

**piezas sometidas
a flexión**

UNE 76-201-88

**Apéndice II. Caminos de rodadura de puentes
grúa. Bases específicas para su cálculo.**

piezas sometidas a flexión

PARTE PRIMERA: CALCULO DE LOS CAMINOS DE RODADURA SOMETIDOS A LAS ACCIONES ESTATICAS Y DINAMICAS ORIGINADAS POR LOS PUENTES GRUA

1. OBJETO
2. ALCANCE
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.
 - 3.1.1. Dimensiones.
 - 3.1.2. Peso propio de aparato y de la carga de servicio.
 - 3.1.3. Características de los distintos movimientos.
 - 3.2. Características que debe suministrar el usuario.
 - 3.2.1. Altura máxima de elevación (cota superior del gancho).
 - 3.2.2. Condiciones de utilización del puente.
 - 3.2.3. Estado de carga.
 - 3.3. Características medias de los puentes grúa no especiales.
 - 3.4. Clasificación de los puentes grúa.
 - 3.4.1. Condiciones de utilización.
 - 3.4.2. Estado de carga.
 - 3.4.3. Grupos de puentes grúa.
 - 3.5. Cargas que deben considerarse en el cálculo.
 - 3.5.1. Carga permanente.
 - 3.5.2. Carga móvil del puente.
 - 3.5.3. Carga móvil de la pasarela.
 - 3.5.4. Acción del viento.
 - 3.5.5. Variación de temperatura.
 - 3.5.6. Acción sísmica.
 - 3.6. Evaluación de los esfuerzos.
 - 3.6.1. Carga permanente.
 - 3.6.2. Carga móvil del puente.
 - 3.6.2.1. Ambito.
 - 3.6.2.2. Notación.
 - 3.6.2.3. Reacciones verticales de las ruedas del puente grúa.
 - 3.6.2.4. Reacciones horizontales longitudinales.
 - 3.6.2.5. Reacciones horizontales transversales sobre los carriles de traslación del puente.
 - 3.6.2.6. Punto de aplicación de las reacciones.
 - 3.6.2.7. Simultaneidad de acción de varios puentes grúa.
 - 3.6.3. Carga móvil sobre las pasarelas.
 - 3.6.4. Acción del viento.
 - 3.6.5. Variación de temperatura.
 - 3.6.6. Acción sísmica.
 - 3.7. Efectos locales.
 - 3.7.1. Tren de sobrecarga torsora.

piezas sometidas a flexión

3.7.2. Esfuerzos locales.

- 3.7.2.1. Longitud de reparto de la presión local de las ruedas.
- 3.7.2.2. Flexión local de la platabanda superior de la viga carrilera.
- 3.7.2.3. Flexión local de la parte superior del alma de la viga carrilera.
- 3.7.2.4. Flexión de los rigidizadores verticales del alma de la viga carrilera.
- 3.7.2.5. Flexión de los elementos de fijación de los extremos de la viga carrilera a los soportes del camino de rodadura.

4. HIPOTESIS DE CALCULO

- 4.1. Hipótesis para los esfuerzos locales.

5. FLECHAS ADMISIBLES

- 5.1. Flechas en el camino de rodadura.
- 5.2. Flechas horizontales en los soportes de los caminos de rodadura.

6. CRITERIOS DE AGOTAMIENTO

- 6.1. Sistema de coordenadas.
- 6.2. Cálculo de tensiones.
 - 6.2.1. Tensiones debidas a la presión local.
 - 6.2.2. Tensiones debidas a la flexión local del alma.
 - 6.2.3. Tensiones debidas a la flexión local de la platabanda superior de la viga carrilera.
- 6.3. Condición de agotamiento.
- 6.4. Resistencia de cálculo de acero.

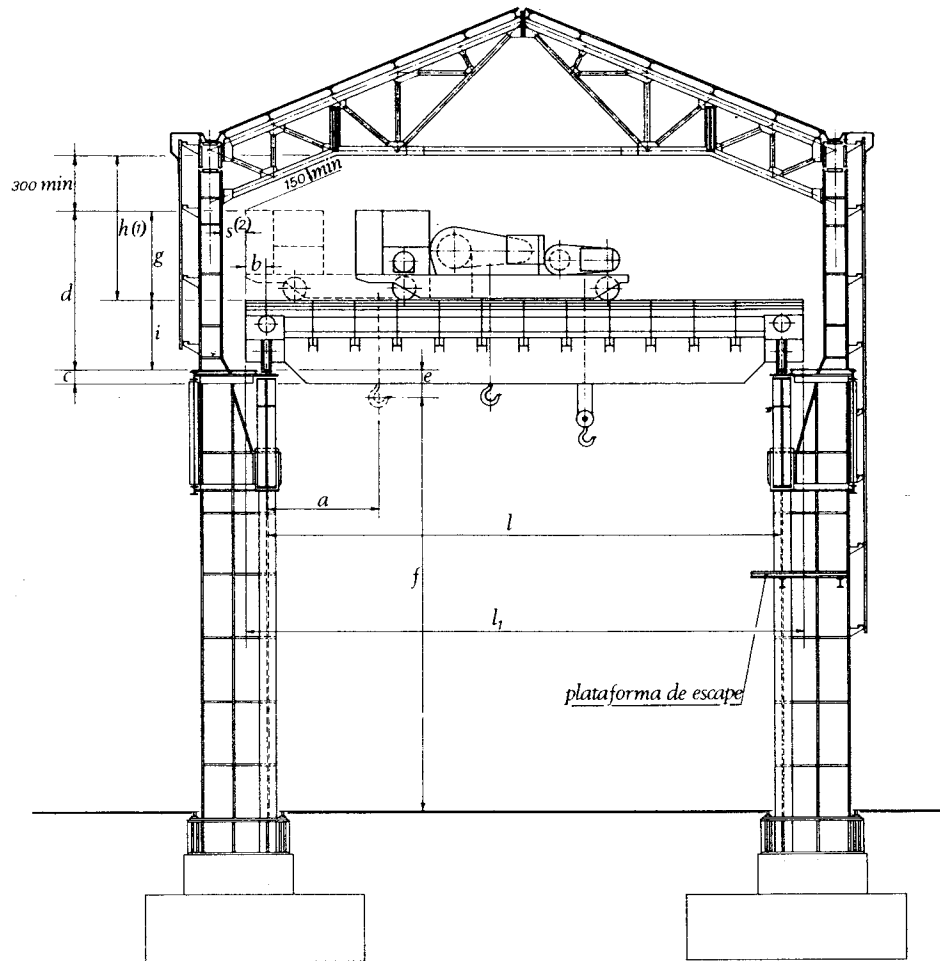
ANEJO 1. Características medias de los puentes grúa no especiales.

PARTE SEGUNDA: COMPROBACION DEL CAMINO DE RODADURA TENIENDO EN CUENTA LA FATIGA QUE PRODUCEN LAS CARGAS REPETIDAS

7. COMPROBACION DE LA FATIGA

- 7.1. Efecto de la fatiga.
 - 7.1.1. Número de ciclos.
 - 7.1.2. Variación del esfuerzo aplicado.
 - 7.1.3. Grado de entalladura.
- 7.2. Hipótesis de cálculo en fatiga.
- 7.3. Comprobación de la fatiga.
 - 7.3.1. Determinación del parámetro de asimetría del ciclo R.
 - 7.3.1.1. Determinación de las tensiones mínimas en la flexión general de la viga carrilera.
 - 7.3.1.2. Valores del parámetro de asimetría del ciclo R de las tensiones locales.
 - 7.3.2. Elementos que es preciso comprobar.
- 7.4. Tensión admisible máxima de fatiga.

piezas sometidas a flexión



(1) h mín. 1800 mm. cuando sea visible
 (2) 5 mín. 150 mm. cuando no existe pasarela. En caso de pasarela 300 mm.

a

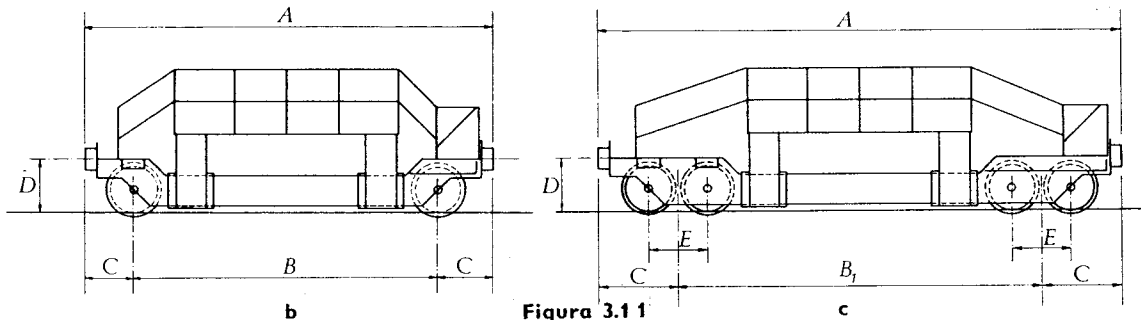


Figura 3.11

PARTE PRIMERA

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 para la construcción metálica se adopten para las estructuras de edificios e instalaciones de las que formen parte los caminos de rodadura.

2. Alcance.

La presente Norma se refiere a las vigas carrileras de los puentes grúa más corrientemente utilizados en fábricas, talleres, almacenes... con valores no extraordinarios para sus luces, cargas y velocidades de elevación. 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 carga unida rígidamente al carro.

Puentes de electroimán.

3. Determinación de las acciones que intervienen en el cálculo de los caminos de rodadura.

3.1. Datos que debe suministrar el Constructor del puente grúa.

3.1.1. Dimensiones. Fig. 3.1 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 al tope (C).

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

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

Posiciones extremas del gancho (a).

Tipo y características de los topes.

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

Posición y dimensiones de las líneas de contacto.

3.1.2. Peso propio del aparato y 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.

— Reacciones verticales de las ruedas de cada viga testera, correspondientes:

a) Al puente enteramente equipado con exclusión de carro.

b) Al carro en vacío, en sus posiciones extremas.

c) A la carga útil en servicio más accesorios en posiciones extremas.

piezas sometidas a flexión

Cuadro de estados de carga

Estado de carga	Definición
0 Muy ligero	Aparatos que levantan excepcionalmente la carga nominal y aseguran corrientemente la manutención de cargas mucho más ligeros.
1 Ligero	Aparatos que rara vez levantan la carga nominal y corrientemente cargas del orden de 1/3 de la carga nominal.
2 Mediano	Aparatos que rara vez levantan la carga nominal y corrientemente cargas comprendidas entre 1/3 y 2/3 de la carga nominal.
3 Pesado	Aparatos que levantan regularmente cargas próximas a la nominal.

Tabla 3.4.2

Cuadro de clasificación de los aparatos en grupos

Estado de carga	Clase de utilización			
	A	B	C	D
0	1	2	3	4
1	2	3	4	5
2	3	4	5	6
3	4	5	6	6

Tabla 3.4.3-1

piezas sometidas a flexión

- Las reacciones 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 media para los movimientos de:

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

3.2. Características que debe suministrar el usuario.

3.2.1. Altura máxima de elevación (cota superior del gancho) con relación al suelo de la nave o edificio.

3.2.2. Condiciones de utilización del puente.

Deberá definir si la utilización del puente es:

- Utilización ocasional no regular.
- Utilización regular en servicio intermitente.
- Utilización regular en servicio intensivo.
- Utilización regular en servicio intensivo continuado.

2.2.3. Estado de carga.

Para definir el estado de carga se precisará en cuál de estos grupos puede clasificarse:

- Muy ligero: Si levantan excepcionalmente la carga nominal y manejan corrientemente cargas más ligeras.
- Ligero: Si levantan rara vez la carga nominal y manejan corrientemente cargas del orden de $1/3$ de la nominal.
- Medio: Si levantan normalmente cargas que varían entre $1/3$ y $2/3$ de la carga nominal.
- Pesado: Si levantan normalmente cargas próximas a la carga nominal.

3.3. Características medias de los puentes grúa no especiales.

Como datos previos de anteproyecto, en ausencia y espera de los definitivos indicados en los artículos precedentes, podrán utilizarse los datos aproximados que figuran en los cuadros del Anejo 1.

3.4. Clasificación de los puentes grúa.

Las acciones que producen los puentes grúa dependen no solo de sus características sino también de sus condiciones de utilización y de su estado de carga. A estos efectos se establece una clasificación de los puentes grúa según los criterios siguientes:

3.4.1. Condiciones de utilización.

Por la duración efectiva de la utilización, puede establecerse la siguiente clasificación:

- A. Utilización ocasional no regular, seguida de largos períodos de descanso.
- B. Utilización regular en servicio intermitente, con numerosos períodos de paro estando casi constantemente utilizado.
- C. Utilización regular en servicio intensivo, con pocos y cortos períodos de paro estando constantemente utilizado.
- D. Utilización en servicio intensivo continuado, durante más de un turno al día.

piezas sometidas a flexión

Ejemplos de clasificación de los aparatos de elevación

Denominación	Clase de utilización	Estado de carga	Grupo
Puente grúa de central	A	0-1	1-2
Puente grúa de montaje y desmontaje para sala de máquinas	A	1-2	2-3
Puente grúa de almacén	B-C	1-2	3-4-5
Puente grúa de taller con gancho	B	1-2	3-4
Puente grúa con cuchara	B-C-D	3	5-6
*Puente grúa para parque de chatarra o puente con electroimán	B-C	3	5-6
*Puente de colada	B	3	5
*Puente rompe-fundición	B-C	3	5-6
*Puente para deslingotar	C-D	3	6
*Puente para hornos de fosa	B-C	3	5-6
*Puente cargador de hornos	C-D	3	5-6
*Puente para forja	C-D	3	5-6
Pórtico con gancho para servicio de parque de material	B-C	2	4-5
Pórtico con cuchara	B-C-D	3	5-6
Pórtico con gancho para descarga o carga sobre vehículo	B-C	2	4-5
Pórtico para almacén	B-C-D	3	5-6
Pórtico para desmontaje de material	A-B	1-2	2-3-4
Grúa para desmontaje y montaje de material	A-B	1-2	2-3-4
Grúa con gancho	B-C	2	4-5
Grúa con cuchara	B-C-D	3	5-6
Grúa de dique	B	2-3	4-5
Grúa de puerto con gancho	B-C	2	4-5
Grúa de puerto con cuchara	B-C	3	5-6
Grúa para servicio excepcional	A	0-1	1-2
Grúa flotante con gancho	A-B	2	3-4
Grúa flotante con cuchara	A-B	3	4-5
Grúa de astillero	A-B	2	3-4
Grúa de reparación sobre vía férrea	A	1-2	2-3
Grúa de a bordo	B	2-3	4-5
Grúa velocipeda automóvil	B-C	2	4-5
Grúa derrick	A-B	2	3
Monocarril (según utilización)			4-5-6
Pórtico y puente para contenedores	B-C	2	4-5

* Puente especial.

Tabla 3.4 3-2

piezas sometidas a flexión

3.4.2. Estado de carga.

El estado de carga se definirá en la práctica por el número de maniobras que realiza el aparato y la carga de servicio según la tabla 3.4.2.

3.4.3. Grupos de puentes grúa.

En función de las condiciones de utilización y los estados de carga definidos en los apartados anteriores, se clasificarán los puentes grúa en seis grupos: 1, 2, 3, 4, 5 y 6, definidos según la tabla 3.4.3-1.

En la tabla 3.4.3-2 se consignan a título de ejemplo, una lista de aparatos clasificados en los grupos definidos anteriormente en función de sus utilizaciones más corrientes.

3.5. Cargas que deben considerarse en el cálculo.

Las cargas que deben considerarse son las siguientes:

- Carga permanente.
- Carga móvil constituida por el propio puente.
- Carga móvil sobre las pasarelas de manutención.
- Acción del viento.
- Variaciones de temperatura.
- Acción sísmica.

3.5.1. Carga permanente.

Comprende 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 considera para el acero un peso específico de 7.850 kg/m^3 .

3.5.2. Carga móvil del puente.

Constituida por las reacciones verticales y horizontales de las ruedas de traslación y eventualmente de guiado del puente grúa.

Estas reacciones 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 positiva o negativa 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.

piezas sometidas a flexión

— 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. Carga móvil de la pasarela.

Originada por la circulación del personal de manutención 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 alguno de los elementos de las vigas carrileras formen parte de la estructura contraviento del edificio.

3.5.5. Variación de temperatura.

Debe considerarse en el caso en que la viga carrilera no puede dilatarse libremente.

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.

3.6. Evaluación de los esfuerzos.

3.6.1. Carga permanente

Origina esfuerzos verticales (momentos flectores y esfuerzos cortantes) a los cuales pueden añadirse esfuerzos de torsión 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.

3.6.2. Carga móvil del puente.

El puente grúa, al crear reacciones 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 los que se añaden esfuerzos de torsión.

3.6.2.1. Ambito.

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

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

3.6 2 2. Notación.

A) Características del puente grúa:

- P peso del puente y su equipo.
 C peso del carro y su equipo.
 N 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) Reacción de una rueda en carga:

— Reacción vertical

- V reacción estática
 V_d reacción dinámica (puente en movimiento).

— Reacción horizontal longitudinal:

- H_l por aceleración o frenado del puente.

— Reacción horizontal transversal.

- H_c por aceleración o frenado del carro.
 H_p por aceleración o frenado del puente.
 H_o por marcha oblicua del puente.

C) Coeficientes:

- f coeficiente de adherencia de la rueda al carril.
 k_c relación entre el número de ruedas motrices del carro a su número total de ruedas.
 k_p relación entre el número de ruedas motrices del puente a su número total de ruedas.
 $\varphi_{máx}$ coeficiente de máxima mayoración dinámica de las reacciones verticales del puente.
 φ_{red} coeficiente de mayoración dinámica reducida de las reacciones verticales del puente.

3.6 2 3. Reacciones verticales de las ruedas del puente grúa.

Las reacciones de las ruedas del puente en movimiento se obtienen a partir de las reacciones estáticas correspondientes, multiplicándolas por un coeficiente de efectos dinámicos. Con las notaciones establecidas:

$$V_d = \varphi \cdot V$$

La tabla 3.6 2 3 da los valores del coeficiente φ 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 actúen simultáneamente más de un puente grúa se aplicará el valor reducido del coeficiente dinámico.

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 ningún valor del coeficiente dinámico.

piezas sometidas a flexión

Valor del coeficiente dinámico vertical φ

Grupo	Viga carrilera		Soportes	
	φ máx	φ red	φ máx	φ red
1-2	1,1	1,1	1,0	1,0
3-4	1,15	1,1	1,0	1,0
5	1,25	1,1	1,1	1,0
6	1,35	1,1	1,2	1,0

Tabla 3.6 2 3

Velocidad <i>m/s</i>	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 <i>s</i>	Aceleración media <i>m/s²</i>	Duración de la aceleración <i>s</i>	Aceleración media <i>m/s²</i>	Duración de la aceleración <i>s</i>	Aceleración media <i>m/s²</i>
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				

Tabla 3.6 2 4

3.6 2 4. Reacciones horizontales longitudinales.

a) Reacciones sobre los carriles de traslación del puente.

La aceleración o el frenado del movimiento de traslación del puente conduce a la aparición de reacciones 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 están dadas por el Constructor de la grúa o impuestas por el usuario, se podrán fijar las mismas, a título indicativo, en función de la velocidad del movimiento y de las tres condiciones de explotación siguientes:

- 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 3.6 2 4 recoge los valores medios de las aceleraciones y deceleraciones para las tres condiciones de explotación.

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

$$\Sigma H_{l \text{ máx}} = (N + C + P) \frac{2 j_p}{\gamma} \leq (N + C + P) f k_p$$

siendo el valor del coeficiente de adherencia:

- $f = 0,12$ en caminos de rodadura húmedos.
 $f = 0,20$ en caminos de rodadura secos.

Se considera que la carga está en su posición más elevada, no se tendrá en cuenta la oscilación de la carga.

Las reacciones 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:

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

siendo

$$\Sigma V_2 = \Sigma V_{min}$$

Reacción longitudinal mayor:

$$H_{l1} = \Sigma H_{l \text{ máx}} - H_{l2}$$

b) Reacciones sobre los topes finales del camino de rodadura.

Estas reacciones corresponden al choque de los topes de las vigas testeras del puente grúa contra los topes finales del camino de rodadura, y son función de la velocidad de traslación del puente, de la elasticidad de la estructura del mismo, y principalmente de la de los amortiguadores de los topes. Los valores de estas reacciones se acuerda-

piezas sometidas a flexión

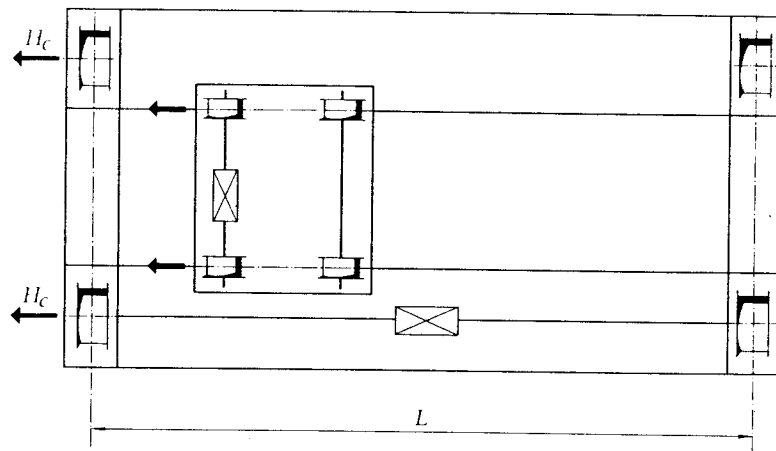


Figura 3.6 2 5-1

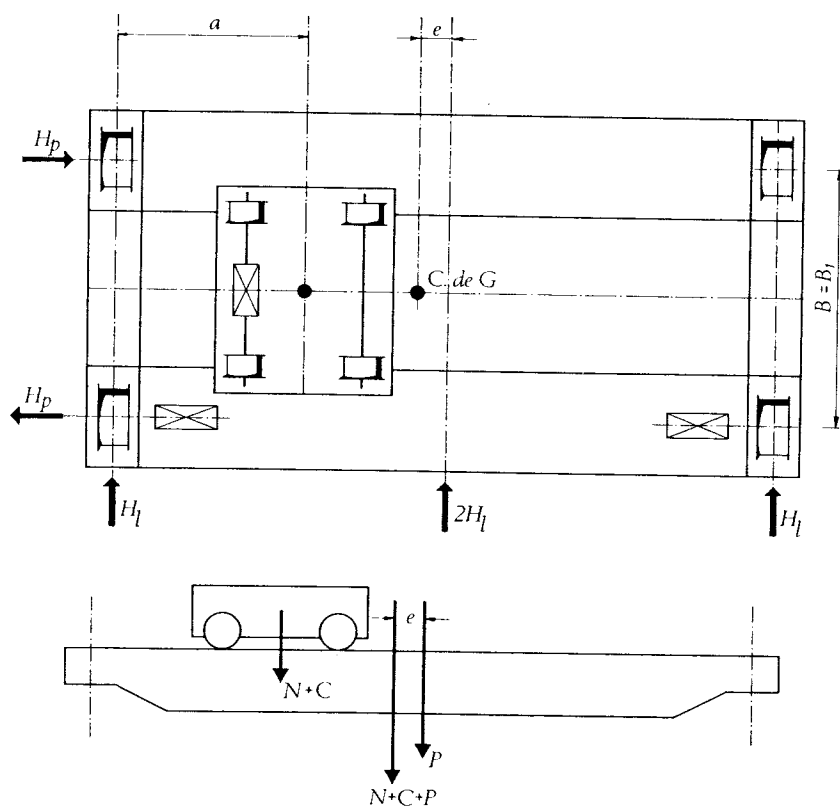


Figura 3.6 2 5-2

piezas sometidas a flexión

rán con el suministrador del puente grúa. A falta de instrucciones pertinentes, se podrán calcular por las expresiones siguientes:

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

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

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

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

siendo s_a el acortamiento del amortiguador.

3.6 2 5. Reacciones horizontales transversales sobre los carriles de traslación del puente.

a) Reacciones H_e , debidas a la aceleración y deceleración del carro.

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

El valor de la aceleración media positiva o negativa es un dato que debe proporcionar el Constructor de la grúa o ser fijado por el usuario. Caso de no ser conocido podrán utilizarse, a título indicativo, los valores que para aceleración media se dan en el cuadro 3.6 2 4 en función de la velocidad del movimiento.

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

$$\Sigma H_{e \text{ máx}} = (N + C) \frac{2 j_c}{g} \leq (N + C) f k_c$$

siendo los valores del coeficiente de adherencia los mismos del apartado 3.6 2 4 (fig. 3.6 2 5-1).

b) Reacciones H_p debidas a la aceleración y 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 las fuerzas de inercia de puente, carro y carga, en el caso de carro desplazado, tiene una excentricidad $e_{máx}$ con relación a dicho eje. Esta excentricidad origina la aparición de fuerzas horizontales transversales que forman un par de equilibrio como se indican en la figura 3.6 2 5-2. El valor máximo de estas fuerzas corresponderá al desplazamiento máximo del carro y por tanto a la excentricidad máxima, y su valor será:

$$H_p \text{ máx} = \pm \Sigma H_i \text{ máx} \frac{e_{máx}}{B}$$

Se considera que la carga está en la posición más elevada.

c) Reacciones H_o debidas a la marcha oblicua del puente.

piezas sometidas a flexión

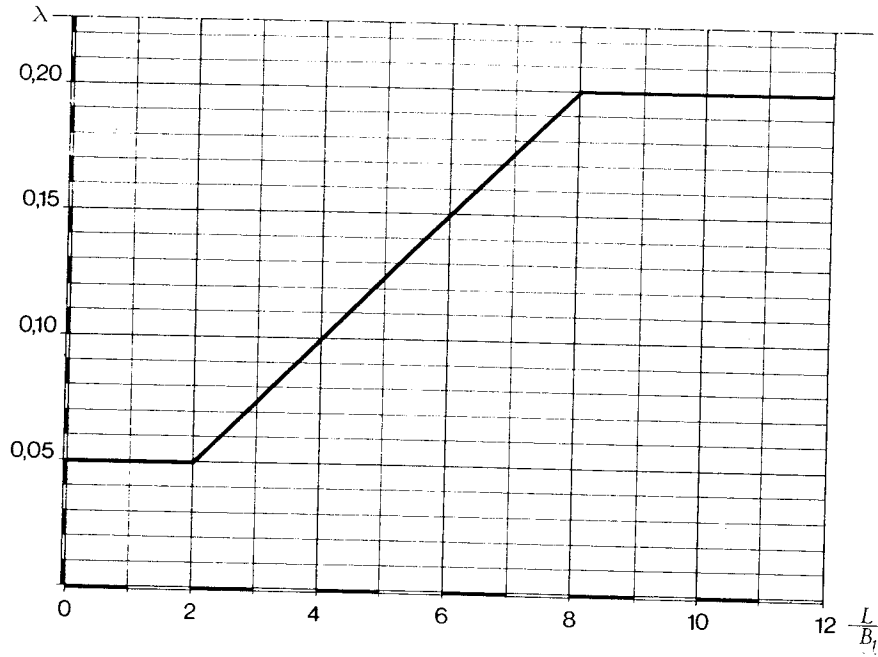


Figura 3.6 2 5-3

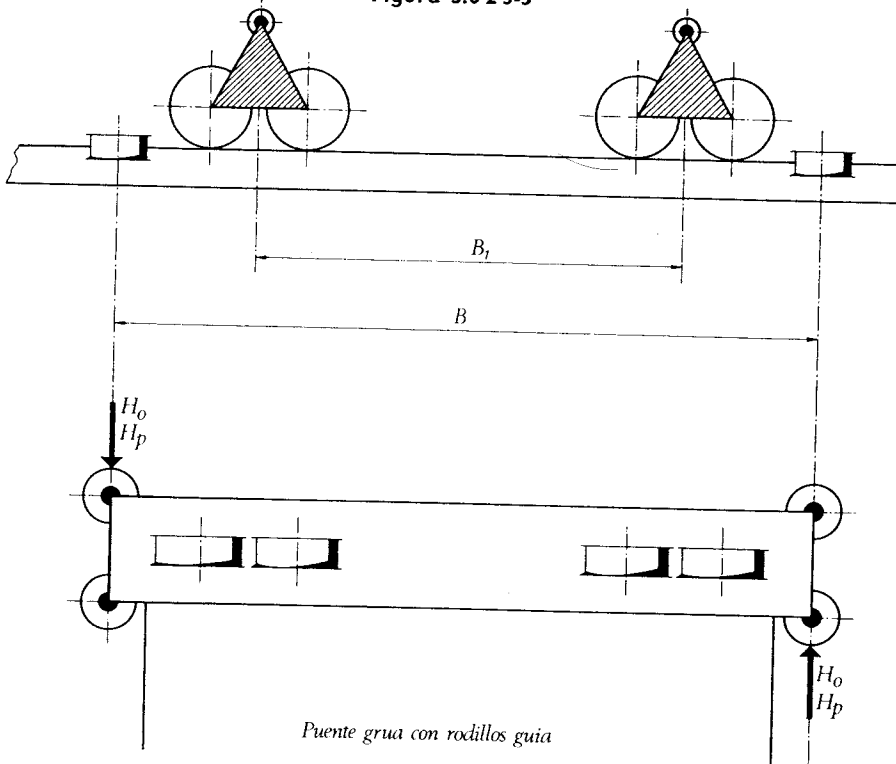


Figura 3.6 2 6-1

piezas sometidas a flexión

La marcha oblicua del puente origina reacciones horizontales transversales (iguales y opuestas) en las ruedas extremas o rodillos guía extremos. A falta de un cálculo más exacto en el que se consideren las particularidades constructivas del puente grúa en cuestión, y las de su mecanismo de traslación, podrá adoptarse como valor de cada fuerza horizontal H_o , constitutivas del par, el dado por la expresión:

$$H_o = \lambda V$$

siendo: V la reacción vertical correspondiente a la rueda extrema donde aparece la reacción horizontal o en el carretón de dos ruedas extremas.

λ factor cuyo valor es función de la relación L/B_1 , según la figura 3.6 2 5-3.

3.6 2 6. Punto de aplicación de las reacciones.

a) Reacciones 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 reacciones verticales tienen una excentricidad horizontal igual a la cuarta parte del ancho de la cabeza del carril.

b) Reacciones 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 artículo 3.6 2 4.
- Las fuerzas horizontales ΣH_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 o deceleración del puente según las figuras 3.6 2 6-1 y 3.6 2 6-2, en función de la existencia o no de rodillos guía y del número y disposición de las ruedas en la viga testera.
- En dichos esquemas se muestra también la posición de fuerzas H_o debidas a la marcha oblicua del puente.

3.6 2 7. Simultaneidad de acción de varios puentes grúa.

Salvo indicación en contrario del usuario de los puentes grúa, cuando existan varios se limitará su número, según los siguientes criterios:

a) Reacciones verticales.

- 1) Camino de rodadura entre dos soportes consecutivos, y soporte entre dos vigas-carril 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:

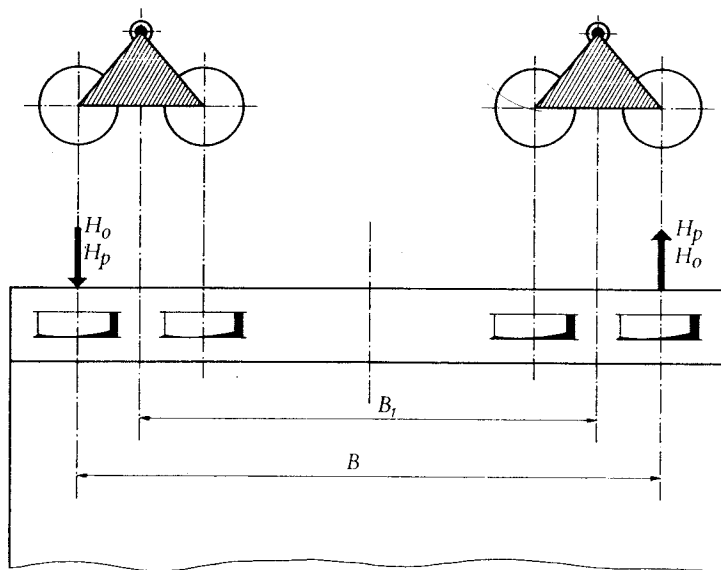
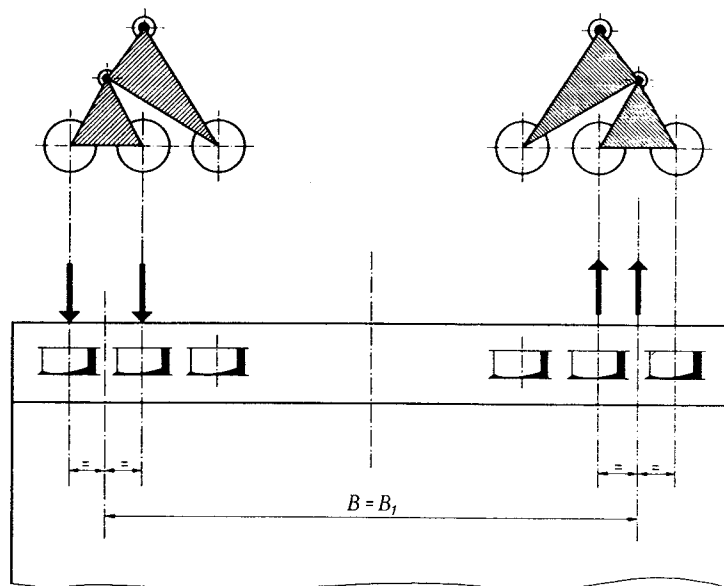
Actuación de un máximo de cuatro puentes grúa (dos por nave).

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

Actuación de un máximo de seis puentes grúa, siempre que sea compatible con los gálibos de las cargas a trasladar.

b) Reacciones horizontales transversales.

piezas sometidas a flexión



Puente grua con ruedas de pestaña

Figura 3.62 6-2

- 1) Camino de rodadura entre dos soportes consecutivos y soporte entre dos vigas-carril 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) Soportes con caminos de rodadura a más de un nivel:
Actuación de un máximo de cuatro puentes grúa (uno por nivel y nave).
- c) Reacciones horizontales longitudinales.
- 1) Camino de rodadura entre dos soportes consecutivos:
Actuación de un máximo de dos puentes grúa.
El primero con la reacción horizontal según apartado 3.6.2.4, el segundo con el 70 % de aquella reacción 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 reacciones, 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, por sistema, predominantemente en pareja, se tratarán como un solo puente grúa.

3.6.3. Carga móvil sobre las pasarelas.

No se considerará su acción conjunta con las reacciones de los puentes grúa en movimiento.

Se considerarán dos casos de carga:

- a) Carga móvil aislada de 300 kg aplicada en un punto cualquiera y repartida en una superficie de un m².
- b) Carga uniformemente repartida de 175 kg/m².

3.6.4. Acción del viento.

El valor de la presión base será de 30 kg/m² cuando el puente está en servicio.

Cuando el puente está fuera de servicio se adoptará el valor que corresponda en función del emplazamiento de la instalación (situación geográfica, altitud, exposición). 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 3.6.4.

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 $\pm 35^\circ$ en elementos situados al exterior, y de $\pm 25^\circ$ en elementos en el interior de edificios.

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

piezas sometidas a flexión

Superficie expuesta por la carga útil a acción del viento

Carga útil en toneladas	1	2	3	5	10	20	30	50	75	100	150
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

Tabla 3.64

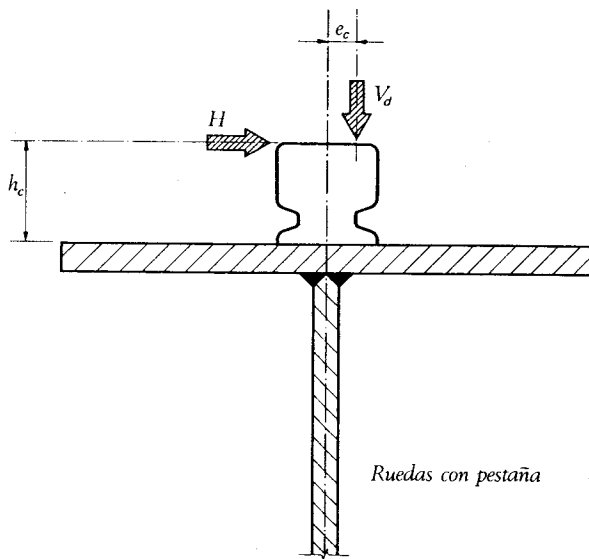


Figura 3.7 1-1

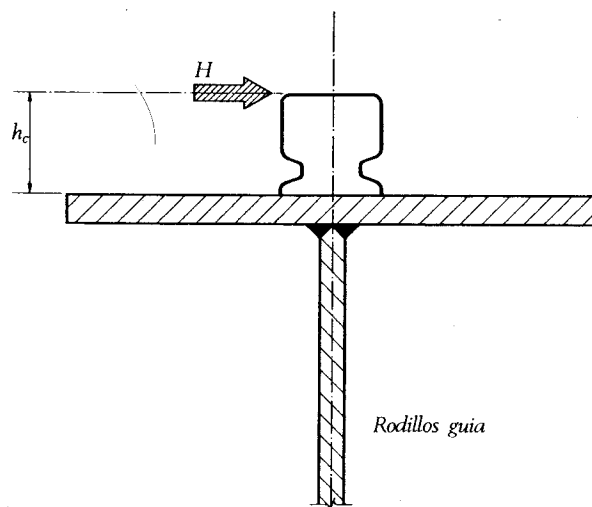


Figura 3.7 1-2

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 (PGS-1-1968). En la determinación de las acciones horizontales no se tendrá en cuenta la carga de servicio.

3.7. Efectos locales.

Las reacciones de las ruedas de los puentes grúa son fuertes cargas concentradas, que independientemente de las solicitaciones generales que como viga 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 del 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 reacciones, 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 aplicados en el punto medio de la cara superior del ala superior de la viga carrilera, tiene por valor:

— En caso de ruedas con pestaña:

$$M_t = V_d e_c + H h_c$$

— En caso de rodillos-guía

$$M_t = H h_c$$

y en otra sección¹:

$$M_t = V_d e_c$$

siendo:

H la reacción horizontal transversal total.

e_c la excentricidad horizontal de aplicación de la reacción vertical de la rueda del puente.

h_c la altura del carril de rodadura del puente grúa. Véanse las figuras 3.7 1-1 y 3.7 1-2.

V_d reacción vertical dinámica.

3.7.2. Esfuerzos locales.

El ala superior de la viga juntamente con el carril pueden considerarse como una viga sobre lecho elástico, bajo la acción de la carga móvil supuesta centrada en el plano del alma.

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

El momento torsor produce 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.

¹ También en ruedas con pestaña en las hipótesis de cálculo 1 y 2.

piezas sometidas a flexión

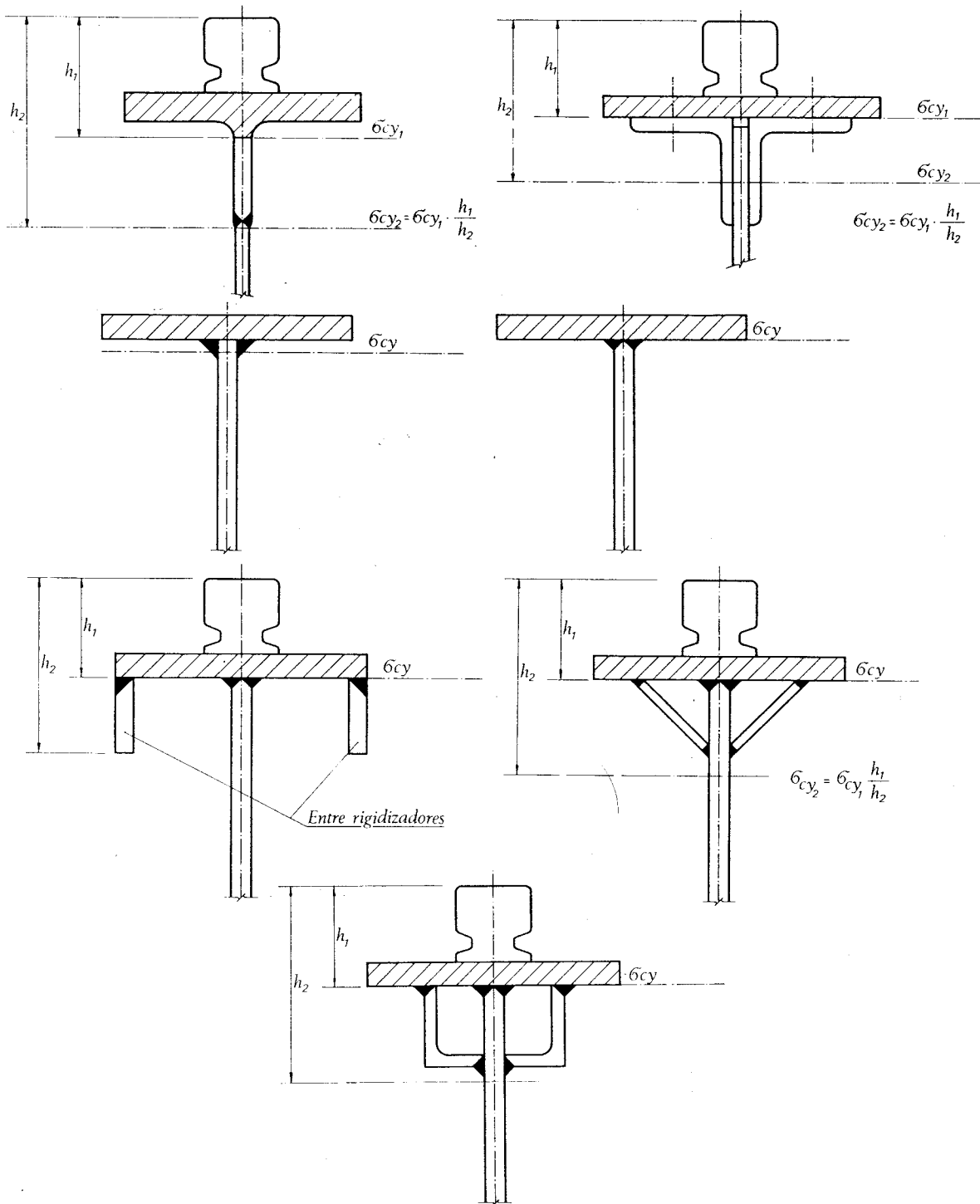


Figura 3.721

piezas sometidas a flexión

3.7.2.1. Longitud de reparto de la presión local de las ruedas y compresión del alma.

La reacción vertical que produce la rueda se reparte, por medio del carril y del ala superior de la viga, en una cierta longitud del alma, sometiéndola a presión 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:

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

siendo:

β coeficiente que depende del tipo de unión del ala superior al alma de la viga:

$\beta = 3,25$ para la unión soldada.

$\beta = 3,75$ para la unión remachada.

I_s 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 espesor del alma.

Los elementos de la sección de la viga que es preciso considerar para el cálculo de la tensión de compresión local σ_{cy} se representan en la figura 3.7.2.1.

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:

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

siendo:

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

h_a 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:

$$M_{fa} = \frac{2,5 M_t}{d + \psi \frac{15 I_{ts}}{e_a^3}}$$

piezas sometidas a flexión

Valores del coeficiente Ψ

h_r/d	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2	$\geq 1,4$
Ψ	0,357	0,382	0,398	0,408	0,415	0,420	0,425	0,426

Tabla 3.7.2.3

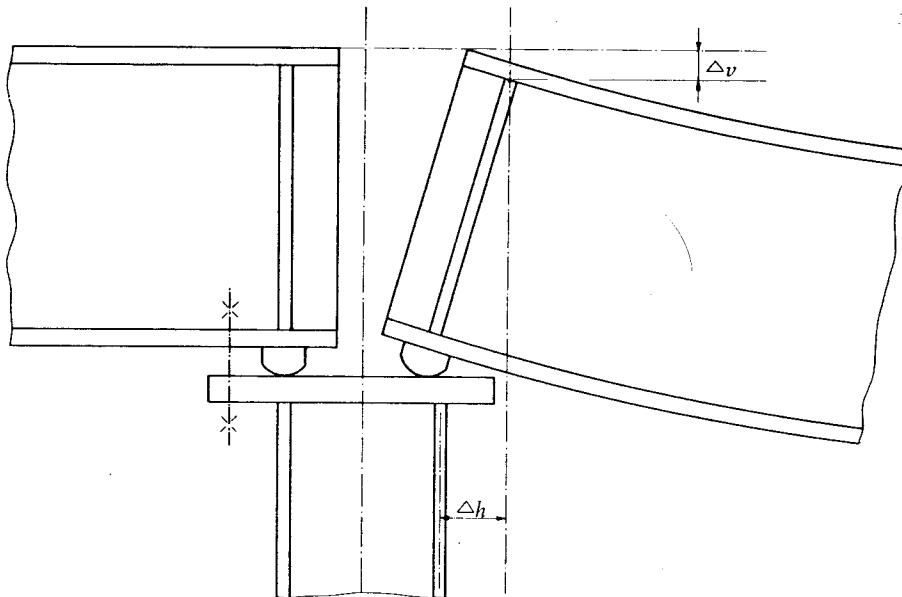


Figura 3.7.2.5

siendo:

$M_{f,ct}$ momento por unidad de longitud.

M_t el momento torsor exterior concentrado según apartado 3.7 1.

d la separación entre rigidizadores verticales del alma y como máximo: $d = 2 h_r$.

Ψ coeficiente que se tomará de la tabla 3.7 2 3.

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

h_r 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 la misma, 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 para asegurar la transmisión de las reacciones verticales de las ruedas de los puentes grúa al alma de la misma viga, y la transmisión de las cargas torsoras exteriores concentradas a las alas superior e inferior de la viga carrilera, a la vez que oponerse al abollamiento del alma de la misma viga.

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 aquellas.

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

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

$$\Delta_v \text{ máx} = \frac{R_v h}{E A_v}$$

siendo:

R_v la reacción vertical en el apoyo de la viga carrilera.

h altura de la sección de la viga.

A_v área de la sección de apoyo de la viga carrilera.

E módulo de elasticidad del acero.

- 2) el corrimiento horizontal del mismo extremo:

$$\Delta_h \text{ máx} = \frac{M L h}{6 E I_v}$$

siendo:

M el momento flector máximo en el vano de la viga.

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

Según la figura 3.7 2 5.

piezas sometidas a flexión

4. Hipótesis de cálculo.

Las hipótesis de cálculo a considerar y los coeficientes de ponderación correspondientes figuran en el cuadro siguiente:

		Hipótesis de cálculo	Coeficientes de ponderación
En servicio normal	1	Carga permanente Reacciones verticales procedentes del puente grúa más desfavorable con el coeficiente dinámico $\varphi_{m\acute{a}x}$ Viento de 30 kg/m ²	1,33 1,50 1,50
	2	Carga permanente Reacciones verticales procedentes de varios puentes grúa con el coeficiente dinámico reducido φ_{red} Viento de 30 kg/m ²	1,33 1,50 1,50
	3 ¹	Carga permanente Reacciones verticales procedentes de varios puentes grúa con el coeficiente dinámico reducido φ_{red} Reacciones ² horizontales transversales $H_c + H_p + H_o$ Reacciones horizontales longitudinales H_l Viento de 30 kg/m ²	1,33 1,33 1,33 1,33
En servicio no normal	4	Carga permanente Reacciones verticales procedentes de un puente grúa con el coeficiente dinámico reducido φ_{red} Choque de un puente grúa contra los topes del camino de rodadura	1,33 1,20 1,20
	5	Carga permanente Reacciones verticales procedentes de varios puentes grúa con el coeficiente de impacto reducido Acción sísmica	1,00 1,00 1,00
Fuera de servicio	6	Carga permanente más sobrecarga en pasarelas Reacciones verticales procedentes de varios puentes grúa, sin el coeficiente dinámico Variación de la temperatura Viento máximo	1,33 1,33 1,33 1,33

¹ También aplicable cuando existe un solo puente grúa.

² De un sólo puente grúa según 3.6.2.7.

4.1. Hipótesis para los esfuerzos locales.

Los esfuerzos locales producidos por las reacciones de las ruedas consideradas en cada hipótesis, se superpondrán a los esfuerzos generales para el cálculo de tensiones. El coeficiente de ponderación para los esfuerzos locales será el correspondiente al de las reacciones de las ruedas en la hipótesis considerada.

5. Flechas admisibles.

5.1. 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, pero no mayor de 1,0 cm.

Los valores de las flechas corresponden a las que producen en el centro del vano las reacciones máximas de las ruedas del puente grúa más desfavorable colocado en la posición en que origine la flecha máxima, pero sin aplicación de coeficientes de ponderación ni de mayoración por efectos dinámicos.

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

5.2. Flechas horizontales en los soportes de los caminos de rodadura

La determinación de las flechas se hará considerando las reacciones horizontales H_c producidas por el frenado del carro de un sólo puente grúa siempre que éstas no sean inferiores al 30 % de las reacciones horizontales totales $\Sigma (H_c + H_p + H_o)$ producidas por la acción de varios puentes grúa de acuerdo con el artículo 3.6.2.7.

El desplazamiento horizontal máximo del soporte a nivel de la cota de rodadura será:

- En naves en que actúen puentes grúa de los grupos 1, 2, 3, un $1/1\ 000$ de la altura contada desde la cara superior del cimiento hasta el nivel de rodadura.
- En naves en que actúen puentes grúa de los grupos 4, 5 y 6, los valores correspondientes serán:
 - $1/2\ 500$ cuando el valor de los corrimientos se determinen por cálculo plano
 - $1/4\ 000$ cuando el valor de los corrimientos se determinen por cálculo espacial.
- En los pórticos de frenado el desplazamiento máximo, bajo la acción de las fuerzas horizontales longitudinales, será inferior a $1/4\ 000$ en cualquier caso.

6. Criterios de agotamiento.

6.1. Sistema de coordenadas.

La definición de las tensiones se basará en el sistema de coordenadas presentado en la figura 6.1.

6.2. Cálculo de tensiones.

Se determinarán las tensiones en los diferentes elementos de la estructura para las hipótesis de cálculo consideradas en el artículo 4 y se verificará que las tensiones no sobrepasen a las críticas de agotamiento que se definen en el apartado 6.3.

Se aplicarán los procedimientos clásicos de la Resistencia de Materiales.

Se considerarán las secciones brutas de metal sin descontar la superficie de agujeros ocupados por pernos o remaches 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.

piezas sometidas a flexión

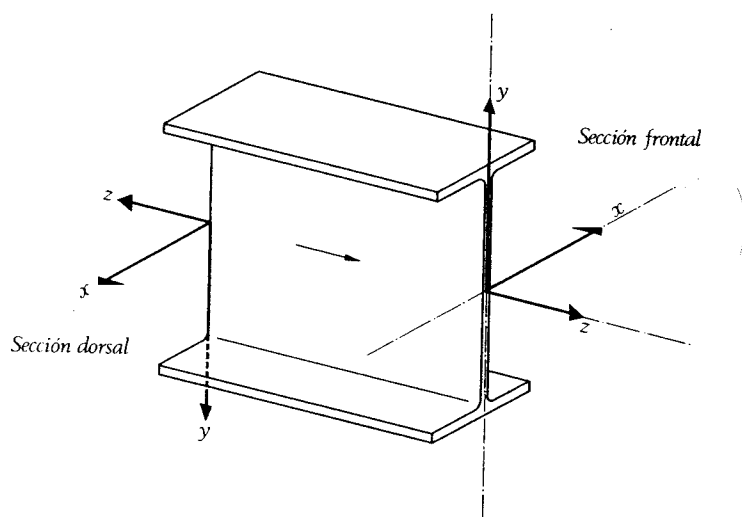


Figura 6.1

6.2.1. 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 establecer como sigue:

$$\sigma_{cy, \text{máx}} = \frac{V_d \text{ máx}}{l e_a} \quad \tau_{c, xy, \text{máx}} = 0,2 \sigma_{cy, \text{máx}}$$

siendo:

- l la longitud de reparto de la presión de la rueda, según 3.7 2 1.
- e_a el espesor del alma de la viga.
- $\sigma_{cy, \text{máx}}$ tensión normal máxima de compresión en el borde superior del alma.
- $\tau_{c, xy, \text{máx}}$ 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 σ_{cy} por el factor $\frac{e_a}{2t}$ (t = espesor 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 $\sigma_{cy, \text{máx}}$ y $\tau_{c, xy, \text{máx}}$, de no realizar una comprobación más exacta.

6.2.2. Tensiones debidas a la flexión local del alma.

Cuando se den las condiciones mencionadas en 3.7 1, la tensión normal máxima que aparece en el borde superior del alma, se determinará como sigue:

$$\sigma_{fly, \text{máx}} = \pm \frac{6 M_{fa}}{e^2 a}$$

siendo:

M_{fa} momento flector según 3.7 2 3.

6.2.3. Tensiones debidas a la flexión local de la platabanda superior de la viga carrilera.

Cuando se cumplan las condiciones indicadas en 3.7 2 2, la tensión normal local máxima en la sección vertical de la platabanda se determinará como sigue:

$$\sigma_{flx, \text{máx}} = \pm \frac{6 M_{fp}}{b e_p^2}$$

siendo b el ancho de la platabanda.

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

6.3. Condición de agotamiento.

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

piezas sometidas a flexión

En un estado triple de tensión, definido por sus tensiones principales $\sigma_I, \sigma_{II}, \sigma_{III}$ la condición de agotamiento es:

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

siendo σ_u la resistencia de cálculo del acero.

Si el estado de tensión está definido en ejes cualesquiera, la condición de agotamiento se convierte en:

$$\sqrt{\frac{1}{2} [(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_x - \sigma_z)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{xz}^2 + \tau_{yz}^2)]} = \sigma_u$$

Si el estado es de tracción triple existe una segunda condición de agotamiento, que es:

$$\sigma_I = 2 \sigma_u$$

En un estado plano de tensión, o sea, con una tensión principal nula, definido en su plano XOY, la condición de agotamiento es:

$$\sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \cdot \sigma_y + 3 \tau_{xy}^2} = \sigma_u$$

Si el estado está definido por sus tensiones principales:

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

En un estado simple, de tracción o compresión, la condición de agotamiento es:

$$\sigma = \sigma_u$$

En un estado de cortadura simple ($\sigma_x = \sigma_y = 0$), la condición de agotamiento es:

$$\tau = \tau_u = \frac{\sigma_u}{\sqrt{3}} = 0,576 \sigma_u$$

6.4. Resistencia de cálculo del acero.

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

$$\sigma_u = \frac{\sigma_e}{\gamma_a}$$

siendo:

$\gamma_a = 1$ para los aceros con límite elástico mínimo garantizado.

$\gamma_a = 1,1$ para aceros cuyo límite elástico sea determinado por métodos clásicos.

PARTE SEGUNDA

7. Comprobación de la fatiga.

7.1. Efecto de fatiga.

Los elementos de un camino de rodadura están sometidos a fatiga por el paso repetido de las ruedas del puente.

Ello origina que las tensiones admisibles para los elementos estructurales sean inferiores a las que les correspondería para el cálculo estático sin considerar el efecto fatiga.

En la determinación del valor de la tensión admisible a fatiga son factores predominantes el número de ciclos o aplicaciones del esfuerzo variable, el margen de variación del esfuerzo aplicado y el grado de entalladura del elemento considerado.

No todos los tipos de acero tienen el mismo grado de endurecimiento o resistencia a la fatiga. No obstante, estas diferencias no son predominantes, sobre todo en uniones soldadas, pues el comportamiento en fatiga depende en gran proporción de la distribución de tensiones y de la ejecución de las soldaduras y la mayor o menor importancia del efecto de entalladura, consecuencia de ella.

7.1.1. Número de ciclos.

La tensión de rotura en fatiga disminuye cuando aumenta el número de ciclos o aplicaciones del esfuerzo variable. Este parámetro se determinará a partir de los datos que deberá suministrar el usuario.

En ausencia de datos precisos se podrá fijar el número de ciclos en función del número de pasadas del puente grúa en 25 años, correspondiente al número medio de pasadas diarias. Tabla 7.1.1.1.

El número convencional de ciclos de tensiones n_0 en un elemento, en función de la clase de utilización del puente grúa, según se define en el artículo 3.4.1 de la Parte Primera, se recoge en la tabla 7.1.1.2.

7.1.2. Variación del esfuerzo aplicado (figura 7.1.2).

La amplitud de la variación se caracteriza por el parámetro de asimetría del ciclo R , relación entre la tensión mínima σ_{min} y la tensión máxima σ_{max} que produce el esfuerzo de un ciclo de carga.

Cuando la tensión varía en un solo sentido (tracción o compresión), la sollicitación es pulsatoria si $R > 0$, o intermitente si $R = 0$.

Cuando la tensión varía entre dos valores de signo contrario $R < 0$ se llama alterna. La tensión de rotura a fatiga es máxima e igual a la de rotura estática para $R = 1$ (esfuerzo constante) y mínima para $R = -1$ (sollicitación alterna pura o simétrica).

7.1.3. Grado de entalladura.

La disminución de la resistencia del elemento a la fatiga en la proximidad de discontinuidades (agujeros, cambios de sección, cordones de soldadura, etc.), se tiene en cuenta considerando el efecto de entalladura, que caracteriza la concentración de tensiones provocada por la presencia de alguna discontinuidad.

Para caracterizar la importancia de los efectos de entalladura, y su repercusión sobre la tensión admisible a fatiga, los diferentes casos de construcción y uniones, se han repartido en diferentes grados de entalladura de acuerdo con la tabla 7.1.3-1 y la figura 7.1.3-2.

piezas sometidas a flexión

Número de pasadas del puente grúa

Por día	13	80	260	1 300
En 25 años	10^5	$6 \cdot 10^5$	$2 \cdot 10^6$	10^7

Tabla 7.11 1

Clase de utilización y número de ciclos de tensiones

A	B	C	D
$n_o \leq 10^5$	$10^5 < n_o \leq 6 \cdot 10^5$	$6 \cdot 10^5 < n_o \leq 2 \cdot 10^6$	$n_o > 2 \cdot 10^6$

Tabla 7.11 2

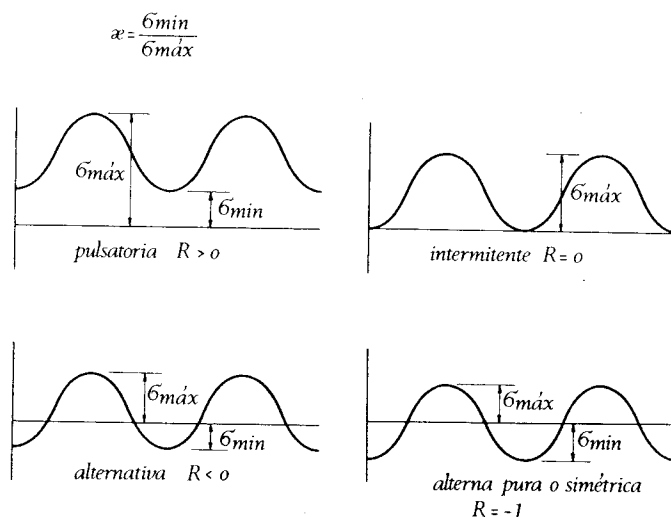


Figura 7.1 2

piezas sometidas a flexión

Elemento	Situación	Clase de tensión	Ejemplo ilustrativo según fig. 7.13-2	Categoría de entalladura
Material simple	Metal base laminado.	T o Rev	1-2	A
Barras y vigas armadas	Metal base y metal de aportación de la soldadura en piezas sin uniones, construidas con chapas o perfiles unidos con soldaduras o tope con penetración total, paralelas a la dirección de los esfuerzos.	Rev Rev T o C	3 4 3-4	B* B B
	Metal base y metal de aportación de soldadura en piezas sin uniones formadas por chapas o perfiles unidos por cordones de soldadura paralelos a la dirección de los esfuerzos.	T, C o Rev	4-5-6	B
	Tensión de flexión σ en la zona de unión de ala y alma, adyacente a rigidizadores transversales soldados:			
	Cuando la tensión cortante $\tau < \frac{1}{2} \tau_{adm}$	T o Rev	7	C
	Cuando la tensión cortante $\tau > \frac{1}{2} \tau_{adm}$ siendo τ_{adm} la tensión admisible para solicitaciones estáticas.	T o Rev	7	D
	Metal base en el final de una platabanda con o sin soldadura frontal.	T, C o Rev	5	E
Uniones con elementos mecánicos de unión.	Metal base en la sección neta de uniones con tornillos de alta resistencia sometidos a tensiones alternativas y uniones solicitadas axialmente que producen flexión fuera de su plano del material unido.	T o Rev	8	A
	Metal base en la sección neta de elementos en otros tipos de uniones con elementos mecánicos de unión.	T o Rev	8-9	B
Soldadura a tope.	Metal base y de soldadura en uniones con soldadura a tope de penetración completa repasadas en dirección de los esfuerzos y con inspección por Rayos X o ultrasonido.	T o Rev	10	A
	Metal base y de aportación con soldadura de penetración completa, repasadas en uniones de secciones de perfiles o vigas armadas de la misma sección.	T o Rev	10-11	B
	Metal base y de aportación en uniones a tope con penetración completa y casi completa con transición en ancho o espesor, con soldaduras repasadas en dirección al esfuerzo, con taludes no mayores de 1/2,5, soldadura sana con inspección radiográfica o por ultrasonido.	T o Rev	12-13	B

Tabla 7.1 3-1

piezas sometidas a flexión

Elemento	Situación	Clase de tensión	Ejemplo ilustrativo según fig. 7.13-2	Categoría de entalladura
Soldadura a tope (cont.).	Metal base y de aportación con soldaduras a tope de penetración completa o casi completa, con o sin transiciones de taludes no mayor a 1/2,5, repasadas en dirección del esfuerzo y cuya calidad no ha sido comprobada por radiografía o ultrasonido.	T Rev T o Rev	10 10 11-12-13	C C* C
	Metal base y de aportación con soldadura a tope de penetración completa o casi completa, en uniones en T o en cruz.	T Rev	14 14	D D*
	Metal base en nudos unidos con soldaduras a tope solicitados transversal y/o longitudinalmente.	T, C o Rev	15	E
	Metal de aportación en soldadura a tope transversales con penetración parcial referidas a la sección nominal de la soldadura.	T o Rev	16	G
Uniones con cordones de soldadura.	Metal base en cordones discontinuos.	T, C o Rev		E
	Metal base en barras solicitadas axialmente y cordones de fijación en su extremidad.	T, C o Rev	17-18-19 20	E
	Cordones frontales o longitudinales, continuos o intermitentes (excepto cordones frontales en uniones en T) y cordones continuos sometidos a esfuerzo cortante paralelos al eje del cordón en combinación con el cortante debido a la flexión.	S	5-17-18 19-21	F
	Cordones frontales en uniones en T.	S	20	G
Otras disposiciones.	Metal base en las inmediaciones (a una distancia máxima de 5 cm en dirección del esfuerzo) de soldaduras de pequeña longitud.	C T o Rev	22-23-24 22-23-24 25	C D
	Metal base en las inmediaciones de cordones largos.	T, C o Rev	26	E
	Metal base en las inmediaciones de ojal o ranura.	T, C o Rev	27	E
	Tensiones cortantes en conectores (área nominal).	S	22	G
	Tensiones cortantes en soldaduras de ojal o ranura.	S	27	G

- T tensiones solamente de tracción pulsatoria o intermitente $R \geq 0$
 C tensiones solamente de compresión pulsatoria o intermitente $R \geq 0$
 R_{po} tensiones alternativas $R < 0$
 S campo de variaciones de tensiones cortantes
 * en estos casos puede utilizarse como valor admisible de variación de tensión, en lugar de Δ_F , de la tabla 7.1 3-3, el valor Δ'_F dado por la fórmula:

$$\Delta'_F = \frac{\sigma_T + \sigma_c}{\sigma_T + 0,6\sigma_c} \Delta_F$$

σ_c y σ_T tensiones de compresión y tracción, respectivamente, consideradas con su valor absoluto.

Tabla 7.1 3-1

piezas sometidas a flexión

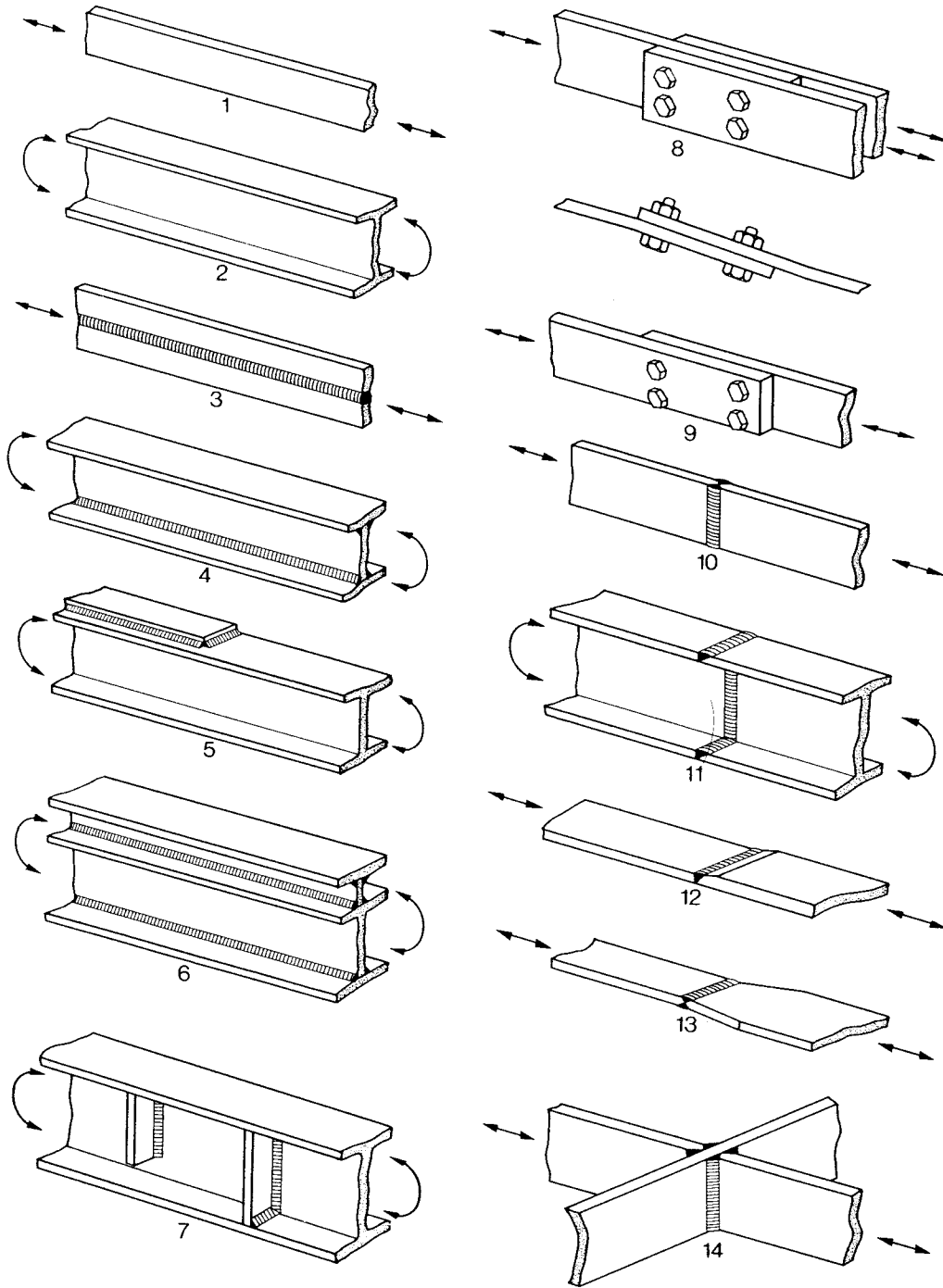


Figura 7.1 3-2

piezas sometidas a flexión

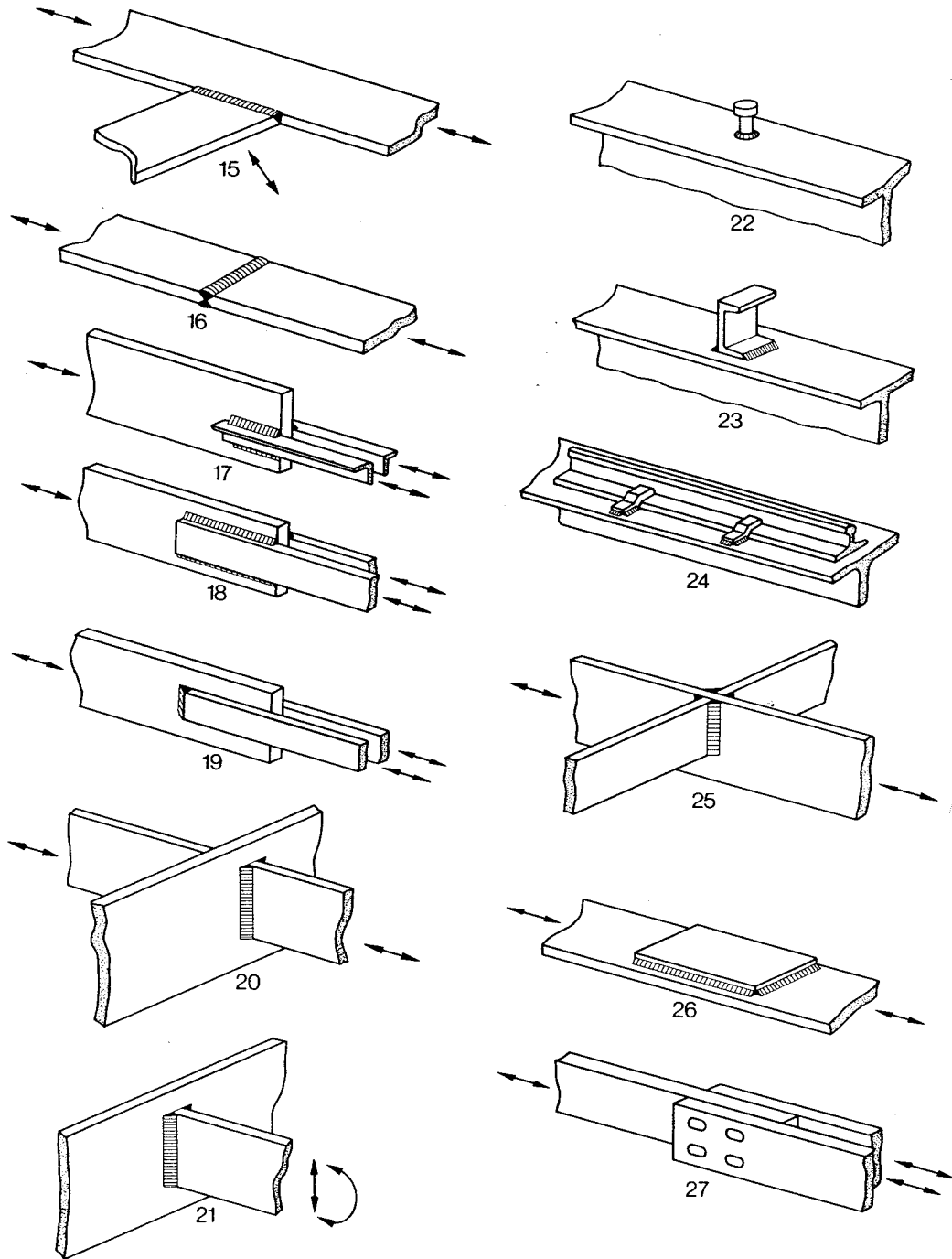


Figura 7.1 3-2

piezas sometidas a flexión

7.2. Hipótesis de cálculo en fatiga.

La comprobación de fatiga es una comprobación de tensiones admisibles. Se utilizarán por tanto los valores característicos de las cargas, en las dos hipótesis siguientes:

Hipótesis I	Carga permanente. Reacciones verticales procedentes del puente grúa más desfavorable con un coeficiente dinámico máximo $\varphi_{m\acute{a}x}$.
Hipótesis II	Carga permanente. Reacciones verticales procedentes de varios puentes grúa con el coeficiente dinámico reducido φ_{red} .

En ambas hipótesis se tendrán en cuenta los efectos locales.

7.3. Comprobación de la fatiga.

La comprobación de las tensiones, a partir de los esfuerzos determinados según apartado 7.2, se efectuará respecto a las tensiones admisibles según apartado 7.4.

Las tensiones locales debidas a los esfuerzos locales, apartados 6.2 1, 6.2 2 y 6.2 3 de la primera parte, se determinarán en todas las hipótesis de cálculo a fatiga con el coeficiente dinámico máximo, aún cuando sea la hipótesis II la sollicitación pésima. De igual modo, en vigas carrileras en celosía, para las barras que reciben directamente las reacciones de las ruedas de rodadura del puente grúa, se determinarán las tensiones debidas a los esfuerzos locales (axiles y de flexión) con el coeficiente dinámico máximo.

7.3.1. Determinación del parámetro de asimetría del ciclo R.

7.3.1.1. Determinación de las tensiones mínimas en la flexión general de la viga carrilera.

Para hallar el valor de R se deberán determinar las tensiones mínimas, normales y cortantes, en el vano y en el apoyo de la viga carrilera sometida a la acción de sólo la carga permanente. En el caso de viga carrilera continua se analizará la variación de las tensiones en las secciones de un vano, en función de las posiciones del puente grúa, o los puentes grúa, en los demás vanos.

7.3.1.2. Valores del parámetro de asimetría del ciclo R de las tensiones locales.

Conocida la naturaleza de los esfuerzos locales, se establecen los valores de R para los esfuerzos locales siguientes:

- flexión local de la platabanda superior de la viga carrilera $R = 0$.
- flexión local de la parte superior del alma de la viga carrilera $R = -1$.
- compresión vertical local del alma $R = 0$.
- esfuerzo tangencial local en el borde superior del alma $R = -1$.

Naturalmente, que en el funcionamiento de la viga las tensiones locales se superponen (componen) con las de la flexión y torsión general, correspondiendo a las tensiones normales y tangenciales totales valores diferentes del parámetro de asimetría del ciclo. Se debe recordar siempre que las tensiones σ_{cy} y σ_{fy} son independientes de σ_x y τ_{xy} .

piezas sometidas a flexión

Valor admisible de la variación de tensión Δ_r (Kg/cm²)

Categoría de la entalladura	Clase de utilización			
	A	B	C	D
	Número de ciclos de tensiones			
	$\leq 100\ 000$	$> 100\ 000$ $\leq 600\ 000$	$> 600\ 000$ $\leq 2\ 000\ 000$	$> 2\ 000\ 000$
A	2 812	2 249	1 688	1 688
B	2 320	1 757	1 195	1 054
C	1 968	1 476	984	844
D	1 688	1 195	703	632
E	1 195	843	492	422
F	1 195	984	773	632
G	1 055	843	632	562

Tabla 7.1 3-3

Tensiones admisibles σ_{adm} (Kg/cm²)¹

Clase de acero	Espesor		
	≤ 16	≥ 16 ≤ 40	≥ 40 ≤ 63
A 37	1 600	1 533	1 466
A 42	1 733	1 666	1 600
A 52	2 400	2 333 ²	2 266 ²

¹ Para las tensiones cortantes $\tau_{adm} = 0,576 \sigma_{adm}$

² En los aceros de tipo A 52 el espesor límite de 40 mm se sustituye por 36 mm.

Tabla 7.4

7.3.2. Elementos que es preciso comprobar.

Los elementos que es preciso comprobar a la fatiga son principalmente la platabanda alta y la parte superior del alma de la viga carrilera, así como los cordones de soldadura que las unen.

No es preciso comprobar en las vigas de un solo vano la platabanda inferior traccionada, siempre que la sección de los cordones de soldadura que la unen al alma sea equivalente al espesor de la misma, y siempre y cuando la platabanda esté exenta de otros cordones de soldadura u otros concentradores de tensiones.

En las vigas carrileras en celosía se comprobarán todos los elementos que las constituyen.

7.4. Tensión admisible máxima de fatiga.

Las barras, soldaduras y elementos de unión sometidos a sollicitaciones repetidas deben calcularse de manera que la tensión máxima no sobrepase en ningún caso la tensión admisible para sollicitaciones estáticas, según la tabla 7.4, ni que el margen de variación de tensiones (tensión máxima menos tensión mínima) sobrepase los valores que para dicha variación Δ_F se dan en la tabla 7.1 3 3.

La tensión mínima se considerará negativa en el cálculo de $\Delta\sigma$ si es de signo opuesto a la tensión máxima.

Estas dos condiciones equivalen a:

$$\sigma_{m\acute{a}x, F} (1 - R) \leq \Delta_F$$

$$\tau_{m\acute{a}x, F} (1 - R) \leq \Delta_F$$

debiendo cumplirse al mismo tiempo

$$\sigma_{m\acute{a}x, F} < \sigma_{adm, est.}$$

$$\tau_{m\acute{a}x, F} \leq \tau_{adm, est.}$$

**piezas sometidas
a flexión**

ANEJO 1

**CARACTERISTICAS MEDIAS DE LOS
PUENTES GRUA NO ESPECIALES**

piezas sometidas a flexión

Dimensiones geométricas

Fuerza de elevación t	<i>l</i> m	<i>a</i> m	<i>b</i> m	<i>c</i> m	<i>d</i> m	<i>A</i> m	<i>B</i> o <i>B</i> ₁ m	Figura	Fuerza de elevación t	<i>L</i> m	<i>a</i> _{min} m	<i>b</i> m	<i>c</i> m	<i>d</i> m	<i>A</i> m	<i>B</i> o <i>B</i> ₁ m	Figura			
5	10,0	0,8	0,23	—	1,65	4,0	2,5	3.11 b	30/5	10,0	1,1	0,35	—	2,35	5,10	3,70	3.11 b			
	13,0									5,50								4,10		
	16,0																			
	19,0																			
	22,0																			
	25,0					4,7	3,4			5,50					4,10					
	28,0																			
31,0																				
10	10,0	0,9	0,3	—	1,9	4,9	3,00	3.11 b	50/10	10,0	1,3	0,4	—	6,00	4,55	3.11 b				
	13,0									6,15							4,75			
	16,0																			
	19,0																			
	22,0																			
	25,0					5,4	3,5			6,15				4,75						
	28,0																			
31,0																				
15	10,0	1,0	0,3	—	2,0	4,9	3,00	3.11 b	75/15	10,0	1,4	0,6	0,95	3,00	8,50	6,15	3.11 c			
	13,0									1,00								3,25	8,70	6,30
	16,0																			
	19,0																			
	22,0																			
	25,0					5,4	3,5			1,00			3,25	8,70	6,30					
	28,0																			
31,0																				
20/5	10,0	1,0	0,3	—	2,15	5,10	3,20	3.11 b	100/20	10,0	1,5	0,7	1,10	3,25	9,00	6,50	3.11 c			
	13,0									1,20								3,50	9,20	6,60
	16,0																			
	19,0																			
	22,0																			
	25,0					5,65	3,75			1,20			3,50	9,20	6,60					
	28,0																			
31,0																				

piezas sometidas a flexión

Pesos y cargas

Fuerza de elevación t	Luz entre carriles L m	Figura	Grupos 1 y 2					Grupos 3 y 4		
			Pesos			Carga de rueda		Pesos		
			Carro C t	Puente P t	Total (C + P) t	V _{máx} t	V _{min} t	Carro C t	Puente P t	Total (C + P) t
5	10,0	3.11 b	2,0	11,2	13,2	6,02	3,08	2,2	11,4	13,6
	13,0			13,0	15,0	6,53	3,47		13,2	15,4
	16,0			15,7	17,7	7,23	4,12		15,9	18,1
	19,0			18,4	20,9	7,95	4,75		18,6	20,8
	22,0			22,8	24,8	9,07	5,83		22,8	25,0
	25,0			25,7	27,7	9,82	6,53		25,8	28,0
	28,0			29,0	31,0	10,65	7,35		29,0	31,2
	31,0			31,0	33,0	11,16	7,84		31,1	33,3
10	10,0	3.11 b	3,8	13,2	17,0	9,58	3,92	4,0	13,5	17,5
	13,0			15,2	19,0	10,22	4,28		15,5	19,5
	16,0			16,7	20,5	10,70	4,55		17,0	21,0
	19,0			19,7	23,5	11,50	5,25		20,0	24,0
	22,0			22,7	26,5	12,30	5,95		23,0	27,0
	25,0			25,7	29,5	13,08	6,67		26,0	30,0
	28,0			30,7	34,5	14,36	7,99		30,8	34,8
	31,0			35,7	39,5	15,62	9,12		36,0	40,0
15	10,0	3.11 b	5,2	14,3	19,5	12,66	4,59	5,3	14,7	20,0
	13,0			16,3	21,5	13,40	4,85		16,7	22,0
	16,0			19,3	24,5	14,29	5,46		19,7	25,0
	19,0			22,3	27,5	15,14	6,11		22,7	28,0
	22,0			25,3	30,5	15,96	6,79		25,7	31,0
	25,0			28,3	33,5	16,77	7,48		28,7	34,0
	28,0			35,3	40,5	18,56	9,19		35,7	41,0
	31,0			38,8	44,0	19,31	10,19		39,7	45,0
20/5	10,0	3.11 b	8,4	14,6	23,0	16,43	5,07	8,5	15,0	23,5
	13,0			16,6	25,0	17,26	5,24		17,0	25,5
	16,0			19,6	28,0	18,21	5,79		20,0	28,5
	19,0			23,6	32,0	19,35	6,65		24,0	32,5
	22,0			27,1	35,5	20,45	7,30		27,5	36,0
	25,0			32,1	40,5	21,66	8,59		32,5	41,0
	28,0			37,6	46,0	23,09	9,91		38,0	46,5
	31,0			42,1	50,5	24,27	10,38		42,5	51,0

piezas sometidas a flexión

		Grupos 5 y 6						Figura	Luz entre carriles L m	Fuerza de elevación t
Carga de rueda		Pesos			Carga de rueda					
V _{máx} t	V _{mín} t	Carro C t	Puente P t	Total (C + P) t	V _{máx} t	V _{mín} t				
6,16	3,14	3,0	11,6	14,6	6,58	3,22	3.11 b	10,0	5	
6,73	3,47		13,4	16,4	7,10	3,60		13,0		
7,40	4,15		16,0	19,1	7,80	4,25		16,0		
8,10	4,80		18,8	21,8	8,53	4,87		19,0		
9,17	5,83		23,0	26,0	9,60	5,90		22,0		
9,93	6,57		26,0	29,0	10,37	6,63		25,0		
10,75	7,35		29,2	32,2	11,19	7,41		28,0		
11,29	7,86		31,3	34,3	11,73	7,92		31,0		
9,75	4,00	4,5	14,5	19,0	10,22	4,28	3.11 b	10,0	10	
10,39	4,36		16,5	21,0	10,87	4,63		13,0		
10,86	4,64		18,5	23,0	11,47	5,03		16,0		
11,67	5,33		21,5	26,0	12,28	5,72		19,0		
12,46	6,04		24,5	29,0	13,08	6,42		22,0		
13,25	6,75		27,5	32,0	13,86	7,14		25,0		
14,48	8,05		32,3	36,8	15,09	8,31		28,0		
15,80	9,20		37,5	42,0	16,41	9,59		31,0		
12,81	4,69	6,0	16,5	22,5	13,58	5,17	3.11 b	10,0	15	
13,54	4,96		18,5	24,5	14,32	5,43		13,0		
14,44	5,56		21,5	27,5	15,22	6,03		16,0		
15,29	6,21		25,5	31,5	16,32	6,93		19,0		
16,11	6,89		29,0	35,0	17,27	7,72		22,0		
16,92	7,58		32,5	38,5	18,21	8,54		25,0		
18,71	9,29		38,5	44,5	19,75	10,00		28,0		
19,75	10,25		42,5	48,5	20,79	10,96		31,0		
16,58	5,17	9,3	15,7	25,0	17,11	5,39	3.11 b	10,0	20/5	
17,40	5,35		17,7	27,0	17,95	5,55		13,0		
18,36	5,89		20,7	30,0	18,91	6,09		16,0		
19,50	6,75		24,2	33,5	19,93	6,82		19,0		
20,48	7,52		27,7	37,0	20,91	7,59		22,0		
21,81	8,63		32,7	42,0	22,24	8,76		25,0		
23,24	10,01		38,2	47,5	23,68	10,10		28,0		
24,42	11,08		42,7	52,0	24,85	11,15		31,0		

piezas sometidas a flexión

Pesos y cargas. (Continuación)

Fuerza de elevación t	Luz entre carriles L m	Figura	Grupos 1 y 2					Grupos 3 y 4		
			Pesos			Carga de rueda		Pesos		
			Carro C t	Puente P t	Total (C + P) t	V _{máx} t	V _{mín} t	Carro C t	Puente P t	Total (C + P) t
30/5	10,0	3.11 b	11,2	22,3	33,5	23,91	7,84	12,0	23,0	35,0
	13,0			26,3	37,5	25,43	8,32		27,0	39,0
	16,0			29,8	41,0	26,63	8,87		30,5	42,5
	19,0			34,8	46,0	28,11	9,89		35,5	47,5
	22,0			39,8	50,5	29,40	10,86		40,0	52,0
	25,0			43,8	55,0	30,64	11,86		44,5	56,5
	28,0			49,3	60,5	32,12	13,13		50,0	62,0
	31,0			54,8	66,0	33,57	14,43		55,5	67,5
50/10	10,0	3.11 b	17,5	28,0	45,5	36,36	11,39	18,0	29,0	47,0
	13,0			32,5	50,0	38,50	11,50		33,5	51,5
	16,0			37,5	55,0	40,38	12,12		38,5	56,5
	19,0			42,5	60,0	42,07	12,93		43,5	61,5
	22,0			47,5	65,0	43,63	13,87		48,5	66,5
	25,0			53,0	70,5	45,25	15,00		54,0	72,0
	28,0			53,0	75,5	46,68	16,07		59,0	77,0
	31,0			65,0	82,5	48,58	17,67		66,0	84,0
75/20	10,0	3.11 c	35,0	45,0	80,0	29,28	9,48	38,0	47,0	85,0
	13,0			50,0	85,0	30,79	9,21		52,0	90,0
	16,0			55,0	90,0	31,97	9,28		57,0	95,0
	19,0			65,0	100,0	33,60	10,15		67,0	105,0
	22,0			75,0	110,0	35,13	11,13		77,0	115,0
	25,0			85,0	120,0	36,59	12,17		87,0	125,0
	28,0			95,0	130,0	38,00	13,25		97,0	135,0
	31,0			100,0	135,0	38,76	13,74		102,0	140,0
100/20	13,0	3.11 c	38,0	52,0	90,0	37,02	10,48	42,0	53,0	95,0
	16,0			62,0	100,0	39,02	10,98		63,0	105,0
	19,0			72,0	110,0	40,78	11,72		73,0	115,0
	22,0			82,0	120,0	42,40	12,60		83,0	125,0
	25,0			92,0	130,0	43,93	13,57		93,0	135,0
	28,0			102,0	170,0	45,40	14,60		103,0	145,0
	31,0			112,0	150,0	46,83	15,67		113,0	155,0

piezas sometidas a flexión

		Grupos 5 y 6					Figura	Luz entre carriles L m	Fuerza de elevación t
Carga de rueda		Pesos			Carga de rueda				
V _{máx} t	V _{mín} t	Carro C t	Puente P t	Total (C + P) t	V _{máx} t	V _{mín} t			
24,44	8,06	12,5	24,0	36,5	24,91	8,34	3.11 b	10,0	30/5
25,97	8,53		27,5	40,0	26,33	8,67		13,0	
27,18	9,07		32,0	44,5	27,79	9,46		16,0	
28,66	10,09		37,5	50,0	29,33	10,61		19,0	
29,95	11,05		42,0	54,5	30,59	11,56		22,0	
31,20	12,05		46,5	59,0	31,94	12,56		25,0	
32,68	13,33		53,0	65,5	33,67	14,08		28,0	
34,13	14,62		57,5	70,0	34,87	15,15		31,0	
36,83	11,67	18,5	30,5	49,0	37,48	12,00	3.11 b	10,0	50/10
38,98	11,78		34,5	53,0	39,45	12,10		13,0	
40,86	12,39		40,0	58,5	41,47	12,78		16,0	
42,55	13,20		46,0	64,5	43,41	13,84		19,0	
44,12	14,13		50,5	69,0	44,85	14,65		22,0	
45,73	15,27		55,5	74,0	46,34	15,66		25,0	
47,17	16,33		61,0	79,5	47,91	16,84		28,0	
49,07	17,93		67,5	86,0	49,63	18,31		31,0	
30,17	9,83						3.11 c	10,0	75/20
31,71	9,54							13,0	
32,90	9,60							16,0	
34,54	10,46							19,0	
36,08	11,42							22,0	
37,54	12,46							25,0	
38,96	13,54							28,0	
39,72	14,03							31,0	
38,03	10,72						3.11 c	13,0	100/20
40,05	11,20							16,0	
41,82	11,93							19,0	
43,45	12,80							22,0	
45,00	13,76							25,0	
46,47	14,78							28,0	
47,91	15,84							31,0	

piezas sometidas a flexión

Velocidades de movimiento en m/min.

Fuerza de elevación <i>t</i>	Carro			Puente		
	Lenta	Media	Rápida	Lenta	Media	Rápida
3	30	45	60	60	90	120
5	30	45	60	60	90	120
10	30	45	60	60	90	120
15	30	45	60	60	90	120
20	30	45	60	60	90	120
30	30	40	50	50	80	100
50	25	35	50	40	70	90
75	15	30	40	30	60	80
100	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/minuto.