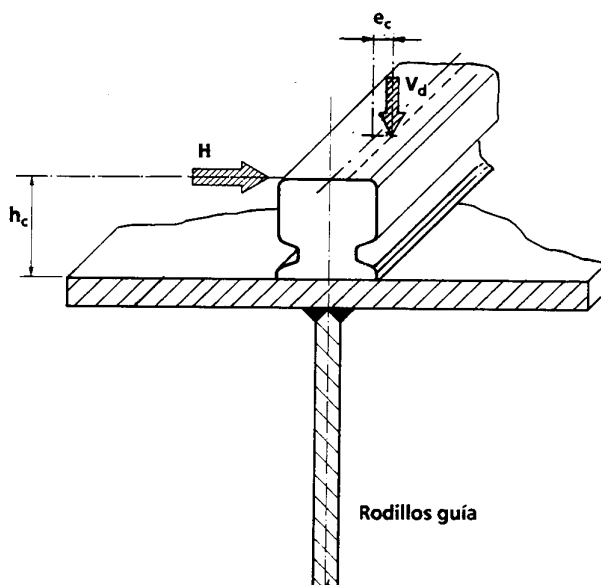


Figura 7

- Cero, para los puentes grúas clasificados en los grupos 1, 2 ó 3.
- Igual a la cuarta parte del ancho de la cabeza del carril para los puentes grúa clasificados en algunos de los restantes grupos.

b) Acciones horizontales

Se supondrán aplicadas en la cara superior del carril.

- Las fuerzas horizontales longitudinales, H_L , en las ruedas motrices exclusivamente y con el reparto que se indica en el apartado 3.6.2.3.
- Las fuerzas horizontales H_O , originadas por la aceleración del carro, se considerarán repartidas por igual entre todas las ruedas de una viga testera del puente.
- Las fuerzas horizontales H_p , originadas por aceleración del puente, según las figuras 4 y 5, en función de la existencia o no de rodillos guía y del número y disposición de las ruedas en la viga testera.
- En dichas figuras se muestra también la posición de las fuerzas H_O , debidas a la marcha oblicua del puente.

3.6.2.6 Simultaneidad de actuación de varios puentes grúa. Salvo indicación en contrario del usuario de los puentes grúa, cuando existan varios se limitará el número de los mismos a considerar en el cálculo según los siguientes criterios:

a) Acciones verticales

- 1) Camino de rodadura simple entre dos soportes consecutivos, y soporte lateral entre dos vigas carriles contiguas, en una misma nave:

Actuación de un máximo de dos puentes grúa.

- 2) Caminos de rodadura dobles al mismo nivel, y soporte entre dos naves contiguas de un edificio:

Actuación de un máximo de cuatro puentes grúa (dos por nave).

- 3) Soportes con caminos de rodadura a más de un nivel:

Actuación de un máximo de seis puentes grúa, siempre que ello sea compatible con los gálibos de la carga a trasladar.

b) Acciones horizontales transversales

- 1) Camino de rodadura simple entre dos soportes consecutivos, y soporte lateral entre dos vigas carriles contiguas:

Actuación de un máximo de un puente grúa.

- 2) Caminos de rodadura dobles al mismo nivel, y soporte entre naves contiguas de un mismo edificio:

Actuación de un máximo de dos puentes grúa (uno por nave).

- 3) Soporte con caminos de rodadura a más de un nivel:

Actuación de un máximo de cuatro puentes grúa (uno por nivel y nave).

c) Acciones horizontales longitudinales

- 1) Camino de rodadura simple entre dos soportes consecutivos:

Actuación de un máximo de dos puentes grúa.

El primero con la acción horizontal según el apartado 3.6.2.3, el segundo con el 70% de aquella acción horizontal.

- 2) Caminos de rodadura dobles al mismo nivel, y soporte entre naves contiguas de un mismo edificio:

Actuación de un máximo de dos puentes grúa.

Se tomará, tanto para la disposición de los puentes como para la magnitud y sentido de las acciones, las que produzcan efectos más desfavorables sobre el elemento a estudiar.

Dos puentes grúa de construcción idéntica o diferente, que, según indicaciones del usuario, funcionen predominantemente en pareja, se considerarán a estos efectos como un solo puente grúa.

3.6.3 Sobrecarga de uso de las pasarelas. No se considerará su actuación conjunta con las acciones de los puentes grúa en movimiento.

Se considerarán dos casos de carga:

- a) Carga móvil aislada de 3 kN aplicada en un punto cualquiera y repartida en una superficie de 1 m².
- b) Carga uniformemente repartida de 2 kN/m².

3.6.4 Acción del viento. El valor de la presión dinámica será de 0,3 kN/m² cuando el puente se encuentre en servicio.

Cuando el puente se halle fuera de servicio, se adoptará el valor que corresponda en función del emplazamiento de la instalación (situación geográfica, altitud, exposición) según la norma NBE MV-101. Se considerará el caso en que la carga haya quedado suspendida del carro.

Las dimensiones de la proyección de la carga de servicio sobre un plano vertical normal a la dirección del viento se precisará por el usuario del puente. En ausencia de tales indicaciones se adoptarán los valores de la tabla 7.

En la determinación de la sobrecarga de viento debida a la carga útil se considerará un coeficiente eólico de 1,2.

3.6.5 Variación de temperatura. Se considerará una variación de ± 35 °C en elementos situados al exterior, y de ± 25 °C en elementos en el interior de edificios.

La consideración de las fuentes de calor citadas en el apartado 3.5.5 requerirá un estudio especial.

3.6.6 Acción sísmica. Los valores característicos de las acciones verticales y horizontales sísmicas se determinarán, salvo indicación expresa de Organismos competentes, de acuerdo con las prescripciones de la Norma Sismorresistente P.G. S-1 (1974). En la determinación de las acciones horizontales no se tendrá en cuenta la carga de servicio.

3.7 Efectos locales

Las acciones de las ruedas de los puentes grúa son fuertes cargas concentradas que, independientemente de las solicitaciones generales que producen en el camino de rodadura, inducen importantes tensiones locales en los elementos que componen la parte superior de la viga carril. Estas tensiones locales son más importantes, si se considera -como es lógico hacerlo- un cierto descentramiento del carril con el plano de alma. Las tensiones que se inducen por este efecto deben superponerse a las producidas por las solicitaciones generales que, como parte de la sección de la viga, se producen en los elementos afectados.

3.7.1 Tren de sobrecarga torsora. Teniendo en cuenta el punto de aplicación de las acciones, tanto verticales como horizontales, de las ruedas, la viga carrilera está solicitada por un tren de momentos torsores concentrados cuya consideración es necesaria para el cálculo de las tensiones locales inducidas. Los momentos torsores componentes del tren, considerados como aplicados en el punto medio de la cara alta del ala superior de la viga carrilera, tienen por valor:

- En caso de ruedas con pestaña:

$$M_t = V_d e_c + H h_c$$

- En caso de rodillos guías, en la sección de contacto con éste:

$$M_t = H h_c$$

y en otra sección¹⁾

$$M_t = V_d e_c$$

donde

H es la acción horizontal transversal total;

e_c es la excentricidad horizontal de aplicación de la acción vertical de la rueda del puente;

h_c es la altura del carril de rodadura del puente grúa. Véanse las figuras 6 y 7;

V_d es la acción vertical dinámica.

3.7.2 Esfuezos locales. El ala superior de la viga, juntamente con el carril puede considerarse como una viga sobre lecho elástico, solicitada por la actuación de la carga móvil que se supone centrada en el plano del alma.

Se produce, por tanto, una flexión local en el ala o platabanda superior y unas compresiones locales verticales en el alma.

El momento torsor induce igualmente tensiones locales de flexión en la parte superior del alma y en los rigidizadores verticales de la misma.

También es preciso tener en cuenta la posible flexión de los elementos de fijación de los extremos de la viga carrilera a los soportes del camino de rodadura.

3.7.2.1 Longitud de reparto de la presión local de las ruedas y compresión del alma. La acción vertical que produce la rueda se reparte, por medio del carril y del ala superior de la viga, en una cierta longitud de alma, sometiéndola a compresión local. Salvo que se adopten procedimientos de ejecución muy especiales para la unión entre ala y alma, ésta presión no se transmite por contacto directo sino a través de los cordones de soldadura de esta unión, que deben por tanto calcularse para este efecto.

La longitud de reparto de la presión local se obtendrá, siempre que no se haga un cálculo más preciso, de la expresión:

$$l = \beta \sqrt[3]{\frac{I_s}{e_a}}$$

donde

β es el coeficiente que depende del tipo de unión del ala superior al alma de la viga (puede tomarse $\beta = 3,25$ para unión soldada);

I_s es la suma de los momentos de inercia del carril y del ala superior respecto a sus propios ejes principales horizontales. Cuando el carril se suelde al ala por medio de cordones que garanticen la colaboración entre ambos, I_s será el momento de inercia del conjunto carril más ala;

e_a es el espesor del alma.

En la figura 8 se indica, mediante rayado, aquella parte de la sección transversal que ha de considerarse en el cálculo del valor del momento de inercia del ala superior.

1) También en ruedas con pestaña en las hipótesis 1 y 2.

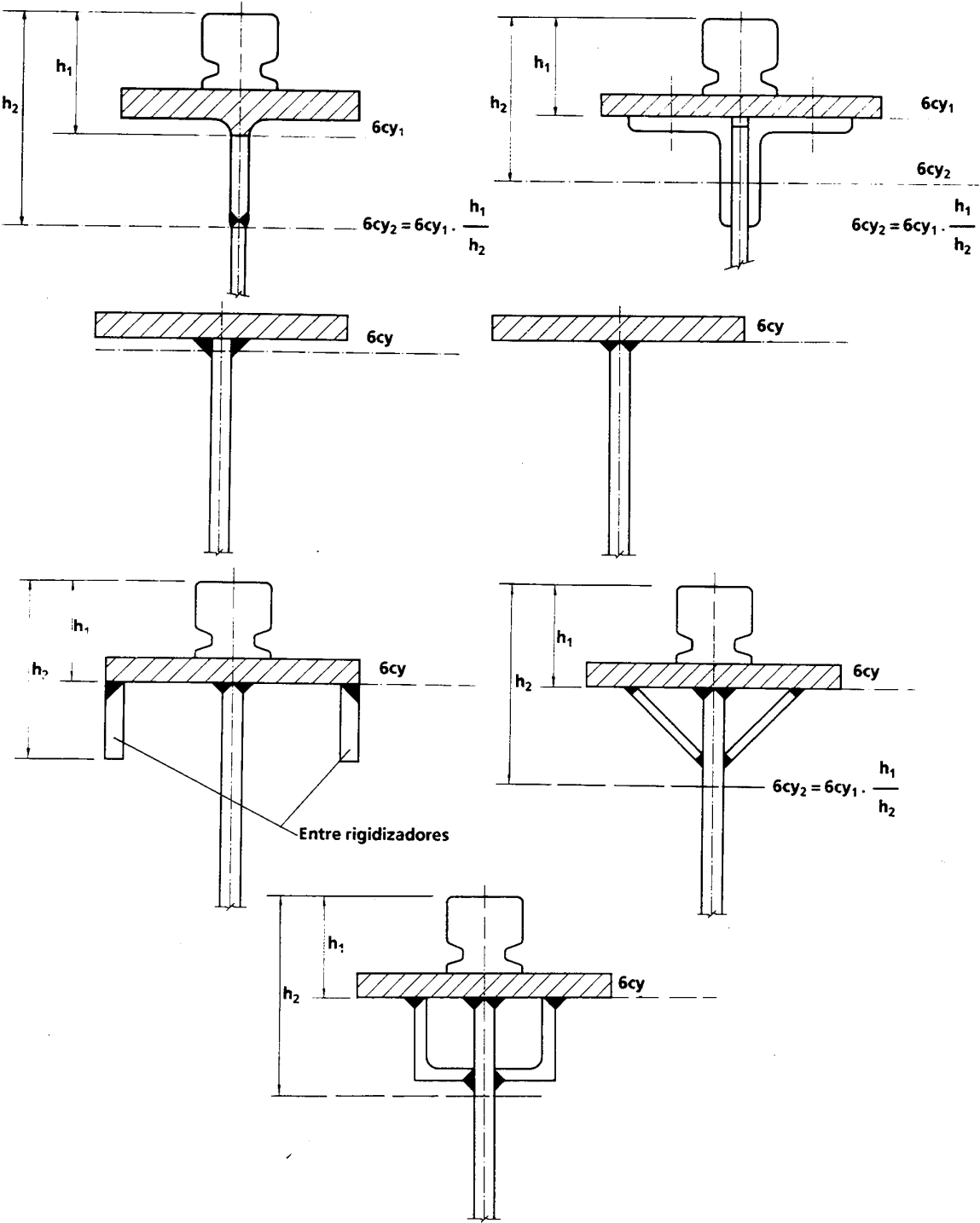


Figura 8

3.7.2.2 Flexión local del ala superior de la viga carrilera. El ala superior de la viga carrilera, cuando no esté dotada de elementos estructurales que eleven su rigidez frente a la flexión, deberá dimensionarse para resistir el momento flector local originado por la presión de la rueda de rodadura del puente grúa, cuyo valor máximo se obtendrá, siempre que no se desarrolle un cálculo más exacto, de la expresión siguiente:

$$M_{fp} = \frac{V_d I_p}{4 I_s} \sqrt[4]{2 I_s \frac{h_a}{e_a}}$$

donde

I_p es el momento de la inercia de la sección del ala respecto a su eje horizontal;

h_a es la altura del alma de la viga carrilera.

3.7.2.3 Flexión local de la parte superior del alma de la viga carrilera. La parte superior del alma de la viga, cuando no esté dotada de elemento estructural alguno de elevada rigidez a torsión, deberá dimensionarse para resistir el momento flector local, originado por el momento torsor exterior concentrado. Momento flector local cuyo valor máximo se obtendrá, siempre que no se desarrolle un cálculo más exacto, de la expresión siguiente:

$$M_{fa} = \frac{2,5 M_t}{d + 6 I_{ts} / e_a^3}$$

donde

M_{fa} es el momento flector por unidad de longitud;

M_t es el momento torsor exterior concentrado según el apartado 3.7.1;

d es la separación entre rigidizadores verticales del alma y como máximo $d = 2 h_r$;

I_{ts} es la suma de los módulos de torsión del carril y del ala superior;

h_r es la altura h_a del alma de la viga, cuando no exista rigidizador longitudinal del alma de la misma, y la altura h' entre el rigidizador longitudinal del alma de la viga y el ala superior de ésta, cuando exista tal rigidizador longitudinal.

3.7.2.4 Solicitaciones de los rigidizadores verticales del alma de la viga carrilera. Los rigidizadores verticales del alma de la viga carrilera deberán dimensionarse de forma que aseguren la transmisión a dicha alma de las reacciones verticales de apoyo y de las cargas de rueda de los puentes grúa, impidan su abolladura y transmitan a las alas superior e inferior las cargas torsoras exteriores.

3.7.2.5 Flexión de los elementos de fijación de los extremos de la viga carrilera a los soportes del camino de rodadura. En las vigas carrileras, los elementos de fijación de las mismas a los soportes se pueden encontrar sometidos a elevados esfuerzos de flexión y cortadura, cuando no se haya adoptado el tipo de elemento de fijación adecuado. Todo elemento de fijación, tanto de la viga carrilera como de su viga horizontal, a los soportes, deberá ejercer una coacción mínima sobre los corrimientos y el giro de cada uno de los extremos de aquéllas.

En las vigas isostáticas de un solo vano, las solicitaciones inducidas en los elementos de fijación se determinarán teniendo en cuenta:

- 1) El corrimiento vertical de la viga carrilera en su apoyo, siempre que no se realice un cálculo más exacto, se determinará como sigue:

$$\Delta V_{\max} = \frac{R_v h}{E A_v}$$

donde

R_v es la reacción vertical en el apoyo de la viga carrilera;

h es la altura de la sección de la viga;

A_v es el área de la sección de apoyo de la viga carrilera;

E es el módulo de elasticidad del acero.

- 2) El corrimiento horizontal del mismo extremo:

$$\Delta h_{\max} = \frac{M L h}{6 E I_v}$$

donde

M es el momento flector máximo en el vano de la viga;

I_v es el momento de inercia de la sección de la viga respecto a su eje horizontal principal.

Según ejemplo de la figura 9.

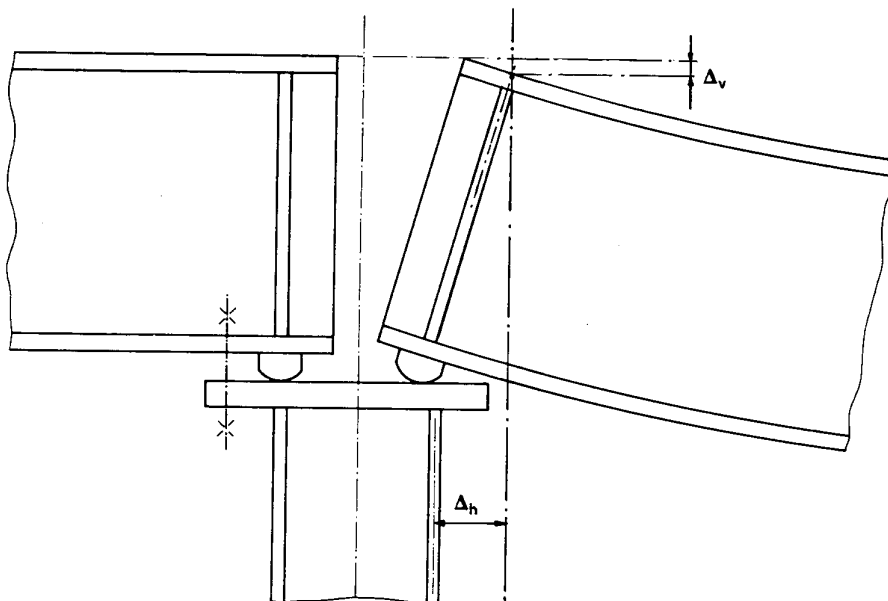


Figura 9

4 HIPOTESIS DE CALCULO

4.1 Estados límites últimos

Las hipótesis de cálculo a considerar en Estado Límite Ultimo y los coeficientes de ponderación correspondientes figuran en la tabla 8.

Los esfuerzos locales, producidos por las acciones de ruedas consideradas en cada hipótesis, se superpondrán a los esfuerzos generales para el cálculo de las tensiones.

Su determinación se llevará a cabo a partir de las acciones ponderadas consideradas en la hipótesis en estudio.

4.2 Estado límite de servicio

4.2.1 Flechas en el camino de rodadura. Salvo indicación específica en el Pliego de Condiciones Particulares de la obra de la que forma parte el camino de rodadura, se adoptarán los siguientes valores:

- Flecha vertical: 1/750 de la luz;
- Flecha horizontal: 1/1 000 de la luz.

Los valores de las flechas corresponden a las que producen en el centro del vano las acciones máximas de las ruedas del puente grúa más desfavorable colocado en la posición en que origine la flecha máxima, pero sin aplicación del coeficiente de efectos dinámicos y con coeficientes de ponderación iguales a la unidad.

El valor de la flecha horizontal corresponde a la que producen las acciones horizontales H_c máximas del puente grúa más desfavorable, debidas al movimiento del carro cargado, colocado aquél en la posición en que se origine la flecha horizontal máxima.

Tabla 8
Hipótesis de cálculo y coeficientes de ponderación

Hipótesis de cálculo		Coeficientes de ponderación
1	Acciones permanentes.	1,33
	Acciones verticales procedentes del puente grúa más desfavorable con el coeficiente de efectos dinámicos \emptyset max.	1,50
	Viento de 0,3 kN/m ² . ³⁾	1,50
2	Acciones permanentes.	1,33
	Acciones verticales procedentes de varios puentes grúa con el coeficiente dinámico reducido \emptyset_{red} .	1,50
	Viento de 0,3 kN/m ² . ³⁾	1,50
3 1)	Acciones permanentes.	1,33
	Acciones verticales procedentes de varios puentes grúa con el coeficiente dinámico reducido \emptyset_{red} .	1,33
	Acciones horizontales transversales H_c ; H_p ; H_o ²⁾	1,33
	Acciones horizontales longitudinales H_L .	1,33
	Viento de 0,3 kN/m ² . ³⁾	1,33
		Continúa

Tabla 8
Hipótesis de cálculo y coeficientes de ponderación (continuación)

Hipótesis de cálculo		Coeficientes de ponderación
4	Acciones permanentes.	1,33
	Acciones verticales procedentes del puente grúa con el coeficiente reducido ϕ_{red} .	1,20
	Choque de un puente grúa contra los topes del camino de rodadura.	1,20
5	Acciones permanentes.	1,00
	Acciones verticales procedentes de varios puentes grúa con el coeficiente dinámico reducido.	1,00
	Acción sísmica.	1,00
6	Acciones permanentes más sobrecarga en pasarelas.	1,33
	Acciones verticales procedentes de varios puentes grúa, sin el coeficiente dinámico.	1,33
	Variación de la temperatura.	1,33
	Viento máximo. ³⁾	1,33
NOTAS 1) También aplicable cuando existe un sólo puente grúa. 2) De un sólo puente grúa según el apartado 3.6.2.6. Se considerarán como simultáneas, con el carro en a_{min} : $\Sigma H_c + H_p$; con el carro en $a = 0,5 L$: $\Sigma H_c + H_o$. 3) Cuando sea aplicable según el apartado 3.5.4.		

4.2.2 Flechas horizontales en los soportes de los caminos de rodadura. La determinación de las flechas se hará a partir de las acciones horizontales ΣH_c , producidas por la actuación de varios puentes grúa de acuerdo con el apartado 3.6.2.6; y, por separado, para el viento.

El corrimiento horizontal máximo del soporte a nivel de la cota de rodadura no será superior a 1/300 de la altura, contada desde la cara superior del cimiento hasta el nivel de rodadura.

La diferencia entre las flechas horizontales de dos soportes enfrentados, situados en una misma sección transversal del camino de rodadura, no excederá de 20 mm.

En los pórticos de frenado, el corrimiento máximo, bajo la actuación de las fuerzas horizontales longitudinales será inferior a 1/1 000 en cualquier caso.

En todos los casos, los coeficientes de ponderación se tomarán iguales a la unidad.

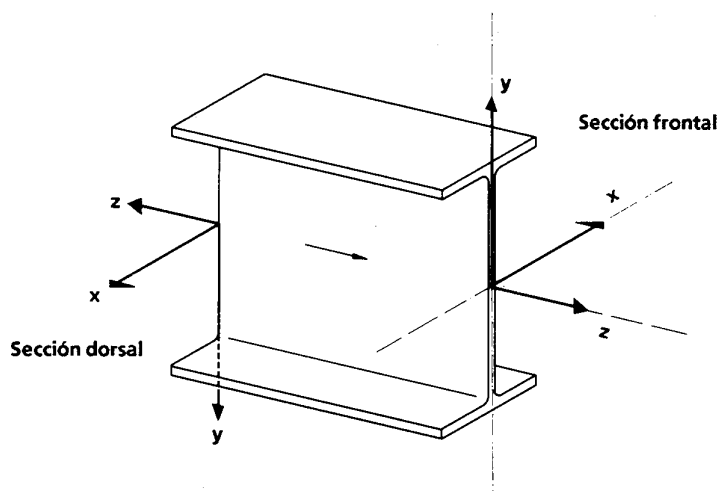


Figura 10

5 CRITERIOS DE AGOTAMIENTO

5.1 Sistema de coordenadas

La definición de las tensiones se basará en el sistema de coordenadas presentado en la figura 10.

5.2 Cálculo de tensiones

Se determinarán las tensiones en los diferentes elementos de la estructura para las hipótesis de cálculo consideradas en el capítulo 4, y se verificará que sus valores no sobrepasarán a los criterios de agotamiento que se definen en el apartado 5.3.

Se aplicarán los procedimientos clásicos de la Mecánica de Materiales.

Se considerarán las secciones brutas de metal sin descontar la superficie de agujeros ocupados por tornillos o roblones en todas las partes sometidas a esfuerzos de compresión; y las secciones netas, descontando la superficie de agujeros, en todas las partes sometidas a esfuerzos de tracción.

5.2.1 Tensiones debidas a la presión local. En caso de que no se efectúe una comprobación más detallada, las tensiones de compresión vertical del alma de la viga carrilera, en su unión a la platabanda superior, se pueden calcular como sigue:

$$\sigma_{cy} = \frac{V_d}{l e_a} ; \tau_{l,zy} = 0,2 \sigma_{cy}$$

donde

l es la longitud de reparto de la presión de la rueda, según el apartado 3.7.2.1;

e_a es el espesor del alma de la viga;

σ_{cy} es la tensión normal máxima de compresión en el borde superior del alma;

$\tau_{l,zy}$ es la tensión tangencial máxima en el mismo borde.

Para determinar la tensión τ_{zy} en el cordón o cordones de soldadura que unen el alma a la platabanda, se multiplicará $\tau_{l,zy}$ por el factor $e_a/2a$ en donde a es la garganta del cordón de soldadura.

Cuando se disponga una banda elástica entre la base del carril y la platabanda, siendo aquella de unos 6 mm de espesor, de dureza Shore A90, se podrán reducir en un 25% los valores de las tensiones τ_{cy} y $\tau_{l,zy}$, de no realizar una comprobación más exacta.

5.2.2 Tensiones debidas a la flexión local del alma. Cuando se den las condiciones mencionadas en el apartado 3.7.1, la tensión normal máxima que aparece en el borde superior del alma, se determinará como sigue:

$$\sigma_{fly} = \pm \frac{6 M_{fa}}{e_a^2}$$

donde

M_{fa} es el momento flector según el apartado 3.7.2.3.

5.2.3 Tensiones debidas a la flexión local de la platabanda superior de la viga carrilera. Cuando se cumplan las condiciones indicadas en el apartado 3.7.2.2, la tensión local máxima en la sección vertical de la platabanda se determinará como sigue:

$$\sigma_{flz} = \pm \frac{6 M_{fp}}{b e_p^2}$$

donde

b es el ancho de la platabanda.

Cuando el ala esté rigidizada se tomará el módulo resistente correspondiente.

5.3 Resistencia de cálculo del acero

La resistencia de cálculo del acero viene fijada por la expresión:

$$\sigma_u = \frac{\sigma_E}{\gamma_m}$$

donde

$\gamma_m = 1$, para los aceros con límite elástico mínimo garantizado, entre ellos los incluidos en la norma UNE 36-080.

No se recomienda la utilización de aceros cuyo límite elástico mínimo no esté garantizado.

5.4 Condiciones de agotamiento

Las tensiones debidas a esfuerzos locales se deben componer con las debidas a los esfuerzos generales de flexión y torsión.

El agotamiento de una sección se produce cuando en el punto más desfavorable de la misma, la tensión de comparación de acuerdo con el criterio de von Mises alcanza el valor de la resistencia de cálculo de acero.

$$\sigma_{co} = \sigma_u$$

La tensión de comparación viene dada por las siguientes expresiones:

- En un estado triple de tensión, definido por sus tensiones principales $\sigma_I \geq \sigma_{II} \geq \sigma_{III}$:

$$\sigma_{co} = \sqrt{\frac{1}{2} \left[(\sigma_I - \sigma_{II})^2 + (\sigma_I - \sigma_{III})^2 + (\sigma_{II} - \sigma_{III})^2 \right]}$$

- En un estado triple de tensión definido respecto a ejes cualesquiera:

$$\sigma_{co} = \sqrt{\frac{1}{2} \left[(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_x - \sigma_z)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + 6(\zeta_{xy}^2 + \zeta_{xz}^2 + \zeta_{yz}^2) \right]}$$

- En un estado de tracción triple:

$$\sigma_{co} = 2 \sigma_I$$

si el estado tensional está referido a ejes principales de inercia; o bien

$$\sigma_{co} = 2 \max(\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z)$$

si está referido a ejes cualesquiera, siempre que este valor sea superior a los dados por las expresiones anteriores correspondientes.

- En un estado plano de tensiones, referido a ejes principales de inercia:

$$\sigma_{co} = \sqrt{\sigma_I^2 + \sigma_{II}^2 - \sigma_I \sigma_{II}}$$

- En un estado plano de tensiones, referido a ejes cualesquiera:

$$\sigma_{co} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \sigma_y + 3 \zeta_{xy}^2}$$

- En un estado de cortadura pura:

$$\sigma_{co} = 1,732 \zeta$$

6 CALCULO A FATIGA

En el diseño, el dimensionamiento y la verificación de la respuesta de los componentes estructurales del camino de rodadura en fatiga se seguirá lo especificado en la norma UNE 76-202 Bases para el cálculo de fatiga de estructuras de acero.

6.1 Valoración de las acciones

Se retendrán las acciones características y los coeficientes dinámicos contemplados en la hipótesis de cálculo primera del capítulo 4 de la presente norma, a excepción del viento. En consecuencia, el tren de acciones verticales irá acompañado de los torsores locales correspondientes.

A diferencia de lo indicado en el capítulo 4, tales acciones irán afectadas por el parámetro del espectro de cargas, K_Q , que -a falta de mayor precisión- será el especificado por la norma UNE 58-112.

6.2 Número de ciclos de sollicitación

Como número de ciclos de sollicitación general de una de las dos vigas de un tramo del camino de rodadura se retendrá el número de ciclos equivalente, N_e , que es aquél que representa por sus efectos los producidos por el número máximo convencional, N_m , de maniobras que se espera en toda la vida de servicio de la obra.

El número N_e se podrá determinar -a falta de un mayor rigor- como sigue, en función de la relación existente entre la menor y la mayor de las acciones verticales, $v = (V_{\min}/V_{\max})$, que actúen en el tramo de camino:

$$N_e = 2N_m \xi$$

valiendo:

$$\xi = v^3 + \frac{3}{4} v^2 K_Q (1-v) + \frac{1}{2} v K_Q^2 (1-v)^2 + \frac{1}{8} K_Q^3 (1-v)^3$$

y siendo K_Q el parámetro del espectro de cargas.

El número de ciclos equivalente, N_{el} , de variación de la sollicitación local, inducida en un punto genérico de una sección transversal de una de las dos vigas de un tramo del camino de rodadura, se podrá determinar como sigue:

$$N_{el} = 2 N_m \xi \quad n$$

siendo n el número de ruedas del tren de cargas que pone en sollicitación general al componente del tramo en cuestión.

No será preciso efectuar verificación alguna de la respuesta en fatiga, cuando $N_e \approx 100\,000$ ciclos.

6.3 Ponderación de la resistencia a la fatiga

Siempre que no se contemple la existencia de inspecciones periódicas frecuentes de la obra en explotación o que, contemplándola, la estructura presente partes que, pudiendo ser causa de ruina general por fatiga, sean imposibles de inspeccionar, se adoptará un factor de ponderación de la resistencia en fatiga del material, $\gamma_m = 1,3$.

Además, puesto que mediante los procedimientos mencionados por la norma UNE 76-202 es imposible modelizar el espectro de tensiones resultantes, por respuesta general más la local, se debe considerar en el cálculo un segundo factor parcial de seguridad.

$\gamma_s = 1,25$, reductor de la resistencia en fatiga del material.

7 NORMAS PARA CONSULTA

UNE 36-080 – *Aceros no aleados, laminados en caliente, para construcciones metálicas.*

UNE 58-112 – *Aparatos de elevación. Clasificación.*

UNE 76-202¹⁾ – *Bases para el cálculo de fatiga.*

8 BIBLIOGRAFIA

NBE-MV-101 Acciones en la edificación.

P.G, S-1 Norma Sismorresistente.

1) En elaboración.

Fuerza de elevación kN	l m	a m	b m	c m	d m	A m	B o B ₁ m	Figura	Fuerza de elevación kN	L m	a _{min} m	b m	c m	d m	A m	B o B ₁ m	Figura
50	10,0	0,8	0,23	—	1,65	4,0	2,5	1-b	300/50	10,0	1,1	0,35	—	2,35	5,10	3,70	1-b
	13,0									13,0							
	16,0									16,0							
	19,0									19,0							
	22,0					4,7	3,4			5,50					4,10		
	25,0															25,0	
	28,0															28,0	
	31,0															31,0	
100	10,0	0,9	0,3	—	1,9	4,9	3,00	1-b	500/100	10,0	1,3	0,4	—	2,85	6,00	4,55	1-b
	13,0									13,0							
	16,0									16,0							
	19,0									19,0							
	22,0					5,4	3,5			6,15					4,75		
	25,0															25,0	
	28,0															28,0	
	31,0															31,0	
150	10,0	1,0	0,3	—	2,0	4,9	3,00	1-b	750/150	10,0	1,4	0,6	0,95	3,00	8,50	6,15	1-c
	13,0									13,0							
	16,0									16,0							
	19,0									19,0							
	22,0					5,4	3,5			8,70			6,30				
	25,0													25,0			
	28,0													28,0			
	31,0													31,0			
200/50	10,0	1,0	0,3		2,15	5,10	3,20	1-b	1 000/ 200	10,0	1,5	0,7	1,10	3,25	9,00	6,50	1-c
	13,0									13,0							
	16,0									16,0							
	19,0									19,0							
	22,0					5,65	3,75			9,20			6,60				
	25,0													25,0			
	28,0													28,0			
	31,0													31,0			

Tabla A-2
Pesos, acciones de rueda y factor ω de resistencia por fricción

Fuerza de elevación kN	Luz entre carriles L m	Figura	Grupos 1 y 2					Grupos 3 y 4					Grupos 5 y 6, 7 y 8					Luz entre carriles L m	Fuerza de elevación kN	Factor ω
			Pesos			Cga.de rueda		Pesos			Cga.de rueda		Pesos			Cga.de rueda				
			Carro C kN	Puen- te P kN	Total (C+P) kN	V _{máx} kN	V _{mín} kN	Carro C kN	Puen- te P kN	Total (C+P) kN	V _{máx} kN	V _{mín} kN	Carro C kN	Puen- te P kN	Total (C+P) kN	V _{máx} kN	V _{mín} kN			
50	10,0		20,0	112,0	132,0	60,2	30,8	22,0	114,0	136,0	61,6	31,4	30,0	116,0	146,0	65,8	32,2	50	0,005	
	13,0			130,0	150,0	65,3	34,7		132,0	154,0	67,3	34,7		134,0	164,0	71,0	36,0			
	16,0			157,0	177,0	72,3	41,2		159,0	181,0	74,0	41,5		160,0	191,0	78,0	42,5			
	19,0			184,0	209,0	79,5	47,5		186,0	208,0	81,0	48,0		188,0	218,0	85,3	48,7			
	22,0			228,0	248,0	90,7	58,3		228,0	250,0	91,7	58,3		230,0	260,0	96,0	59,0			
	25,0			257,0	277,0	98,2	65,3		258,0	280,0	99,3	65,7		260,0	290,0	103,7	66,3			
	28,0			290,0	310,0	106,5	73,5		290,0	312,0	107,5	73,5		292,0	322,0	111,9	74,1			
31,0	310,0	330,0	111,6	78,4	311,0	333,0	112,9	78,6	313,0	343,0	117,3	79,2	31,0							
100	10,0		38,0	132,0	170,0	95,8	39,2	40,0	135,0	175,0	97,5	40,0	45,0	145,0	190,0	102,2	42,8	100	0,0045	
	13,0			152,0	190,0	102,2	42,8		155,0	195,0	103,9	43,6		165,0	210,0	108,7	46,3			
	16,0			167,0	205,0	107,0	45,5		170,0	210,0	108,6	46,4		185,0	230,0	114,7	50,3			
	19,0			197,0	235,0	115,0	52,5		200,0	240,0	116,7	53,3		215,0	260,0	122,8	57,2			
	22,0			227,0	265,0	123,0	59,5		230,0	270,0	124,6	60,4		245,0	290,0	130,8	64,2			
	25,0			257,0	295,0	130,8	66,7		260,0	300,0	132,5	67,5		275,0	320,0	138,6	71,4			
	28,0			307,0	345,0	143,6	79,9		308,0	348,0	144,8	80,5		323,0	368,0	150,9	83,1			
31,0	357,0	395,0	156,2	91,2	360,0	400,0	158,0	92,0	375,0	420,0	164,1	95,9	31,0							
150	10,0		52,0	143,0	195,0	126,6	45,9	53,0	147,0	200,0	128,1	46,9	60,0	165,0	225,0	135,8	51,7	150	0,004	
	13,0			163,0	215,0	134,0	48,5		167,0	220,0	135,4	49,6		185,0	245,0	143,2	54,3			
	16,0			193,0	245,0	142,9	54,6		197,0	250,0	144,4	55,6		215,0	275,0	152,2	60,3			
	19,0			223,0	275,0	151,4	61,1		227,0	280,0	152,9	62,1		255,0	315,0	163,2	69,3			
	22,0			253,0	305,0	159,6	67,9		257,0	310,0	161,1	68,9		290,0	350,0	172,7	77,2			
	25,0			283,0	335,0	167,7	74,8		287,0	340,0	169,2	75,8		325,0	385,0	182,1	85,4			
	28,0			353,0	405,0	185,6	91,9		357,0	410,0	187,1	92,9		385,0	445,0	197,5	100,0			
31,0	388,0	440,0	193,1	101,9	397,0	450,0	197,5	102,5	425,0	485,0	207,9	109,6	31,0							

Continúa

Tabla A-2
Pesos, acciones de rueda y factor ω de resistencia por fricción (continuación)

Fuerza de elevación kN	Luz entre carriles L m	Figura	Grupos 1 y 2						Grupos 3 y 4						Grupos 5 y 6, 7 y 8						Luz entre carriles L m	Fuerza de elevación kN	Factor ω					
			Pesos			Cga. de rueda			Pesos			Cga. de rueda			Pesos			Cga. de rueda										
			Carro C kN	Puen- te P kN	Total (C+P) kN	V _{máx} kN	V _{mín} kN	Carro C kN	Puen- te P kN	Total (C+P) kN	V _{máx} kN	V _{mín} kN	Carro C kN	Puen- te P kN	Total (C+P) kN	V _{máx} kN	V _{mín} kN											
200/50	10,0		84,0	146,0	230,0	164,3	50,7	85,0	150,0	235,0	165,8	51,7	93,0	157,0	250,0	171,1	53,9		200/50	0,004								
	166,0			250,0	172,6	52,4	170,0														255,0	174,0	53,5	177,0	270,0	179,5	55,5	22,0
	196,0			280,0	182,1	57,9	200,0														285,0	183,6	58,9	207,0	300,0	189,1	60,9	25,0
	236,0			320,0	193,5	66,5	240,0														325,0	195,0	67,5	242,0	335,0	199,3	68,2	28,0
	271,0			355,0	204,5	73,0	275,0														360,0	204,8	75,2	277,0	370,0	209,1	75,9	31,0
	321,0			405,0	216,6	85,9	325,0														410,0	218,1	86,3	327,0	420,0	222,4	87,6	10,0
	376,0			460,0	230,9	99,1	380,0														465,0	232,4	100,1	382,0	475,0	236,8	101,0	13,0
300/50	10,0		112,0	223,0	335,0	239,1	78,4	120,0	230,0	350,0	244,4	80,6	125,0	240,0	365,0	249,1	83,4		300/50	0,0035								
	263,0			375,0	254,3	83,2	270,0														390,0	259,7	85,3	275,0	400,0	263,3	86,7	13,0
	298,0			410,0	266,3	88,7	305,0														425,0	271,8	90,7	320,0	445,0	277,9	94,6	16,0
	348,0			460,0	281,1	98,9	355,0														475,0	286,6	100,9	375,0	500,0	293,3	106,1	19,0
	398,0			505,0	294,0	108,6	400,0														520,0	299,5	110,5	420,0	545,0	305,9	115,6	22,0
	438,0			550,0	306,4	118,6	445,0														565,0	312,0	120,5	465,0	590,0	319,4	125,6	25,0
	493,0			605,0	321,2	131,3	500,0														620,0	326,8	133,3	530,0	655,0	336,7	140,8	28,0
500/100	10,0		175,0	548,0	660,0	335,7	144,3	180,0	555,0	675,0	341,3	146,2	185,0	575,0	700,0	348,7	151,5		500/100	0,0035								
	280,0			455,0	363,6	113,9	290,0														470,0	368,3	116,7	305,0	490,0	374,8	120,0	10,0
	325,0			500,0	385,0	115,0	335,0														515,0	389,8	117,8	345,0	530,0	394,5	121,0	13,0
	375,0			550,0	403,8	121,2	385,0														565,0	408,6	123,9	400,0	585,0	414,7	127,8	16,0
	425,0			600,0	420,7	129,3	435,0														615,0	425,5	132,0	460,0	645,0	434,1	138,4	19,0
	475,0			650,0	436,3	138,7	485,0														665,0	441,2	141,3	505,0	690,0	448,5	146,5	22,0
	530,0			705,0	452,5	150,0	540,0														720,0	457,3	152,7	555,0	740,0	463,4	156,6	25,0
530,0	755,0	466,8	160,7	590,0	770,0	471,7	163,3	610,0	795,0	479,1	168,4	28,0																
650,0	825,0	485,8	176,7	660,0	840,0	490,7	179,3	675,0	860,0	496,3	183,1	31,0																

Continúa

Tabla A-2
Pesos, acciones de rueda y factor ω de resistencia por fricción (continuación)

Fuerza de elevación kN	Luz entre carriles L m	Figura	Grupos 1 y 2						Grupos 3 y 4						Grupos 5 y 6, 7 y 8				Luz entre carriles L m	Fuerza de elevación kN	Factor ω		
			Pesos			Cga.de rueda			Pesos			Cga.de rueda			Pesos		Cga.de rueda						
			Carro C kN	Puen- te P kN	Total (C+P) kN	V _{máx} kN	V _{mín} kN	Carro C kN	Puen- te P kN	Total (C+P) kN	V _{máx} kN	V _{mín} kN	Carro C kN	Puen- te P kN	Total (C+P) kN	V _{máx} kN	V _{mín} kN						
750/200	10,0		35 0,0	45 0,0	80 0,0	29 2,8	9 4,8	38 0,0	47 0,0	85 0,0	30 1,7	9 8,3	47 0,0	85 0,0	30 1,7	9 8,3	10,0	750/200	0, 0035				
	50 0,0			85 0,0	30 7,9	9 2,1	52 0,0													90 0,0	31 7,1	9 5,4	13,0
	55 0,0			90 0,0	31 9,7	9 2,8	57 0,0													95 0,0	32 9,0	9 6,0	16,0
	65 0,0			100 0,0	33 6,0	10 1,5	67 0,0													105 0,0	34 5,4	10 4,6	19,0
	75 0,0			110 0,0	35 1,3	11 1,3	77 0,0													115 0,0	36 0,8	11 4,2	22,0
	85 0,0			120 0,0	36 5,9	12 1,7	87 0,0													125 0,0	37 5,4	12 1,6	25,0
	95 0,0			130 0,0	38 0,0	13 2,5	97 0,0													135 0,0	38 9,6	13 5,4	28,0
	100 0,0			135 0,0	38 7,6	13 7,4	102 0,0													140 0,0	39 7,2	14 0,3	31,0
1 000/200	13,0		38 0,0	52 0,0	90 0,0	37 0,2	10 4,8	42 0,0	53 0,0	95 0,0	38 0,3	10 7,2	53 0,0	95 0,0	38 0,3	10 7,2	13,0	1 000/200	0, 003				
	62 0,0			100 0,0	39 0,2	10 9,8	63 0,0													105 0,0	40 0,5	11 2,0	16,0
	72 0,0			110 0,0	40 7,8	11 7,2	73 0,0													115 0,0	41 8,2	11 9,3	19,0
	82 0,0			120 0,0	42 4,0	12 6,0	83 0,0													125 0,0	43 4,5	12 8,0	22,0
	92 0,0			130 0,0	43 9,3	13 5,7	93 0,0													135 0,0	45 0,0	13 7,6	25,0
	102 0,0			170 0,0	45 4,0	14 6,0	103 0,0													145 0,0	46 4,7	14 7,8	28,0
	112 0,0			150 0,0	46 8,3	15 6,7	113 0,0													155 0,0	47 9,1	15 8,4	31,0

Tabla A-3
Velocidades de movimiento en m/min

Fuerza de elevación kN	Carro			Puente		
	Lenta	Media	Rápida	Lenta	Media	Rápida
30	30	45	60	60	90	120
50	30	45	60	60	90	120
100	30	45	60	60	90	120
150	30	45	60	60	90	120
200	30	45	60	60	90	120
300	30	40	50	50	80	100
500	25	35	50	40	70	90
750	15	30	40	30	60	80
1 000	15	30	40	30	50	60

En caso de puentes grúa con mando de botonera desde el suelo, la velocidad de movimiento no excederá los 60 m/min.