

Julio 2010

TÍTULO

Eurocódigos

Bases de cálculo de estructuras

Eurocode. Basis of structural design.

Eurocode. Bases de calcul des structures.

CORRESPONDENCIA

Esta 1ª modificación es la versión oficial, en español, de las Normas Europeas EN 1990:2002/A1:2005 y EN 1990:2002/A1:2005/AC:2010.

OBSERVACIONES

Esta 1ª modificación complementa y modifica a la Norma UNE-EN 1990:2003.

ANTECEDENTES

Esta modificación ha sido elaborada por el comité técnico AEN/CTN 140 *Eurocódigos estructurales* cuya Secretaría desempeña SEOPAN.

Editada e impresa por AENOR
Depósito legal: M 34595:2010

© AENOR 2010
Reproducción prohibida

LAS OBSERVACIONES A ESTE DOCUMENTO HAN DE DIRIGIRSE A:

AENOR

Génova, 6
28004 MADRID-España

Asociación Española de
Normalización y Certificación

info@aenor.es
www.aenor.es

Tel.: 902 102 201
Fax: 913 104 032

37 Páginas

Grupo 23

AENOR

NORMA EUROPEA
EUROPEAN STANDARD
NORME EUROPÉENNE
EUROPÄISCHE NORM

EN 1990:2002/A1

Diciembre 2005

+ AC

Diciembre 2010

ICS 91.010.30

Versión en español

Eurocódigos
Bases de cálculo de estructuras

Eurocode. Basis of structural design.

Eurocode. Bases de calcul des structures.

**Eurocode. Grundlagen der
Tragwerksplanung.**

Esta modificación A1 a la Norma Europea EN 1990:2002 ha sido aprobada por CEN el 2004-10-14.

Los miembros de CEN están sometidos al Reglamento Interior de CEN/CENELEC que define las condiciones dentro de las cuales debe adoptarse, sin modificación, la norma europea como norma nacional. Las correspondientes listas actualizadas y las referencias bibliográficas relativas a estas normas nacionales pueden obtenerse en el Centro de Gestión de CEN, o a través de sus miembros.

Esta modificación existe en tres versiones oficiales (alemán, francés e inglés). Una versión en otra lengua realizada bajo la responsabilidad de un miembro de CEN en su idioma nacional, y notificada al Centro de Gestión, tiene el mismo rango que aquéllas.

Los miembros de CEN son los organismos nacionales de normalización de los países siguientes: Alemania, Austria, Bélgica, Bulgaria, Chipre, Dinamarca, Eslovaquia, Eslovenia, España, Estonia, Finlandia, Francia, Grecia, Hungría, Irlanda, Islandia, Italia, Letonia, Lituania, Luxemburgo, Malta, Noruega, Países Bajos, Polonia, Portugal, Reino Unido, República Checa, Rumanía, Suecia y Suiza.

CEN
COMITÉ EUROPEO DE NORMALIZACIÓN
European Committee for Standardization
Comité Européen de Normalisation
Europäisches Komitee für Normung
CENTRO DE GESTIÓN: Avenue Marnix, 17-1000 Bruxelles

© 2005 CEN. Derechos de reproducción reservados a los Miembros de CEN.

ÍNDICE

| | Página |
|---|-----------|
| PRÓLOGO | 5 |
| Modificaciones a los “Antecedentes del programa de los Eurocódigos” | 6 |
| Modificaciones al “Estatus y campo de aplicación de los Eurocódigos” | 6 |
| Modificaciones a los “Vínculos entre los Eurocódigos y las especificaciones técnicas armonizadas (ENs y DITEs) de productos” | 6 |
| Modificaciones a “El anexo nacional de la Norma EN 1990” | 6 |
| Modificación al apartado 1.3 | 8 |
| Modificación al apartado 1.5.3.17 | 8 |
| Modificación al apartado 1.5.6.10 | 8 |
| Modificación al apartado 1.6 | 8 |
| Modificación al apartado 2.1 | 11 |
| Modificación al apartado 6.4.3.3 | 12 |
| Modificación al apartado A.1.2.2 | 12 |
| Modificaciones al apartado A.1.3.1 | 12 |
| ANEXO A2 (Normativo) APLICACIÓN EN PUENTES | 16 |
| A2.1 Campo de aplicación | 16 |
| A2.2 Combinaciones de acciones | 16 |
| A2.2.1 Generalidades | 16 |
| A2.2.2 Reglas de combinación para puentes de carretera | 18 |
| A2.2.3 Reglas de combinación para puentes peatonales | 19 |
| A2.2.4 Reglas de combinación para puentes ferroviarios | 19 |
| A2.2.5 Combinaciones de acciones en situaciones de proyecto accidentales (no sísmicas) | 20 |
| A2.2.6 Valores de los coeficientes ψ | 20 |
| A2.3 Estados límite últimos | 24 |
| A2.3.1 Valores de cálculo de las acciones en situaciones de proyecto permanentes y transitorias | 24 |
| A2.3.2 Valores de cálculo de acciones en situaciones de proyecto accidentales y sísmicas | 28 |
| A2.4 Aptitud al servicio y otros estados límite específicos | 29 |
| A2.4.1 Generalidades | 29 |
| A2.4.2 Criterios de aptitud al servicio respecto a las deformaciones y vibraciones en puentes de carretera | 29 |
| A2.4.3 Verificaciones respecto a la vibración debida al tráfico peatonal en puentes peatonales | 30 |
| A2.4.4 Verificaciones respecto a las deformaciones y vibraciones en puentes ferroviarios | 31 |

PRÓLOGO

Esta Norma EN 1990:2002/A1:2005 ha sido elaborada por el Comité Técnico CEN/TC 250 *Eurocódigos estructurales*, cuya Secretaría desempeña BSI.

Esta Modificación a la Norma EN 1990:2002 debe recibir el rango de norma nacional mediante la publicación de un texto idéntico a ella o mediante ratificación antes de finales de junio de 2006, y todas las normas nacionales técnicamente divergentes deben anularse antes de finales de junio de 2006.

De acuerdo con el Reglamento Interior de CEN/CENELEC, están obligados a adoptar esta norma europea los organismos de normalización de los siguientes países: Alemania, Austria, Bélgica, Bulgaria, Chipre, Dinamarca, Eslovaquia, Eslovenia, España, Estonia, Finlandia, Francia, Grecia, Hungría, Irlanda, Islandia, Italia, Letonia, Lituania, Luxemburgo, Malta, Noruega, Países Bajos, Polonia, Portugal, Reino Unido, República Checa, Rumanía, Suecia y Suiza.

Modificaciones a los “Antecedentes del programa de los Eurocódigos”

En el segundo párrafo, se sustituye “reglas nacionales” por “disposiciones nacionales”.

En el cuarto párrafo se sustituye “las Directivas del Consejo 93/37/CEE, 92/50/CEE y 89/440/CEE” por “las Directivas del Consejo 2004/17/CE y 2004/18/CE”.

Modificaciones al “Estatus y campo de aplicación de los Eurocódigos”

En el segundo párrafo se añade “y DITES”, tras “que trabajen sobre normas de producto”.

En el tercer párrafo, se sustituye “productos componentes” por “partes de la obra y productos de construcción estructural”.

Modificaciones a los “Vínculos entre los Eurocódigos y las especificaciones técnicas armonizadas (ENs y DITES) de productos”

Se sustituye “reglas técnicas” por “disposiciones técnicas”.

Se sustituye “que se refiera a los Eurocódigos” por “que use los Eurocódigos”.

Modificaciones a “El anexo nacional de la Norma EN 1990”

En el segundo párrafo, se sustituye “En la Norma 1990 se permite la elección de opciones nacionales en los apartados siguientes:” por “En el anexo A1 de la Norma 1990 se permite la elección de opciones nacionales en los apartados siguientes:”

Tras el último punto de la enumeración, “A.1.4.2(2)”, se añade “En el anexo A2 de la Norma 1990 se permite la elección de opciones nacionales en los apartados siguientes:”

Apartados generales

| Apartado | Objeto |
|----------------------------------|---|
| A2.1(1) NOTA 3 | Uso de la tabla 2.1: Vida útil de cálculo |
| A2.2.1(2) NOTA 1 | Combinaciones que incluyen acciones que quedan fuera del campo de aplicación de la Norma EN 1991 |
| A2.2.6(1) NOTA 1 | Valores de los coeficientes ψ |
| A2.3.1(1) | Alteración de los valores de cálculo de las acciones para los estados límites últimos |
| A2.3.1(5) | Elección del enfoque 1, 2 ó 3 |
| A2.3.1(7) | Definición de las fuerzas debidas al empuje del hielo |
| A2.3.1(8) | Valores de los coeficientes γ_p para las acciones de pretensado cuando no se especifican en los Eurocódigos de proyecto relevantes |
| A2.3.1 Tabla A2.4(A) NOTAS 1 y 2 | Valores de los coeficientes γ |
| A2.3.1 Tabla A2.4(B) | <ul style="list-style-type: none"> – NOTA 1 Elección entre 6.10 y 6.10a/b – NOTA 2 Valores de los coeficientes γ y ξ – NOTA 3 Valores de γ_{sd} |
| A2.3.1 Tabla A2.4(C) | Valores de los coeficientes γ |
| A2.3.2(1) | Valores de cálculo de la tabla A2.5 para situaciones de proyecto accidentales, valores de cálculo de las las situaciones de proyecto accidentales y sísmicas asociadas |
| A2.3.2 Tabla A2.5 NOTA | Valores de cálculo de las acciones |

| Apartado | Objeto |
|---|---|
| A2.4.1(1) NOTA 1 (tabla A2.6) NOTA 2 | Valores γ alternativos para las acciones del tráfico en el estado límite de servicio Combinación poco frecuente de acciones |
| A2.4.1(2) | Requisitos de aptitud al servicio y criterios para el cálculo de deformaciones |

Apartados específicos para puentes de carretera

| Apartado | Objeto |
|------------------|---|
| A2.2.2 (1) | Referencia a la combinación poco frecuente de acciones |
| A2.2.2(3) | Reglas de combinación para vehículos especiales |
| A2.2.2(4) | Reglas de combinación para cargas de nieve y de tráfico |
| A2.2.2(6) | Reglas de combinación para acciones del viento y térmicas |
| A2.2.6(1) NOTA 2 | Valores de los coeficientes $\psi_{1,infq}$ |
| A2.2.6(1) NOTA 3 | Valores de las fuerzas del agua |

Apartados específicos para puentes peatonales

| Apartado | Objeto |
|-------------|--|
| A2.2.3(2) | Reglas de combinación para acciones del viento y térmicas |
| A2.2.3(3) | Reglas de combinación para cargas de nieve y de tráfico |
| A2.2.3(4) | Reglas de combinación para puentes peatonales protegidos de la mala climatología |
| A2.4.3.2(1) | Criterios de comodidad en puentes peatonales |

Apartados específicos para puentes ferroviarios

| Apartado | Objeto |
|-----------------------------------|--|
| A2.2.4(1) | Reglas de combinación para cargas de nieve en puentes ferroviarios |
| A2.2.4(4) | Máxima velocidad del viento compatible con el tráfico ferroviario |
| A2.4.4.1(1) NOTA 3 | Requisitos de deformación y vibración en puentes ferroviarios provisionales |
| A2.4.4.2.1(4)P | Aceleración máxima del tablero en puentes ferroviarios y rango de frecuencias asociado |
| A2.4.4.2.2 - Tabla A2.7 NOTA | Máximo alabeo del tablero en puentes ferroviarios |
| A2.4.4.2.2(3)P | Máximo alabeo total del tablero en puentes ferroviarios |
| A2.4.4.2.3(1) | Flecha (deformación vertical) de puentes ferroviarios con y sin balasto |
| A2.4.4.2.3(2) | Máximo giro en el extremo del tablero en puentes ferroviarios sin balasto |
| A2.4.4.2.3(3) | Límites adicionales de giro en el extremo del tablero |
| A2.4.4.2.4(2) - Tabla A2.8 NOTA 3 | Valores de los coeficientes α_i y r_i |
| A2.4.4.2.4(3) | Mínima frecuencia lateral en puentes ferroviarios |
| A2.4.4.3.2(6) | Requisitos para la comodidad de los pasajeros en puentes provisionales |

Modificación al apartado 1.3

En el punto (2), se sustituye el tercer punto de las consideraciones por:

“

- se asegura una supervisión y un control de calidad adecuados durante el proyecto y la ejecución de la obra, es decir, en fábrica, en las plantas y en la obra;

“

Modificación al apartado 1.5.3.17

Se añade la siguiente NOTA:

“NOTA En el caso del valor frecuente de las acciones de tráfico con componentes múltiples, véanse los grupos de cargas de la Norma EN 1991-2.”

Modificación al apartado 1.5.6.10

En el título, se elimina "(de primer y de segundo orden)"

Modificación al apartado 1.6

Se sustituye el apartado completo por el siguiente:

“A los efectos de esta norma europea, son de aplicación los siguientes símbolos.

NOTA La notación utilizada está basada en la Norma ISO 3898:1987.

Letras latinas mayúsculas

| | |
|-------------|---|
| A | Acción accidental |
| A_d | Valor de cálculo de una acción accidental |
| A_{Ed} | Valor de cálculo de una acción sísmica $A_{Ed} = \gamma_t A_{Ek}$ |
| A_{Ek} | Valor característico de una acción sísmica |
| C_d | Valor nominal, o función, de ciertas propiedades de cálculo de los materiales |
| E | Efecto de la acción |
| E_d | Valor de cálculo del efecto de las acciones |
| $E_{d,dst}$ | Valor de cálculo del efecto de las acciones desestabilizadoras |
| $E_{d,stb}$ | Valor de cálculo del efecto de las acciones estabilizadoras |
| F | Acción |
| F_d | Valor de cálculo de una acción |
| F_k | Valor característico de una acción |
| F_{rep} | Valor representativo de una acción |
| F_W | Fuerza del viento (símbolo general) |
| F_{wk} | Valor característico de la fuerza del viento |
| F_W^* | Fuerza del viento compatible con el tráfico rodado |

| | |
|---------------|--|
| F_W^{**} | Fuerza del viento compatible con el tráfico ferroviario |
| G | Acción permanente |
| G_d | Valor de cálculo de una acción permanente |
| $G_{d,inf}$ | Valor de cálculo inferior de una acción permanente |
| $G_{d,sup}$ | Valor de cálculo superior de una acción permanente |
| G_k | Valor característico de una acción permanente |
| $G_{k,j}$ | Valor característico de una acción permanente j |
| $G_{k,j,sup}$ | Valor característico superior de una acción permanente j |
| $G_{k,j,inf}$ | Valor característico inferior de una acción permanente j |
| G_{set} | Acción permanente debida a los asientos diferenciales |
| P | Valor representativo relevante de una acción de pretensado (véanse las Normas EN 1992 a EN 1996, y las Normas EN 1998 y EN 1999) |
| P_d | Valor de cálculo de una acción de pretensado |
| P_k | Valor característico de una acción de pretensado |
| P_m | Valor medio de una acción de pretensado |
| Q | Acción variable |
| Q_d | Valor de cálculo de una acción variable |
| Q_k | Valor característico de una sola acción variable |
| $Q_{k,l}$ | Valor característico de la acción variable predominante l |
| $Q_{k,i}$ | Valor característico de la acción variable asociada i |
| Q_{Sn} | Valor característico de la acción de nieve |
| R | Resistencia |
| R_d | Valor de cálculo de la resistencia |
| R_k | Valor característico de la resistencia |
| X | Propiedad de un material |
| X_d | Valor de cálculo de una propiedad de un material |
| X_k | Valor característico de una propiedad de un material |

Letras minúsculas latinas

| | |
|-----------|---|
| a_d | Valores de cálculo de los datos geométricos |
| a_k | Valores característicos de los datos geométricos |
| a_{nom} | Valor nominal de los datos geométricos |
| d_{set} | Diferencia de asientos de una cimentación, o parte de la misma, respecto al nivel de referencia |
| u | Desplazamiento horizontal de una estructura o de un elemento estructural |
| w | Flecha vertical de un elemento estructural |

Letras griegas mayúsculas

| | |
|-------------------------|---|
| Δa | Cambio hecho a los datos geométricos nominales por necesidades concretas de proyecto, por ejemplo, valoración de los efectos debidos a las imperfecciones |
| Δd_{set} | Incertidumbre vinculada a la evaluación del asiento de una cimentación, o parte de la misma |

Letras minúsculas griegas

| | |
|---------------------------|---|
| γ | Coeficiente parcial (de seguridad o de servicio) |
| γ_{bt} | Valor pico máximo de la aceleración de un tablero de puente para una vía de balasto |
| γ_{df} | Valor pico máximo de la aceleración de un tablero para una vía de fijación directa |
| γ_{Gset} | Coeficiente parcial para las acciones permanentes debidas a asientos, incluyendo las incertidumbres del modelo |
| γ_f | Coeficiente parcial de las acciones, que tiene en cuenta la posibilidad de desviaciones desfavorables de los valores de la acción respecto a los valores representativos |
| γ_F | Coeficiente parcial de las acciones, que también tiene en cuenta incertidumbres del modelo y las variaciones dimensionales |
| γ_g | Coeficiente parcial de las acciones permanentes que tiene en cuenta la posibilidad de desviaciones desfavorables de los valores de la acción con respecto a los valores representativos |
| γ_G | Coeficiente parcial de las acciones permanentes, que también tiene en cuenta incertidumbres del modelo y las variaciones dimensionales |
| $\gamma_{G,j}$ | Coeficiente parcial de la acción permanente j |
| $\gamma_{G,j,\text{sup}}$ | Coeficiente parcial de la acción permanente j para el cálculo del valor superior de cálculo |
| $\gamma_{G,j,\text{inf}}$ | Coeficiente parcial de la acción permanente j para el cálculo del valor inferior de cálculo |
| γ_I | Coeficiente de importancia (véase la Norma EN 1998) |
| γ_m | Coeficiente parcial de la propiedad de un material |
| γ_M | Coeficiente parcial de la propiedad de un material, que también tiene en cuenta incertidumbres del modelo y variaciones dimensionales |
| γ_p | Coeficiente parcial de las acciones de pretensado (véanse las Normas EN 1992 a EN 1996, y las Normas EN 1998 y EN 1999) |
| γ_q | Coeficiente parcial de las acciones variables, que tiene en cuenta la posibilidad de desviaciones desfavorables de los valores de las acciones con respecto a los valores representativos |
| γ_Q | Coeficiente parcial de las acciones variables, que también tiene en cuenta las incertidumbres del modelo y las variaciones dimensionales |
| $\gamma_{Q,i}$ | Coeficiente parcial de la acción variable i |
| γ_{Rd} | Coeficiente parcial asociado a la incertidumbre del modelo de resistencia |
| γ_{Sd} | Coeficiente parcial asociado a la incertidumbre de la acción y/o del modelo del efecto de la acción |
| η | Coeficiente de conversión |
| ξ | Coeficiente de reducción |
| ψ_0 | Coeficiente del valor de combinación de una acción variable |
| ψ_1 | Coeficiente del valor frecuente de una acción variable |
| ψ_2 | Coeficiente del valor casi-permanente de una acción variable |
| „. | |

Modificación al apartado 2.1

En el punto (1)P, segundo elemento, se sustituye:

"— se mantenga apta para el uso requerido."

por el siguiente elemento, incluyendo una nueva nota:

"— se cumplan los requisitos de aptitud al servicio especificados para la estructura o el elemento estructural.

NOTA Véanse también los apartados 1.3, 2.1(7) y 2.4(1)P."

Modificación al apartado 3.3

En el punto (4)P, se sustituye la NOTA por:

"NOTA Los distintos conjuntos de coeficientes parciales se asocian con los diferentes estados límite últimos, véase el apartado 6.4.1".

Modificaciones al apartado 4.1.3

En el punto (1)P, se sustituye la NOTA 2 del punto b) por:

"NOTA 2 El valor infrecuente, representado por el producto $\psi_{1,inf}Q_k$, se puede emplear sólo para la verificación de algunos estados límite de servicio, específicamente para puentes de hormigón. El valor infrecuente, que se define sólo para cargas de tráfico rodado (véase la Norma EN 1991-2) se basa en un periodo de retorno de un año."

En el punto (1)P, se añade la siguiente NOTA 3 al punto b):

"NOTA 3 Véase la Norma EN 1991-2 para el valor frecuente de las acciones de tráfico de componentes múltiples (multicomponentes).".

Modificaciones al apartado 4.1.5

Se sustituye:

"(1) Los modelos de la carga característica y de la de fatiga dados en la Norma EN 1991 incluyen los efectos de las aceleraciones causadas por las acciones ya sea implícitamente en las cargas características o bien explícitamente aplicando los coeficientes de intensificación dinámicos a las cargas estáticas características."

por:

"(1) Los modelos de carga definidos por valores característicos, y los modelos de carga de fatiga, definidos en la Norma EN 1991, pueden incluir los efectos de las aceleraciones producidas por las acciones bien implícitamente o explícitamente, aplicando coeficientes de mayoración dinámicos."

Modificaciones al apartado 6.4.1

En el punto a) del punto (1)P, se sustituye el primer guión de la enumeración por:

“

- las variaciones menores del valor o de la distribución espacial de las acciones permanentes de un único origen son significativas, y

“

En el punto d) del punto (1)P, se sustituye la NOTA por:

“NOTA Para el cálculo a fatiga, las combinaciones de acciones se indican en las Normas EN 1992 a EN 1995, EN 1997 y EN 1999.”.

En el punto (1)P, se añaden los dos nuevos puntos e) y f) siguientes:

“

e) UPL: pérdida del equilibrio de la estructura o el terreno debido a la subpresión u otras acciones verticales;

NOTA Véase la Norma EN 1997.

f) HYD: elevación hidráulica, erosión interna y erosión en túnel (tubidificación) en el terreno, producidas por los gradientes hidráulicos.

NOTA Véase la Norma EN 1997.

“

Modificación al apartado 6.4.3.3

En el punto (4), se sustituye el segundo párrafo por:

“Para las situaciones de incendio A_d debería representar, además de los efectos de la temperatura en las propiedades del material, el valor de cálculo de los efectos indirectos de la acción térmica debida al fuego”.

Modificación al apartado A.1.2.2

En el punto (1), se sustituye la NOTA por:

“NOTA Los valores recomendados de los coeficientes ψ para las acciones más comunes se pueden obtener de la tabla A.1.1. Para los coeficientes ψ durante la ejecución, véase el anexo A1 de la Norma EN 1991-1-6.”.

Modificaciones al apartado A.1.3.1

Se sustituye el punto (7) por:

“(7) El fallo hidráulico (HYD) y por subpresión (UPL) (por ejemplo, en la base de una excavación para la estructura de un edificio) se deberían verificar conforme a la Norma EN 1997.”.

Se sustituyen las tablas A1.2(A), A1.2(B) y A1.2(C), así como sus respectivos títulos, por las siguientes:

Tabla A.1.2(A) – Valores de cálculo de las acciones (EQU) (Conjunto A)

| Situaciones de proyecto permanentes y transitorias | Acciones permanentes | | Acción variable(*) predominante | Acciones variables de acompañamiento | |
|--|--------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|
| | Desfavorables | Favorables | | Principal (si hubiera alguna) | Otras |
| Ecuación 6.10 | $\gamma_{G,j,sup} G_{k,j,sup}$ | $\gamma_{G,j,inf} G_{k,j,inf}$ | $\gamma_{Q,1} G_{k,1}$ | | $\gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$ |
| (*) Las acciones variables son las consideradas en la tabla A.1.1 NOTA 1 Los valores γ pueden establecerse en el anexo nacional. Los valores recomendados de γ son: $\gamma_{G,j,sup} = 1,10$ $\gamma_{G,j,inf} = 0,90$ $\gamma_{Q,1} = 1,50$ cuando sea desfavorable (0 cuando sea favorable) $\gamma_{Q,i} = 1,50$ cuando sea desfavorable (0 cuando sea favorable) NOTA 2 En los casos en que la verificación del equilibrio estático también comprenda la resistencia de los elementos estructurales, como una alternativa a las dos verificaciones por separado basadas en las tablas A.1.2(A) y A.1.2(B), se puede adoptar una verificación combinada, basada en la tabla A.1.2(A), si lo permite el anexo nacional, con el siguiente conjunto de valores recomendados. Los valores recomendados se pueden modificar en el anexo nacional: $\gamma_{G,j,sup} = 1,35$ $\gamma_{G,j,inf} = 1,15$ $\gamma_{Q,1} = 1,50$ cuando sea desfavorable (0 cuando sea favorable) $\gamma_{Q,i} = 1,50$ cuando sea desfavorable (0 cuando sea favorable) siempre que la aplicación de $\gamma_{G,j,inf} = 1,00$ tanto a la parte favorable como a la desfavorable de las acciones permanentes no produzca un efecto más desfavorable. | | | | | |

Tabla A.1.2(B) – Valores de cálculo de las acciones (STR/GEO) (Conjunto B)

| Situaciones de proyecto permanentes y transitorias | Acciones permanentes | | Acción variable predominante | Acciones variables (*) de acompañamiento | | Situaciones de proyecto permanentes y transitorias | Acciones permanentes | | Acción variable(*) predominante | Acciones variables (*) de acompañamiento | |
|--|--|--|------------------------------|--|-----------------------------------|--|--|--|---------------------------------|--|-----------------------------------|
| | Desfavorables | Favorables | | Principal (si hubiera alguna) | Otras | | Desfavorables | Favorables | | Principal | Otras |
| Ecuación 6.10 | $\gamma_{G,j,\text{sup}} G_{k,j,\text{sup}}$ | $\gamma_{G,j,\text{inf}} G_{k,j,\text{inf}}$ | $\gamma_{Q,1} G_{k,1}$ | | $\gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$ | Ecuación 6.10a | $\gamma_{G,j,\text{sup}} G_{k,j,\text{sup}}$ | $\gamma_{G,j,\text{inf}} G_{k,j,\text{inf}}$ | | $\gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$ | $\gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$ |
| | | | | | | Ecuación 6.10b | $\xi \gamma_{G,j,\text{sup}} G_{k,j,\text{sup}}$ | $\gamma_{G,j,\text{inf}} G_{k,j,\text{inf}}$ | $\gamma_{Q,1} G_{k,1}$ | | $\gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$ |

(*) Las acciones variables son las consideradas en la tabla A.1.1

NOTA 1 La elección entre 6.10, ó 6.10a y 6.10b se encontrará en el anexo nacional. En el caso de 6.10a y 6.10b, el anexo nacional puede además modificar 6.10a para incluir sólo acciones permanentes.

NOTA 2 Los valores γ y ξ pueden establecerse en el anexo nacional. Se recomiendan los siguientes valores para γ y ξ cuando se empleen las expresiones 6.10, ó 6.10a y 6.10b.

$$\gamma_{G,j,\text{sup}} = 1,35$$

$$\gamma_{G,j,\text{inf}} = 1,00$$

$$\gamma_{Q,1} = 1,50 \text{ cuando sea desfavorable (0 cuando sea favorable)}$$

$$\gamma_{Q,i} = 1,50 \text{ cuando sea desfavorable (0 cuando sea favorable)}$$

$$\xi = 0,85 \text{ (de forma que } \xi \gamma_{G,j,\text{sup}} = 0,85 \times 1,35 \cong 1,15)$$

Véase también las Normas EN 1991, hasta EN 1999 para los valores γ a emplear para deformaciones exteriores.

NOTA 3 Los valores característicos de todas las acciones permanentes del mismo origen se multiplican por $\gamma_{G,\text{sup}}$ si el efecto de la acción resultante total es desfavorable, y $\gamma_{G,\text{inf}}$ si el efecto de la resultante total es favorable. Por ejemplo, todas las acciones derivadas del peso propio de la estructura pueden considerarse como procedentes de un mismo origen; esto es también aplicable si afecta a diferentes materiales.

NOTA 4 Para casos concretos de verificaciones, los valores de γ_G y γ_Q pueden subdividirse en γ_g y γ_q y el coeficiente γ_{sd} del modelo de incertidumbre. Un valor de γ_{sd} en el rango de 1,05 y 1,15 puede emplearse en la mayoría de los casos comunes, y puede modificarse en el anexo nacional.

Tabla A.1.2(C) – Valores de cálculo de las acciones (STR/GEO) (Conjunto C)

| Situaciones de proyecto permanentes y transitorias | Acciones permanentes | | Acción variable(*) predominante | Acciones variables de acompañamiento* | |
|--|--------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|
| | Desfavorables | Favorables | | Principal (si hubiera alguna) | Otras |
| Ecuación 6.10 | $\gamma_{G,j,sup} G_{k,j,sup}$ | $\gamma_{G,j,inf} G_{k,j,inf}$ | $\gamma_{Q,1} Q_{k,1}$ | | $\gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$ |
| (*) Las acciones variables son las consideradas en la tabla A.1.1 NOTA 1 Los valores γ pueden establecerse en el anexo nacional. Los valores recomendados de γ son: $\gamma_{G,j,sup} = 1,00$ $\gamma_{G,j,inf} = 1,00$ $\gamma_{Q,1} = 1,30$ cuando sea desfavorable (0 cuando sea favorable) $\gamma_{Q,i} = 1,30$ cuando sea desfavorable (0 cuando sea favorable) | | | | | |

Modificación al apartado A.1.3.2

Se sustituye la tabla A.1.3 por la siguiente:

Tabla A.1.3 – Valores de cálculo de las acciones para uso en combinaciones de acciones accidentales y sísmicas

| Situación de proyecto | Acciones permanentes | | Acción accidental o sísmica predominante | Acciones variables (**) de acompañamiento | |
|---|----------------------|---------------|--|---|------------------------|
| | Desfavorables | Favorables | | Principal (si hubiera alguna) | Otras |
| Accidental (*) (Ecuación 6.11a/b) | $G_{k,j,sup}$ | $G_{k,j,inf}$ | A_d | $\psi_{1,1}$ o $\psi_{2,1}$ $Q_{k,1}$ | $\psi_{2,i}$ $Q_{k,i}$ |
| Sísmica (Ecuación 6.12a/b) | $G_{k,j,sup}$ | $G_{k,j,inf}$ | γA_{Ek} o A_{Ed} | $\psi_{2,i}$ $Q_{k,i}$ | |
| (*) En el caso de situaciones de proyecto accidentales, la acción variable principal puede tomarse con sus valores frecuentes o, como en las combinaciones sísmicas de acciones, con sus valores casi-frecuentes. La elección estará en el anexo nacional, dependiendo de la acción accidental considerada. Véase también la Norma EN 1991-1-2. | | | | | |
| (**) Las acciones variables son las consideradas en la tabla A.1.1 | | | | | |

Modificación al apartado A.1.4.1

Se sustituye la tabla A1.4 por la siguiente:

Tabla A.1.4 – Valores de cálculo de las acciones para uso en combinaciones de acciones

| Combinación | Acciones permanentes G_d | | Acciones variables Q_d | |
|------------------|----------------------------|---------------|--------------------------|----------------------|
| | Desfavorables | Favorables | Predominante | Otras |
| Característica | $G_{k,j,sup}$ | $G_{k,j,inf}$ | $Q_{k,1}$ | $\psi_{0,i} Q_{k,i}$ |
| Frecuente | $G_{k,j,sup}$ | $G_{k,j,inf}$ | $\psi_{1,1} Q_{k,1}$ | $\psi_{2,i} Q_{k,1}$ |
| Cuasi permanente | $G_{k,j,sup}$ | $G_{k,j,inf}$ | $\psi_{2,1} Q_{k,1}$ | $\psi_{2,i} Q_{k,1}$ |

ANEXO A2 (Normativo)

APLICACIÓN EN PUENTES

A2.1 Campo de aplicación

(1) Este anexo A2 de la Norma EN 1990 proporciona reglas y métodos para establecer combinaciones de acciones para la verificación de los estados límite último y de servicio (excepto las verificaciones a fatiga), con los valores de cálculo recomendados de las acciones permanentes, variables y accidentales, así como los coeficientes ψ a emplear en el proyecto de puentes de carretera, peatonales y ferroviarios. También se aplica a las acciones durante la ejecución. Asimismo, se proporcionan métodos y reglas para las verificaciones relacionadas con algunos de los estados límite de servicio independientes del material.

NOTA 1 Los símbolos, notaciones, modelos de carga y grupos de cargas son los empleados o definidos en el apartado correspondiente de la Norma EN 1991-2.

NOTA 2 Los símbolos, notaciones y modelos de cargas de construcción son los definidos en la Norma EN 1991-1-6.

NOTA 3 En el anexo nacional se pueden proporcionar directrices respecto al uso de la tabla 2.1 (vida útil de cálculo).

NOTA 4 La mayoría de las reglas de combinación definidas en los apartados A2.2.2 a A2.2.5 son simplificaciones que pretenden evitar cálculos innecesariamente complicados. Pueden cambiarse en el anexo nacional o para cada proyecto particular, como se describe en los apartados A2.2.1 a A2.2.5.

NOTA 5 Este anexo A2 de la Norma EN 1990 no incluye reglas para la determinación de acciones sobre apoyos estructurales (fuerzas y momentos) ni de los movimientos asociados de los apoyos, y tampoco proporciona reglas para el análisis de puentes con una interacción terreno-estructura que pueda depender de los movimientos o deformaciones de los apoyos estructurales.

(2) Las reglas proporcionadas en este anexo A2 de la Norma EN 1990 pueden no ser suficientes para:

- puentes que no estén cubiertos en la Norma EN 1991-2 (por ejemplo, puentes bajo la pista de un aeropuerto, puentes móviles mediante mecanismos, puentes cubiertos, puentes que transportan agua, etc.),
- puentes con tráfico tanto rodado como ferroviario, y
- otras estructuras de ingeniería civil que soporten cargas del tráfico (por ejemplo, el relleno tras un muro de contención).

A2.2 Combinaciones de acciones

A2.2.1 Generalidades

(1) Los efectos de acciones que no pueden darse simultáneamente debido a razones físicas o funcionales no tienen que considerarse de modo simultáneo en las combinaciones de acciones.

(2) Las combinaciones que incluyan acciones que quedan fuera del campo de aplicación de la Norma EN 1991 (por ejemplo las debidas al hundimiento de minas, efectos particulares del viento, agua, restos flotantes, inundación, deslizamiento de fango, avalancha, incendio y empuje del hielo) deberían definirse de acuerdo con el punto (3) del apartado 1.1 de la Norma EN 1990.

NOTA 1 Las combinaciones que incluyen acciones que queden fuera del campo de aplicación de la Norma EN 1991 pueden establecerse en el anexo nacional o para cada proyecto particular.

NOTA 2 Para las acciones sísmicas, véase la Norma EN 1998.

NOTA 3 Para las acciones del agua ejercidas por corrientes y restos flotantes, véase la Norma EN 1991-1-6.

(3) Para la verificación de estados límite últimos deberían usarse las combinaciones de acciones establecidas en las expresiones 6.9a a 6.12b.

NOTA La expresiones 6.9a a 6.12b no sirven para la verificación de los estados límite debidos a fatiga. Para las verificaciones de fatiga, véanse las Normas EN 1991 a EN 1999.

(4) Para la verificación de estados límite de servicio deberían usarse las combinaciones de acciones establecidas en las expresiones 6.14a a 6.16b. En el apartado A2.4 se establecen reglas adicionales para las verificaciones respecto a deformaciones y vibraciones.

(5) Cuando sean relevantes, las acciones variables del tráfico deberían considerarse como simultáneas a cualquier otra, de acuerdo con los capítulos correspondientes de la Norma EN 1991-2.

(6)P Durante la ejecución se deben tener en cuenta las situaciones de proyecto apropiadas.

(7)P Cuando un puente entra en carga por fases se deben tener en cuenta las situaciones de proyecto apropiadas.

(8) Cuando sean relevantes, las cargas de construcción particulares deberían tenerse en cuenta simultáneamente en las combinaciones de acciones apropiadas.

NOTA Cuando las cargas de construcción no pueden producirse simultáneamente debido a la implementación de medidas de control, no es necesario tenerlas en cuenta en las combinaciones de acciones apropiadas.

(9)P En cualquier combinación de acciones variables de tráfico con otras acciones variables especificadas en otras partes de la Norma EN 1991, cualquier grupo de cargas, tal y como se definen en la Norma EN 1991-2, se debe considerar una acción variable.

(10) No es necesario considerar las cargas de nieve y las acciones del viento simultáneamente con cargas producidas por la actividad de ejecución Q_{ca} (es decir, las cargas debidas al personal de obra).

NOTA En un proyecto concreto puede ser necesario considerar las cargas de nieve y las acciones del viento simultáneamente con otras cargas de construcción (por ejemplo, las acciones debidas a equipo pesado o a grúas) durante algunas situaciones de proyecto transitorias. Véanse también las Normas EN 1991-1-3, EN 1991-1-4 y EN 1991-1-6.

(11) Cuando sean relevantes, las acciones térmicas y del agua deberían considerarse simultáneamente con las cargas de construcción. Cuando sean relevantes, deberían tenerse en cuenta los diversos parámetros que gobiernan las acciones del agua y los componentes de las acciones térmicas al identificar las combinaciones apropiadas con las cargas de construcción.

(12) La inclusión de las acciones de pretensado en combinaciones de acciones debería estar de acuerdo con el punto (8) del apartado A2.3.1 y con las Normas EN 1992 a EN 1999.

(13) Deberían tenerse en cuenta los efectos de los asientos diferenciales si se los considera significativos comparados con los efectos de las acciones directas.

NOTA Se pueden especificar los límites del asentamiento total y del asentamiento diferencial para cada proyecto particular.

(14) Si la estructura es muy sensible a los asientos diferenciales, debería tenerse en cuenta la incertidumbre en la evaluación de dichos asentamientos.

(15) Los asientos diferenciales en la estructura debidos al hundimiento del suelo deberían clasificarse como una acción permanente, G_{set} , incluida en las combinaciones de acciones para la verificación de los estados límite último y de servicio de la estructura. Se debería representar G_{set} mediante un conjunto de valores que se correspondan con las diferencias (comparadas con un nivel de referencia) de los asientos entre las cimentaciones individuales o partes de una cimentación, $d_{set,i}$ (donde i es el número de la cimentación individual o parte de una cimentación).

NOTA 1 Los asientos se producen principalmente por cargas permanentes y rellenos. En algunos proyectos concretos puede ser necesario tener en cuenta acciones variables.

NOTA 2 Los asientos varían de forma monótona (en la misma dirección) con el tiempo, y es necesario tenerlos en cuenta desde el momento en que provocan efectos en la estructura (es decir, después de que la estructura, o una parte de ella, se vuelva hiperestática). Además, en el caso de una estructura de hormigón o con elementos de hormigón, puede haber una interacción entre el desarrollo de asientos y la fluencia de los elementos de hormigón.

(16) Para las diferencias de asentamiento de las cimentaciones individuales o partes de una cimentación, $d_{set,i}$, deberían tenerse en cuenta los valores previstos más probables, de acuerdo con la Norma EN 1997, tomando en consideración el proceso de ejecución de la estructura.

NOTA En la Norma EN 1997 se proporcionan métodos para la evaluación de asentamientos.

(17) En ausencia de medidas de control, la acción permanente que representa los asientos debería determinarse del modo siguiente:

- se asignan los valores previstos más probables $d_{set,i}$ a todas las cimentaciones individuales o partes de una cimentación,
- se somete a dos cimentaciones individuales o partes de una cimentación, seleccionadas de modo que se obtenga el efecto más desfavorable, a un asentamiento $d_{set,i} \pm \Delta d_{set,i}$; donde $\Delta d_{set,i}$ considera las incertidumbres asociadas a la evaluación de asentamientos.

A2.2.2 Reglas de combinación para puentes de carretera

(1) En determinados estados límite de servicio de puentes de hormigón pueden usarse los valores infrecuentes de acciones variables.

NOTA El anexo nacional puede referirse a la combinación infrecuente de las acciones. La expresión de esta combinación de acciones es:

$$E_d = E\{G_{k,j}; P; \psi_{1,infq} Q_{k,1}; \psi_{1,i} Q_{k,i}\} \quad j \geq 1; i > 1 \quad (A2.1a)$$

en la que la combinación de acciones entre corchetes { } puede expresarse como:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + "P" + \psi_{1,infq} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{1,i} Q_{k,i} \quad (A2.1b)$$

(2) En puentes peatonales no es necesario combinar el modelo de carga 2 (o el grupo asociado de cargas gr1b) y la carga concentrada Q_{fwk} (véase el apartado 5.3.2.2 de la Norma EN 1991-2) con ninguna otra acción variable no atribuible al tráfico.

(3) No es necesario combinar ni las cargas de nieve ni las acciones del viento con:

- fuerzas de frenado y acelerado, o fuerzas centrífugas, o el grupo asociado de cargas gr2,
- cargas en zonas peatonales y ciclistas, o el grupo asociado de cargas gr3,
- cargas debidas a muchedumbres (modelo de carga 4), o el grupo asociado de cargas gr4.

NOTA Se pueden establecer las reglas de combinación para vehículos especiales (véase el anexo A, informativo, de la Norma EN 1991-2) con tráfico normal (cubierto en los modelos de carga 1 y 2) y otras acciones variables en el anexo nacional, o acordarse para cada proyecto particular.

(4) No es necesario combinar las cargas de nieve con los modelos de carga 1 y 2, ni con los grupos asociados de cargas gr1a y gr1b, salvo que se especifique lo contrario para áreas geográficas particulares.

NOTA El anexo nacional puede especificar áreas geográficas en las que las cargas de nieve pueden tener que combinarse con los grupos de cargas gr1a y gr1b en las combinaciones de acciones.

(5) No debería combinarse ninguna acción del viento superior al menor valor entre F_W^* y $\psi_0 F_{wk}$ con el modelo de carga 1, o con el grupo asociado de cargas gr1a.

NOTA Para las acciones del viento, véase la Norma EN 1991-1-4.

(6) No es necesario tener en cuenta simultáneamente las acciones del viento y las térmicas salvo que se especifique lo contrario debido a las condiciones climáticas locales.

NOTA Dependiendo de las condiciones climáticas locales, se puede establecer una regla de simultaneidad diferente para las acciones del viento y las térmicas en el anexo nacional o para cada proyecto particular.

A2.2.3 Reglas de combinación para puentes peatonales

(1) No es necesario combinar la carga concentrada $Q_{f_{wk}}$ con ninguna otra acción variable distinta de las producidas por el tráfico.

(2) No es necesario tener en cuenta simultáneamente las acciones del viento y las térmicas salvo que se especifique lo contrario para las condiciones climáticas locales.

NOTA Dependiendo de las condiciones climáticas locales, se puede establecer una regla de simultaneidad diferente para las acciones del viento y las térmicas en el anexo nacional.

(3) En puentes peatonales no es necesario combinar las cargas de nieve con los grupos de cargas gr1 y gr2, salvo que se especifique lo contrario para áreas geográficas determinadas y algunos tipos de puente peatonal.

NOTA Se pueden establecer áreas geográficas, y algunos tipos de puente peatonal, en los que las cargas de nieve pueden tener que combinarse con grupos de cargas gr1 y gr2 en combinaciones de acciones, en el anexo nacional.

(4) Se deberían definir combinaciones específicas de acciones para los puentes peatonales en los que el tráfico peatonal y ciclista está totalmente protegido ante todos los tipos de mala climatología.

NOTA Se pueden establecer las combinaciones de acciones en el anexo nacional, o acordarse para cada proyecto particular. Se recomiendan combinaciones de acciones similares a las de los edificios (véase el anexo A1), sustituyendo las cargas impuestas por el grupo de cargas relevante y empleando para las acciones del tráfico coeficientes ψ conformes con la tabla A2.2.

A2.2.4 Reglas de combinación para puentes ferroviarios

(1) No es necesario tener en cuenta las cargas de nieve en ninguna combinación para situaciones de proyecto permanentes, ni en situaciones de proyecto transitorias tras la ejecución del puente, salvo que se especifique lo contrario para áreas geográficas determinadas y algunos tipos de puente ferroviario.

NOTA Se pueden establecer áreas geográficas, y algunos tipos de puente ferroviario, en los que hay que tener en cuenta las cargas de nieve en combinaciones de acciones, en el anexo nacional.

(2) Entre las combinaciones de acciones a tener en cuenta cuando las acciones del tráfico y del viento actúan simultáneamente deberían estar:

- las acciones verticales del tráfico ferroviario, incluyendo el factor dinámico, las acciones horizontales del tráfico ferroviario y las fuerzas del viento, considerando los supuestos en los que cada una de estas acciones es la predominante en la combinación de acciones;
- las acciones verticales del tráfico ferroviario, excluyendo el factor dinámico y las acciones laterales del tráfico ferroviario causadas por el “tren sin carga” definido en los apartados 6.3.4 y 6.5 de la Norma EN 1991-2, con fuerzas del viento para la comprobación de estabilidad.

(3) No es necesario combinar la acción del viento con:

- los grupos de cargas gr 13 o gr 23;
- los grupos de cargas gr 16, gr 17, gr 26, gr 27 y el modelo de carga SW/2 (véase el apartado 6.3.3 de la Norma EN 1991-2).

(4) No debería combinarse ninguna acción del viento superior al menor valor entre F_W^{**} y $\psi_0 F_{wk}$ con las acciones del tráfico.

NOTA Se puede(n) establecer la(s) máxima(s) velocidad(es) del viento compatible(s) con el tráfico ferroviario para la determinación de F_W^{**} , en el anexo nacional. Véase también la Norma EN 1991-1-4.

(5) Las acciones debidas a los efectos aerodinámicos del tráfico ferroviario (véase el apartado 6.6 de la Norma EN 1991-2) y las acciones del viento deberían combinarse. Se debería considerar el supuesto de que cada una de estas acciones sea la acción variable predominante.

(6) Si un elemento estructural no está directamente expuesto al viento, la acción q_{ik} debida a los efectos aerodinámicos debería determinarse con una velocidad del tren aumentada en la velocidad del viento.

(7) Cuando no se usan grupos de cargas para la carga del tráfico ferroviario, ésta se debería ser considerar como una única acción variable multidireccional, donde hay que tomar como componentes individuales de las acciones del tráfico ferroviario los valores máximos desfavorables y mínimos favorables, según corresponda.

A2.2.5 Combinaciones de acciones en situaciones de proyecto accidentales (no sísmicas)

(1) Cuando hay que tener en cuenta una acción en una situación de proyecto accidental, no es necesario tener en cuenta en la misma combinación ninguna otra acción accidental, acción del viento o carga de nieve.

(2) En una situación de proyecto accidental relacionada con colisiones con el tráfico (carretero o ferroviario) bajo el puente, las cargas debidas al tráfico en el puente deberían tenerse en cuenta en las combinaciones como acciones de acompañamiento con su valor frecuente.

NOTA 1 Para las acciones debidas a impactos producidos por el tráfico, véase la Norma EN 1991-1-7.

NOTA 2 Se pueden acordar combinaciones de acciones adicionales para otras situaciones de proyecto accidentales (por ejemplo, la combinación de acciones del tráfico carretero o ferroviario con avalanchas, inundaciones o efectos de arrastre) para cada proyecto particular.

NOTA 3 Véase también el punto 1) de la tabla A2.1.

(3) En situaciones de proyecto accidentales debidas a acciones producidas por el descarrilamiento de un tren en un puente ferroviario, se deberían tener en cuenta en las combinaciones las acciones del tráfico en las otras vías como acciones de acompañamiento, con su valor de combinación.

NOTA 1 Para las acciones debidas a impactos producidos por el tráfico, véase la Norma EN 1991-1-7.

NOTA 2 Las acciones en situaciones de proyecto accidentales debidas a impactos producidos por el tráfico ferroviario sobre el puente, incluidas las acciones de descarrilamiento, se especifican en el apartado 6.7.1 de la Norma EN 1991-2.

(4) Deberían identificarse las situaciones de proyecto accidentales producidas por el impacto de barcos contra puentes.

NOTA Para los impactos de barcos, véase la Norma EN 1991-1-7. Se pueden especificar requisitos adicionales para cada proyecto particular.

A2.2.6 Valores de los coeficientes ψ

(1) Deberían especificarse los valores de los coeficientes ψ .

NOTA 1 Los valores de ψ pueden establecerse en el anexo nacional. Se proporcionan valores recomendados de ψ para los grupos de cargas de tráfico y las demás acciones frecuentes en:

- la tabla A2.1 para puentes de carretera,
- la tabla A2.2 para puentes peatonales, y
- la tabla A2.3 para puentes ferroviarios, tanto para grupos de cargas como para componentes individuales de las acciones del tráfico.

Tabla A2.1 – Valores recomendados de los coeficientes ψ en puentes de carretera

| Acción | Símbolo | ψ_0 | ψ_1 | ψ_2 |
|--|--|---|----------|----------|
| Cargas de tráfico (véase la tabla 4.4 de la Norma EN 1991-2) | gr1a (modelo de carga 1 + cargas de peatones o bicicletas) ¹⁾ | TS | 0,75 | 0,75 |
| | | Carga uniformemente distribuida | 0,40 | 0,40 |
| | | Cargas de peatones + bicicletas ²⁾ | 0,40 | 0,40 |
| | gr1b (eje simple) | | 0 | 0,75 |
| | gr2 (fuerzas horizontales) | | 0 | 0 |
| | gr3 (cargas de peatones) | | 0 | 0,40 |
| Fuerzas del viento | gr4 (modelo de carga 4 - Carga debida a muchedumbres) | | 0 | – |
| | gr5 (modelo de carga 3 - Vehículos especiales) | | 0 | – |
| | F_{wk} | | | |
| | – Situaciones de proyecto permanentes | 0,6 | 0,2 | 0 |
| | – Ejecución | 0,8 | – | 0 |
| | F_w^* | 1,0 | – | – |
| Acciones térmicas | T_k | 0,6 ³⁾ | 0,6 | 0,5 |
| Cargas de nieve | $Q_{sn,k}$ (durante la ejecución) | 0,8 | – | – |
| Cargas de construcción | Q_c | 1,0 | – | 1,0 |

1) Los valores recomendados de ψ_0 , ψ_1 y ψ_2 para gr1a y gr1b corresponden a tráfico rodado con coeficientes de ajuste α_{Qi} , α_{Qj} , α_{Qr} y β_Q iguales a 1. Los relacionados con la carga uniformemente repartida corresponden a escenarios comunes del tráfico en los que puede producirse una acumulación de camiones poco habitual. Se pueden establecer otros valores para otras clases de vías o de tráfico estimado, basados en la elección de los coeficientes α correspondientes. Por ejemplo, en puentes que soporten un tráfico intenso y continuo puede establecerse un valor de ψ_2 distinto de cero para el sistema de carga uniformemente repartida del modelo de carga 1. Véase también la Norma EN 1998.

2) El valor de combinación de la carga de vías peatonales y ciclistas mencionado en la tabla 4.4a de la Norma EN 1991-2, es un valor “reducido”. Se pueden aplicar a este valor los coeficientes ψ_0 y ψ_1 .

3) Los valores recomendados de ψ_0 para las acciones térmicas pueden, en la mayoría de los casos, reducirse a 0 para los estados límite últimos EQU, STR y GEO¹⁾. Véanse también los Eurocódigos de cálculo.

NOTA 2 Se pueden establecer los valores de $\psi_{1,infq}$ en el anexo nacional, cuando en dicho anexo se haga referencia a la combinación infrecuente de acciones para algunos estados límite de servicio en puentes de hormigón. Los valores recomendados de $\psi_{1,infq}$ son:

- 0,80 para gr1a (modelo de carga 1), gr1b (modelo de carga 2), gr3 (cargas de peatones), gr4 (modelo de carga 4, carga debida a muchedumbres) y T (acciones térmicas);
- 0,60 para F_{wk} en situaciones de proyecto permanentes;
- 1,00 en otros casos (por ejemplo, cuando el valor característico se emplea como valor infrecuente).

NOTA 3 Los valores característicos de las acciones del viento y las cargas de nieve durante la ejecución se definen en la Norma EN 1991-1-6. Se pueden establecer valores representativos de las fuerzas del agua (F_{wa}) en el anexo nacional o para cada proyecto particular, cuando sea apropiado.

1) NOTA NACIONAL Véase el apartado 6.4.1 de esta norma para el significado de EQU, STR y GEO.

Tabla A2.2 – Valores recomendados de los coeficientes ψ en puentes peatonales

| Acción | Símbolo | ψ_0 | ψ_1 | ψ_2 |
|--|-----------------------------------|-------------------|----------|----------|
| Cargas de tráfico | gr1 | 0,40 | 0,40 | 0 |
| | Q_{fwk} | 0 | 0 | 0 |
| | gr2 | 0 | 0 | 0 |
| Fuerzas del viento | F_{wk} | 0,3 | 0,2 | 0 |
| Acciones térmicas | T_k | 0,6 ¹⁾ | 0,6 | 0,5 |
| Cargas de nieve | $Q_{Sn,k}$ (durante la ejecución) | 0,8 | — | 0 |
| Cargas de construcción | Q_c | 1,0 | — | 1,0 |
| 1) Los valores recomendados de ψ_0 para las acciones térmicas pueden, en la mayoría de los casos, reducirse a 0 para los estados límite últimos EQU, STR y GEO. Véanse también los Eurocódigos de proyecto. | | | | |

NOTA 4 El valor infrecuente de las acciones variables no es relevante en los puentes peatonales.

Tabla A2.3 – Valores recomendados de los coeficientes ψ en puentes ferroviarios

| Acciones | | ψ_0 | ψ_1 | $\psi_2^{4)}$ |
|--|--|--|---------------|---------------|
| Componentes individuales de las acciones del tráfico ⁵⁾ | Modelo de carga 71 | 0,80 | ¹⁾ | 0 |
| | SW/0 | 0,80 | ¹⁾ | 0 |
| | SW/2 | 0 | 1,00 | 0 |
| | Tren sin carga | 1,00 | — | — |
| | Alta velocidad (HSLM*) | 1,00 | 1,00 | 0 |
| | Tracción y frenado Fuerzas centrífugas Fuerzas de interacción debidas a la deformación bajo cargas de tráfico verticales | Las componentes individuales de las acciones del tráfico en situaciones de proyecto en las que las cargas de tráfico se consideran como única acción (multidireccional) predominante, y no como grupos de cargas, deberían usar los mismos valores de los coeficientes ψ que los adoptados para las cargas verticales de acompañamiento | | |
| | Fuerzas de lazo | 1,00 | 0,80 | 0 |
| | Cargas en vías peatonales no públicas | 0,80 | 0,50 | 0 |
| | Trenes reales | 1,00 | 1,00 | 0 |
| | Empuje horizontal de tierras debido a la sobrecarga del tráfico | 0,80 | ¹⁾ | 0 |
| | Efectos aerodinámicos | 0,80 | 0,50 | 0 |
| Acciones principales del tráfico (grupos de cargas) | gr11 (modelo de carga 71 + SW/0) | 0,80 | 0,80 | 0 |
| | Máxima vertical 1 con máxima longitudinal | | | |
| | gr12 (modelo de carga 71 + SW/0) | | | |
| | Máxima vertical 2 con máxima transversal | | | |
| | gr13 (frenado/tracción) | | | |
| | Máxima longitudinal | 0,80 | 0,70 | 0 |
| | gr14 (centrífuga/de lazo) | | | |
| | Máxima lateral | | | |
| | gr15 (tren sin carga) | | | |
| | Estabilidad lateral con “tren sin carga” | | | |
| | gr16 (SW/2) | 0,80 | 0,60 | 0 |
| | SW/2 con máxima longitudinal | | | |
| | gr17 (SW/2) | | | |
| | SW/2 con máxima transversal | | | |
| | gr21 (modelo de carga 71 + SW/0) | | | |
| | Máxima vertical 1 con máxima longitudinal | 0,80 | 0,50 | 0 |
| | gr22 (modelo de carga 71 + SW/0) | | | |
| | Máxima vertical 2 con máxima transversal | | | |
| | gr23 (frenado/tracción) | | | |
| | Máxima longitudinal | | | |
| | gr24 (centrífuga/de lazo) | | | |
| | Máxima lateral | | | |
| | gr26 (SW/2) | 0,80 | 0,50 | 0 |
| | SW/2 con máxima longitudinal | | | |
| | gr27 (SW/2) | | | |
| | SW/2 con máxima transversal | 0,80 | 0,50 | 0 |
| | gr31 (modelo de carga 71 + SW/0) | | | |
| | Casos de carga adicional | 0,80 | 0,60 | 0 |
| Otras acciones | Efectos aerodinámicos | 0,80 | 0,50 | 0 |
| | Carga de mantenimiento en paseos de servicio | 0,80 | 0,50 | 0 |

| Acciones | | ψ_0 | ψ_1 | $\psi_2^{4)}$ |
|---|-----------------------------------|----------|----------|---------------|
| Fuerzas del viento ²⁾ | F_{Wk} | 0,75 | 0,50 | 0 |
| | F_{Wk}^{**} | 1,00 | 0 | 0 |
| Acciones térmicas ³⁾ | T_k | 0,60 | 0,60 | 0,50 |
| Cargas de nieve | $Q_{Sn,k}$ (durante la ejecución) | 0,8 | — | 0 |
| Cargas de construcción | Q_c | 1,0 | — | 1,0 |
| <p>* NOTA NACIONAL HSLM = High Speed Load Model.</p> <p>1) 0,8 si sólo está cargada una vía 0,7 si dos vías están cargadas simultáneamente 0,6 si tres o más vías están cargadas simultáneamente.</p> <p>2) Cuando las fuerzas del viento actúan al mismo tiempo que las acciones del tráfico, no debería tomarse una fuerza del viento $\psi_0 F_{Wk}$ mayor que F_{Wk}^{**} (véase la Norma EN 1991-1-4). Véase el punto (4) del apartado A2.2.4.</p> <p>3) Véase la Norma EN 1991-1-5.</p> <p>4) Si se considera la deformación para situaciones de proyecto permanentes y transitorias, debería tomarse un ψ_2 igual a 1,00 para las acciones del tráfico ferroviario. Para las situaciones de proyecto sísmicas, véase la tabla A2.5.</p> <p>5) La mínima carga vertical favorable que coexiste con componentes individuales de acciones del tráfico ferroviario (por ejemplo, centrífugas, de tracción o frenado) es 0,5 x modelo de carga 71, etc.</p> | | | | |

NOTA 5 En situaciones de proyecto específicas (por ejemplo, cálculo de la contraflecha de un puente por consideraciones estéticas y de drenaje, cálculo de gálibo, etc.), se pueden establecer los requisitos de las combinaciones de acciones a utilizar para cada proyecto particular.

NOTA 6 El valor infrecuente de las acciones variables no es relevante en puentes ferroviarios.

(2) En los puentes ferroviarios, se le debería aplicar un único valor ψ a un grupo de cargas, tal como se define en la Norma EN 1991-2, igual al valor ψ aplicable a la componente predominante del grupo.

(3) En los puentes ferroviarios, se debería utilizar la tabla 6.11 del apartado 6.8.2 de la Norma EN 1991-2 cuando se emplean grupos de cargas.

(4) Cuando sean relevantes, se deberían tener en cuenta las combinaciones de acciones individuales del tráfico (incluidos los componentes individuales). para puentes ferroviarios. También puede ser necesario tener en cuenta acciones individuales del tráfico, por ejemplo para el cálculo de apoyos, la evaluación de las cargas laterales máximas y verticales mínimas del tráfico, las coacciones en apoyos, los efectos máximos de vuelco en los estribos (especialmente en puentes continuos), etc.; véase la tabla A2.3.

A2.3 Estados límite últimos

NOTA Se excluye la verificación a fatiga.

A2.3.1 Valores de cálculo de las acciones en situaciones de proyecto permanentes y transitorias

(1) Los valores de cálculo de las acciones para los estados límites últimos en las situaciones de proyecto permanentes y transitorias (expresiones 6.9a a 6.10b) deberían ser conformes con las tablas A2.4(A) a (C).

NOTA Se pueden cambiar valores de las tablas A2.4(A) a (C) en el anexo nacional (por ejemplo, para los diferentes niveles de fiabilidad; véanse la parte 2 y el anexo B).

(2) Al aplicar las tablas A2.4(A) a A2.4(C) en los casos en los que el estado límite es muy sensible a las variaciones en la magnitud de las acciones permanentes, los valores característicos superior e inferior de estas acciones deberían determinarse de acuerdo con el punto (2)P del apartado 4.1.2.

(3) El equilibrio estático (EQU, véanse los apartados 6.4.1 y el punto (2) del apartado 6.4.2) de los puentes debería verificarse usando los valores de cálculo de las acciones de la tabla A2.4(A).

(4) El cálculo de elementos estructurales (STR, véase el apartado 6.4.1) que no involucre acciones geotécnicas debería verificarse empleando los valores de cálculo de las acciones de la tabla A2.4(B).

(5) El cálculo de elementos estructurales (zapatas, pilotes, pilas, muros frontales, laterales, traseros y aletas de los estribos, muros de retención de balasto, etc.) (STR) que involucre acciones geotécnicas y la resistencia del terreno (GEO, véase el apartado 6.4.1) debería verificarse usando sólo uno de los siguientes tres enfoques, complementado por la Norma EN 1997 para las acciones y resistencias geotécnicas:

- Enfoque 1: se aplican en cálculos separados los valores de cálculo de las tablas A2.4(C) y A2.4(B) a las acciones geotécnicas, así como a las acciones sobre/desde la estructura.
- Enfoque 2: se aplican los valores de cálculo de la tabla A2.4(B) a las acciones geotécnicas, así como a las acciones sobre/desde la estructura.
- Enfoque 3: se aplican los valores de cálculo de la tabla A.2.4(C) a las acciones geotécnicas y, simultáneamente, se aplican los valores de cálculo de la tabla A2.4(B) a las acciones sobre/desde la estructura.

NOTA El anexo nacional establece la elección del enfoque 1, 2 ó 3.

(6) La estabilidad general (por ejemplo, la estabilidad de un talud que soporta la pila de un puente) se debería verificar de acuerdo con la Norma EN 1997.

(7) Se debería verificar el fallo hidráulico (HYD) y por subpresión (UPL) (por ejemplo, en el fondo de la excavación para la cimentación de un puente), cuando sea relevante, de acuerdo con la Norma EN 1997.

(8) Se deberían especificar los valores γ_p a emplear en las acciones de pretensado, para los valores representativos de dichas acciones, de acuerdo con las Normas EN 1990 a EN 1999.

NOTA Cuando no se proporcionan los valores γ_p en los Eurocódigos de proyecto relevantes, se pueden establecer en el anexo nacional o para cada proyecto particular. Entre otras cosas, dependen de:

- el tipo de pretensado (véase la NOTA en el punto (6) del apartado 4.1.2)
 - la clasificación de pretensado como una acción directa o indirecta (véase 1.5.3.1)
 - el tipo de análisis estructural (véase 1.5.6)
 - el carácter favorable o desfavorable de la acción de pretensado, y el carácter predominante o asociado del pretensado en la combinación.
- Durante la ejecución, véase también la Norma EN 1991-1-6.

Tabla A2.4(A) – Valores de cálculo de las acciones (EQU) (Conjunto A)

| Situación de proyecto permanente y transitoria | Acciones permanentes | | Pretensado | Acción variable predominante (*) | Acciones variables de acompañamiento (*) | |
|---|--|--|--------------|----------------------------------|--|-----------------------------------|
| | Desfavorable | Favorable | | | Principal (si procede) | Otras |
| (Ecuación 6.10) | $\gamma_{G,j,\text{sup}} G_{k,j,\text{sup}}$ | $\gamma_{G,j,\text{inf}} G_{k,j,\text{inf}}$ | $\gamma_P P$ | $\gamma_{Q,1} Q_{k,1}$ | | $\gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$ |
| (*) Las acciones variables son las consideradas en las tablas A2.1 a A2.3. | | | | | | |
| <p>NOTA 1 Los valores de γ para las situaciones de proyecto permanentes y transitorias pueden establecerse en el anexo nacional.</p> <p>En las situaciones de proyecto permanentes, el conjunto de valores recomendados para γ es:</p> <p>$\gamma_{G,\text{sup}} = 1,05$ $\gamma_{G,\text{inf}} = 0,95^{(1)}$ $\gamma_Q = 1,35$ para acciones del tráfico rodado y peatonal cuando sean desfavorables (0 cuando sean favorables) $\gamma_Q = 1,45$ para acciones del tráfico ferroviario cuando sean desfavorables (0 cuando sean favorables) $\gamma_Q = 1,50$ para todas las demás acciones variables en situaciones de proyecto permanentes cuando sean desfavorables (0 cuando sean favorables) γ_P = los valores recomendados definidos en el Eurocódigo de proyecto relevante.</p> <p>En el caso de situaciones de proyecto transitorias, en las cuales existe riesgo de pérdida del equilibrio estático, $Q_{k,1}$ representa la acción variable desestabilizadora dominante, y $Q_{k,i}$ representa las acciones variables desestabilizadoras de acompañamiento relevantes.</p> <p>Durante la ejecución, y si el proceso de ejecución se controla de forma adecuada, el conjunto de valores recomendados para γ son:</p> <p>$\gamma_{G,\text{sup}} = 1,05$ $\gamma_{G,\text{inf}} = 0,95^{(1)}$ $\gamma_Q = 1,35$ para cargas de construcción cuando sean desfavorables (0 cuando sean favorables) $\gamma_Q = 1,50$ para todas las demás acciones variables cuando sean desfavorables (0 cuando sean favorables)</p> <p>⁽¹⁾ Cuando se emplea un contrapeso puede tenerse en cuenta la variabilidad de sus características, por ejemplo mediante una de las siguientes reglas recomendadas (o ambas):</p> <ul style="list-style-type: none"> – aplicación de un coeficiente parcial $\gamma_{G,\text{inf}} = 0,8$ cuando el peso propio no está bien definido (por ejemplo, en contenedores); – consideración de una variación respecto a la posición definida en el proyecto, proporcional a las dimensiones del puente, cuando la magnitud del contrapeso está bien definida. Durante el lanzamiento de puentes de acero, la variación de la posición del contrapeso suele considerarse igual a ± 1 m. <p>NOTA 2 Para la verificación de la subpresión en apoyos en puentes continuos, o en casos en los que la verificación del equilibrio estático también comprenda la resistencia de elementos estructurales (por ejemplo, cuando se previene la pérdida del equilibrio estático mediante sistemas o mecanismos estabilizadores como anclas, tirantes o soportes auxiliares) puede adoptarse, como alternativa a las dos verificaciones separadas basadas en las tablas A2.4(A) y A2.4(B), una verificación combinada basada en la tabla A2.4(A). El anexo nacional puede fijar los coeficientes γ. Se recomiendan los siguientes valores:</p> <p>$\gamma_{G,\text{sup}} = 1,35$ $\gamma_{G,\text{inf}} = 1,25$ $\gamma_Q = 1,35$ para acciones del tráfico rodado y peatonal cuando sean desfavorables (0 cuando sean favorables) $\gamma_Q = 1,45$ para acciones del tráfico ferroviario cuando sean desfavorables (0 cuando sean favorables) $\gamma_Q = 1,50$ para todas las demás acciones variables en situaciones de proyecto permanentes cuando sean desfavorables (0 cuando sean favorables) $\gamma_Q = 1,35$ para todas las demás acciones variables cuando sean desfavorables (0 cuando sean favorables) siempre que la aplicación de $\gamma_{G,\text{inf}} = 1,00$ tanto a la parte favorable como a la desfavorable de las acciones permanentes no produzca un efecto más desfavorable.</p> | | | | | | |

Tabla A2.4(B) – Valores de cálculo de las acciones (STR/GEO) (Conjunto B)

| Situación de proyecto permanente y transitoria | Acciones permanentes | | Pretensado | Acción variable predominante (*) | Acciones variables de acompañamiento (*) | | Situación de proyecto permanente y transitoria | Acciones permanentes | | Pretensado | Acción variable predominante (*) | Acciones variables de acompañamiento (*) | |
|---|--------------------------------|--------------------------------|------------|----------------------------------|--|-----------------------------------|--|------------------------------------|--------------------------------|------------|----------------------------------|--|-----------------------------------|
| | Desfavorables | Favorables | | | Principal (si existe) | Otras | | Desfavorables | Favorables | | | Principal (si existe) | Otras |
| (Ecuación 6.10) | $\gamma_{G,j,sup} G_{k,j,sup}$ | $\gamma_{G,j,inf} G_{k,j,inf}$ | γ^P | $\gamma_{Q,1} Q_{k,1}$ | | $\gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$ | (Ecuación 6.10a) | $\gamma_{G,j,sup} G_{k,j,sup}$ | $\gamma_{G,j,inf} G_{k,j,inf}$ | γ^P | | $\gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1}$ | $\gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$ |
| | | | | | | | (Ecuación 6.10b) | $\xi \gamma_{G,j,sup} G_{k,j,sup}$ | $\gamma_{G,j,inf} G_{k,j,inf}$ | γ^P | $\gamma_{Q,1} Q_{k,1}$ | | $\gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$ |
| (*) Las acciones variables son las consideradas en las tablas A2.1 a A2.3. | | | | | | | | | | | | | |
| NOTA 1 La elección entre 6.10, o 6.10a y 6.10b se encontrará en el anexo nacional. En el caso de 6.10a y 6.10b, el anexo nacional puede además modificar 6.10a para incluir sólo acciones permanentes. | | | | | | | | | | | | | |
| <p>NOTA 2 Los valores de γ y ξ pueden establecerse en el anexo nacional. Se recomiendan los siguientes valores al usar las expresiones 6.10, ó 6.10a y 6.10b:</p> <p>$\gamma_{G,sup} = 1,35^{1)}$ $\gamma_{G,inf} = 1,00$ $\gamma_Q = 1,35$ cuando Q representa acciones desfavorables debidas al tráfico rodado y peatonal (0 cuando sean favorables) $\gamma_Q = 1,45$ cuando Q representa acciones desfavorables debidas al tráfico ferroviario, para los grupos de cargas 11 a 31 (excepto 16, 17, 26³⁾ y 27³⁾), los modelos de carga 71, SW/0 y alta velocidad (HSLM), y los trenes reales, cuando se las considera como acciones individuales predominantes del tráfico (0 cuando sean favorables) $\gamma_Q = 1,20$ cuando Q representa acciones desfavorables debidas al tráfico ferroviario, para los grupos de cargas 16 y 17, y SW/2 (0 cuando sean favorables) $\gamma_Q = 1,50$ para otras acciones del tráfico y otras acciones variables²⁾ $\xi = 0,85$ (de modo que $\xi \gamma_{G,sup} = 0,85 \times 1,35 \approx 1,15$) $\gamma_{Gset} = 1,20$ en el caso de un análisis elástico lineal, y $\gamma_{Gset} = 1,35$ en el caso de un análisis no-lineal, para situaciones de proyecto en las que las acciones debidas a asientos diferenciales puedan tener efectos desfavorables. En las situaciones de proyecto en las que las acciones debidas a asientos diferenciales puedan tener efectos favorables, estas acciones no se tienen en cuenta. Véanse también, en las Normas EN 1991 a 1999, los valores de γ a emplear para deformaciones impuestas. γ_p = los valores recomendados definidos en el Eurocódigo de proyecto relevante.</p> <p>1) Este valor cubre: peso propio de elementos estructurales y no estructurales, balasto, tierras, agua subterránea, agua libre, cargas retirables, etc. 2) Este valor cubre: empuje horizontal de tierras por el terreno, el agua subterránea, el agua libre y el balasto, empuje de tierras por la sobrecarga del tráfico, acciones aerodinámicas del tráfico, acciones del viento y térmicas, etc. 3) Para acciones del tráfico ferroviario con los grupos de cargas 26 y 27 puede aplicarse $\gamma_Q = 1,20$ a los componentes individuales de las acciones del tráfico de acompañamiento a SW/2, y $\gamma_Q = 1,45$ a los componentes individuales de las acciones del tráfico de acompañamiento a los modelos de carga 71, SW/0 y alta velocidad (HSLM), etc.</p> | | | | | | | | | | | | | |
| NOTA 3 Los valores característicos de todas las acciones permanentes de una misma fuente se multiplican por $\gamma_{G,sup}$ si el efecto resultante de las acciones es desfavorable, y por $\gamma_{G,inf}$ si el efecto resultante de las acciones es favorable. Por ejemplo, todas las acciones originadas por el peso propio de la estructura pueden considerarse procedentes de una misma fuente; esto también se aplica si hay varios materiales involucrados. Sin embargo, véase el punto (2) del apartado A2.3.1. | | | | | | | | | | | | | |
| NOTA 4 En las verificaciones particulares, los valores de γ_G y γ_Q pueden subdividirse en γ_{G_s} , γ_Q y el coeficiente de incertidumbre del modelo γ_{sd} . En la mayoría de los casos comunes puede emplearse un valor de γ_{sd} en el rango de 1,00-1,15, que puede modificarse en el anexo nacional. | | | | | | | | | | | | | |
| NOTA 5 En el caso de acciones debidas al agua no cubiertas por la Norma EN 1997 (por ejemplo, la del agua fluyente), se pueden especificar las combinaciones de acciones a emplear para cada proyecto particular. | | | | | | | | | | | | | |

Tabla A2.4(C) – Valores de cálculo de las acciones (STR/GEO) (Conjunto C)

| Situación de proyecto permanente y transitoria | Acciones permanentes | | Pretensado | Acción variable predominante (*) | Acciones variables de acompañamiento (*) | |
|--|--|--|--------------|----------------------------------|--|-----------------------------------|
| | Desfavorables | Favorables | | | Principal (si existe) | Otras |
| (Ecuación 6.10) | $\gamma_{G,j,\text{sup}} G_{k,j,\text{sup}}$ | $\gamma_{G,j,\text{inf}} G_{k,j,\text{inf}}$ | $\gamma_P P$ | $\gamma_{Q,1} Q_{k,1}$ | | $\gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$ |
| (*) Las acciones variables son las consideradas en las tablas A2.1 a A2.3. | | | | | | |
| <p>NOTA Los valores de γ pueden establecerse en el anexo nacional. El conjunto de valores recomendado para γ es:</p> <p>$\gamma_{G,\text{sup}} = 1,00$ $\gamma_{G,\text{inf}} = 1,00$ $\gamma_{G,\text{set}} = 1,00$ $\gamma_Q = 1,15$ para acciones del tráfico rodado y peatonal cuando sean desfavorables (0 cuando sean favorables). $\gamma_Q = 1,25$ para acciones del tráfico ferroviario cuando sean desfavorables (0 cuando sean favorables). $\gamma_Q = 1,30$ para la parte variable del empuje horizontal de tierras por el terreno, el agua subterránea, el agua libre y el balasto, y para el empuje horizontal de tierras por la sobrecarga del tráfico, cuando sean desfavorables (0 cuando sean favorables). $\gamma_Q = 1,30$ para todas las demás acciones variables cuando sean desfavorables (0 cuando sean favorables). $\gamma_{G,\text{set}} = 1,00$ en el caso de un análisis no-lineal o elástico lineal, en situaciones de proyecto en las que las acciones debidas a asientos diferenciales puedan tener efectos desfavorables. En las situaciones de proyecto en las que las acciones debidas a asientos diferenciales puedan tener efectos favorables, estas acciones no se tienen en cuenta. γ_p = los valores recomendados definidos en el Eurocódigo de proyecto relevante.</p> | | | | | | |

A2.3.2 Valores de cálculo de acciones en situaciones de proyecto accidentales y sísmicas

(1) En la tabla A2.5 se indican los coeficientes parciales de las acciones para los estados límite últimos en las situaciones de proyecto accidentales y sísmicas (expresiones 6.11a a 6.12b). Los valores ψ se indican en las tablas A2.1 a A2.3.

NOTA Para las situaciones de proyecto sísmicas, véase también la Norma EN 1998.

Tabla A2.5 – Valores de cálculo de las acciones para su uso en combinaciones de acciones accidentales y sísmicas

| Situación de proyecto | Acciones permanentes | | Pretensado | Acción accidental o sísmica | Acciones variables de acompañamiento (**) | |
|--------------------------------------|----------------------|----------------------|------------|-----------------------------|---|----------------------|
| | Desfavorables | Favorables | | | Principal (si existe) | Otras |
| Accidental (*) (Ecuación 6.11a/b) | $G_{k,j,\text{sup}}$ | $G_{k,j,\text{inf}}$ | P | A_d | $\psi_{1,i} Q_{k,1}$ o $\psi_{2,i} Q_{k,1}$ | $\psi_{2,i} Q_{k,i}$ |
| Sísmica (***) (Ecuación 6.12a/b) | $G_{k,j,\text{sup}}$ | $G_{k,j,\text{inf}}$ | P | $A_{Ed} = \gamma_I A_{Ek}$ | $\psi_{2,i} Q_{k,i}$ | |

(*) En el caso de situaciones de proyecto accidentales, la acción variable principal se puede tomar con sus valores frecuentes o, como en las combinaciones de acciones sísmicas, sus valores cuasi-permanentes. La elección se indicará en el anexo nacional, y depende de la acción accidental considerada.

(**) Las acciones variables son las consideradas en las tablas A2.1 a A2.3.

(***) Se pueden establecer situaciones de proyecto sísmicas particulares en el anexo nacional o para cada proyecto particular. En los puentes ferroviarios sólo es necesario cargar una vía, y se puede ignorar el modelo de carga SW/2.

NOTA El anexo nacional puede cambiar los valores de cálculo de esta tabla A2.5. Los valores recomendados son $\gamma = 1,00$ para todas las acciones no sísmicas.

(2) Si, en casos especiales, es necesario considerar una o varias acciones variables simultáneamente con la acción accidental, deberían definirse sus valores representativos.

NOTA Como ejemplo, en el caso de puentes construidos con el método en voladizo, algunas cargas de construcción pueden considerarse simultáneas a la acción correspondiente a la caída accidental de una unidad prefabricada. Se pueden definir los valores representativos relevantes para cada proyecto particular.

(3) En las fases de ejecución, durante las que existe riesgo de pérdida del equilibrio estático, la combinación de acciones debería ser la siguiente:

$$\sum_{j \geq 1} G_{kj, sup} + \sum_{j \geq 1} G_{kj, inf} + "P" + "A_d" + "\psi_2 Q_{c,k} \quad (A2.2)$$

donde

$Q_{c,k}$ es el valor característico de las cargas de construcción, tal y como se define en la Norma EN 1991-1-6 (es decir, el valor característico de la combinación relevante de grupos Q_{ca} , Q_{cb} , Q_{cc} , Q_{cd} , Q_{ce} y Q_{cf}).

A2.4 Aptitud al servicio y otros estados límite específicos

A2.4.1 Generalidades

(1) Para los estados límite de servicio se deberían tomar los valores de cálculo de las acciones de la tabla A2.6, salvo que se especifique otra cosa en las Normas EN 1991 a EN 1999.

NOTA 1 Los coeficientes γ para el tráfico y otras acciones en el estado límite de servicio pueden establecerse en el anexo nacional. Los valores recomendados de cálculo se establecen en la tabla A2.6, tomándose todos los coeficientes γ iguales a 1,0.

Tabla A2.6 – Valores de cálculo de las acciones para su uso en la combinación de acciones

| Combinación | Acciones permanentes G_d | | Pretensado | Acciones variables Q_d | |
|------------------|----------------------------|----------------|------------|--------------------------|----------------------|
| | Desfavorables | Favorables | | Principal | Otras |
| Característica | $G_{k,j, sup}$ | $G_{k,j, inf}$ | P | $Q_{k,1}$ | $\psi_{0,i} Q_{k,i}$ |
| Frecuente | $G_{k,j, sup}$ | $G_{k,j, inf}$ | P | $\psi_{1,1} Q_{k,1}$ | $\psi_{2,i} Q_{k,i}$ |
| Cuasi-permanente | $G_{k,j, sup}$ | $G_{k,j, inf}$ | P | $\psi_{2,1} Q_{k,1}$ | $\psi_{2,i} Q_{k,i}$ |

NOTA 2 Se pueden establecer las combinaciones poco frecuentes de acciones en el anexo nacional.

(2) Los criterios de aptitud al servicio (comportamiento en servicio) deberían definirse respecto a sus requisitos, de acuerdo con el apartado 3.4 y las Normas EN 1992 a EN 1999. Las deformaciones deberían calcularse de acuerdo con las normas EN 1991 a EN 1999, empleando las combinaciones de acciones apropiadas de acuerdo con las expresiones (6.14a) a (6.16b) (véase la tabla A2.6) y teniendo en cuenta los requisitos de aptitud al servicio y la distinción entre estados límite reversibles e irreversibles.

NOTA Los requisitos y criterios de aptitud al servicio pueden establecerse en el anexo nacional o para cada proyecto particular.

A2.4.2 Criterios de aptitud al servicio respecto a las deformaciones y vibraciones en puentes de carretera

(1) Se deberían definir los requisitos y criterios en puentes de carretera, cuando sea apropiado, para:

- el despegue del tablero del puente en los apoyos,
- el daño a los apoyos estructurales.

NOTA El despegue en el extremo de un puente puede poner en peligro la seguridad del tráfico y provocar daños en los elementos estructurales y no estructurales. Se puede evitar el despegue empleando un nivel de seguridad superior al normalmente aceptado para los estados límite de servicio.

(2) Los estados límite de servicio durante la ejecución deberían definirse de acuerdo con las Normas EN 1990 a EN 1999.

(3) Se deberían definir los criterios respecto a las deformaciones y vibraciones en puentes de carretera, cuando sea apropiado.

NOTA 1 En puentes de carretera, sólo es necesario considerar la verificación de los estados límite de servicio respecto a la deformación y vibración en casos excepcionales. Para la evaluación de la deformación se recomienda la combinación frecuente de acciones.

NOTA 2 Las vibraciones en los puentes de carretera pueden tener orígenes diversos, en particular las acciones del tráfico y las del viento. Para las vibraciones debidas a las acciones del viento, véase la Norma EN 1991-1-4. Para las vibraciones debidas a las acciones del tráfico, puede ser necesario considerar los criterios de comodidad (comfort). También puede ser necesario tener en cuenta la fatiga.

A2.4.3 Verificaciones respecto a la vibración debida al tráfico peatonal en puentes peatonales

NOTA Para las vibraciones debidas a las acciones del viento, véase la Norma EN 1991-1-4.

A2.4.3.1 Situaciones de proyecto e hipótesis de tráfico asociadas

(1) Las situaciones de proyecto (véase el apartado 3.2) deberían seleccionarse dependiendo del tráfico peatonal admisible para cada puente concreto durante su vida útil de cálculo.

NOTA Las situaciones de proyecto pueden tener en cuenta el modo en que se autoriza, regula y controla el tráfico para cada proyecto particular.

(2) Dependiendo del área del tablero o de la parte del área del tablero en consideración, en las situaciones de proyecto debería tenerse en cuenta la presencia de un grupo de entre 8 y 15 personas que caminan normalmente, considerada como una situación de proyecto permanente.

(3) Dependiendo del área del tablero o de la parte del área del tablero en consideración, deberían especificarse, de ser relevantes, otras categorías de tráfico asociadas a situaciones de proyecto que pueden ser permanentes, transitorias o accidentales. Entre ellas están:

- la presencia de flujos de peatones (significativamente por encima de las quince personas),
- acontecimientos festivos o espectáculos ocasionales.

NOTA 1 En cada proyecto concreto puede ser necesario convenir estas categorías de tráfico y las situaciones de proyecto relevantes, no sólo para puentes en áreas urbanas muy pobladas sino también en las cercanías de estaciones de tren y autobús, en escuelas y otros lugares donde puedan congregarse muchedumbres, y en cualquier edificio importante abierto al público.

NOTA 2 La definición de situaciones de proyecto correspondientes a acontecimientos festivos o espectáculos ocasionales depende del grado de control que se espera de ellos por parte del dueño o autoridad responsable. En el presente capítulo no se proporciona ninguna regla de verificación, y puede ser necesario considerar estudios especiales. Se puede encontrar información sobre los criterios de cálculo relevantes en la bibliografía apropiada.

A2.4.3.2 Criterios de comodidad de los peatones (para aptitud al servicio)

(1) Los criterios de comodidad deberían definirse en términos de la máxima aceleración admisible en cualquier parte del tablero.

NOTA Los criterios pueden establecerse en el anexo nacional o para cada proyecto particular.

Las siguientes aceleraciones (m/s^2) son los valores máximos recomendados para cualquier parte del tablero:

- i) 0,7 para vibraciones verticales,
- ii) 0,2 para vibraciones horizontales debidas al uso normal,
- iii) 0,4 para condiciones excepcionales de muchedumbres.

(2) Se debería realizar una verificación de los criterios de comodidad si la frecuencia fundamental del tablero es menor que:

- 5 Hz para vibraciones verticales,
- 2,5 Hz para vibraciones horizontales (laterales) y de torsión.

NOTA Los datos empleados en los cálculos, y por tanto los resultados, están sujetos a incertidumbres muy elevadas. Cuando no se satisfagan los criterios de comodidad con un margen importante, puede ser necesario prever en el cálculo la instalación de amortiguadores en la estructura después de su terminación. En tales casos, el proyectista debería considerar e identificar cualquier requisito para el encargo de ensayos.

A2.4.4 Verificaciones respecto a las deformaciones y vibraciones en puentes ferroviarios

A2.4.4.1 Generalidades

(1) Este apartado A2.4.4 proporciona los límites de deformación y vibración a tener en cuenta para el cálculo de nuevos puentes ferroviarios.

NOTA 1 Las deformaciones excesivas del puente pueden poner en peligro el tráfico al crear cambios inaceptables en la geometría vertical y horizontal de la vía, tensiones excesivas en el carril y vibraciones en la estructura del puente. La vibración excesiva puede provocar la inestabilidad del balasto y una reducción inaceptable de las fuerzas de contacto rueda-carril. Las deformaciones excesivas también pueden afectar a las cargas impuestas en el sistema vía/puente, y crear condiciones que provoquen incomodidad a los usuarios.

NOTA 2 Los límites de deformación y vibración son explícitos o implícitos, según los criterios de rigidez del puente establecidos en el punto (2)P del apartado A2.4.4.1.

NOTA 3 El anexo nacional puede establecer los límites de deformación y vibración a tener en cuenta para el cálculo de puentes ferroviarios provisionales. El anexo nacional también puede establecer requisitos especiales para puentes provisionales, dependiendo de sus condiciones de uso (por ejemplo, para puentes esviados).

(2)P Las deformaciones del puente se deben comprobar para la seguridad del tráfico en los siguientes aspectos:

- las aceleraciones verticales del tablero (para evitar la inestabilidad del balasto y una reducción inaceptable de las fuerzas de contacto rueda-rail; véase el apartado A2.4.4.2.1),
- la flecha vertical del tablero a lo largo de cada vano (para asegurar un radio vertical de la vía aceptable y una estructura robusta; véase el punto (3) del apartado A2.4.4.2.3),
- despegue no coaccionado en los apoyos (para evitar roturas prematuras en los apoyos),
- la flecha vertical en los extremos del tablero más allá de los apoyos (para evitar la desestabilización de la vía, limitar las fuerzas de despegue en los sistemas de fijación de la vía y limitar las tensiones adicionales en el carril; véase el punto (1) del apartado A2.4.4.2.3 de esta norma y el apartado 6.5.4.5.2 de la Norma EN 1991-2),
- el alabeo del tablero medido en la línea central de cada vía, a lo largo del puente y en sus proximidades (para minimizar el riesgo de descarrilamiento; véase el apartado A2.4.4.2.2),

NOTA El apartado A2.4.4.2.2 contiene una mezcla de criterios de seguridad del tráfico y de comodidad de los usuarios, para satisfacer los requisitos de ambas.

- el giro del extremo de cada tablero alrededor de un eje transversal, o giro relativo total entre extremos adyacentes de tableros (para limitar las tensiones adicionales en el carril (véase 6.5.4 de la Norma EN 1991-2), limitar las fuerzas de despegue en los sistemas de fijación de la vía y limitar la discontinuidad angular en los aparatos de dilatación y desvíos; véase el punto (2) del apartado A2.4.4.2.3),
- el desplazamiento longitudinal del extremo de la cara superior del tablero debido al desplazamiento longitudinal y al giro del extremo del tablero (para limitar las tensiones adicionales en el carril y minimizar los efectos sobre el balasto y la vía adyacente; véase el apartado 6.5.4.5.2 de la Norma EN 1991-2),
- la deformación horizontal transversal (para asegurar un radio horizontal de vía aceptable; véase la tabla A2.8 del apartado A2.4.4.2.4),

- el giro horizontal de los extremos de un tablero alrededor de un eje vertical (para asegurar una geometría horizontal de la vía aceptable y la comodidad de los pasajeros; véase la tabla A2.8 del apartado A2.4.4.2.4),
- los límites de la primera frecuencia natural de la vibración lateral del vano para evitar la aparición de la resonancia entre el movimiento lateral de los vehículos sobre su suspensión y el del puente; véase el punto (3) del apartado A2.4.4.2.4.

NOTA Hay otros criterios implícitos de rigidez en los límites de frecuencia natural de un puente, dados en el apartado 6.4.4 de la Norma EN 1991-2, y en la determinación de los coeficientes dinámicos para trenes reales de acuerdo con el apartado 6.4.6.4 y el anexo C de la Norma EN 1991-2.

(3) Las deformaciones del puente se deberían comprobar respecto a la comodidad de los pasajeros es decir, la flecha vertical del tablero, y para limitar la aceleración de la caja de los coches de acuerdo con el apartado A2.4.4.3.

(4) Los límites establecidos en los apartados A2.4.4.2 y A2.4.4.3 tienen en cuenta los efectos mitigadores del mantenimiento de las vías (por ejemplo, para superar los efectos del asiento de las cimentaciones, la fluencia, etc.).

A2.4.4.2 Criterios para la seguridad del tráfico

A2.4.4.2.1 Aceleración vertical del tablero

(1)P Para garantizar la seguridad del tráfico, cuando sea necesario un análisis dinámico, la verificación de la aceleración máxima del tablero debida a las acciones del tráfico ferroviario se debe considerar como un requisito de seguridad que se comprueba en el estado límite de servicio para prevenir la inestabilidad de la vía.

(2) En el apartado 6.4.4 de la Norma EN 1991-2 se establecen los requisitos para determinar si es necesario un análisis dinámico.

(3)P Si es necesario un análisis dinámico, éste debe cumplir los requisitos establecidos en el apartado 6.4.6 de la Norma EN 1991-2.

NOTA Por lo general, sólo es necesario considerar las acciones características del tráfico ferroviario, de acuerdo con el apartado 6.4.6.1 de la Norma EN 1991-2.

(4)P La aceleración máxima del tablero de un puente, calculada a lo largo de cada vía, no debe superar los valores de cálculo siguientes:

- i) γ_{bt} para una vía con balasto;
- ii) γ_{df} para vías de fijación directa con carriles y elementos estructurales diseñados para tráfico de alta velocidad en todos los elementos que soporten la vía, considerando unas frecuencias (incluidos los modos de vibración asociados) menores que el mayor de los valores siguientes:
 - i) 30 Hz;
 - ii) 1,5 veces la frecuencia del modo fundamental de vibración del elemento considerado;
 - iii) la frecuencia del tercer modo de vibración del elemento.

NOTA Los valores y límites de frecuencia asociados se pueden establecer en el anexo nacional. Los valores recomendados son:

$$\gamma_{bt} = 3,5 \text{ m/s}^2$$

$$\gamma_{df} = 5 \text{ m/s}^2$$

A2.4.4.2.2 Alabeo del tablero

(1)P El alabeo del tablero de un puente se debe calcular teniendo en cuenta los valores característicos de los modelos de carga 71, y los SW/0 o SW/2 cuando proceda, multiplicados por Φ y α , y el modelo de carga de alta velocidad (HSLM) incluyendo los efectos por la fuerza centrífuga, todo ello de acuerdo con el capítulo 6 de la Norma EN 1991-2. El alabeo debe comprobarse en la entrada del puente, a lo largo del mismo y en la salida (véase el punto (2)P del apartado A2.4.4.1).

(2) El alabeo máximo t [mm/3m] de un ancho de vía s [m] de 1,435 m, medido a lo largo de una longitud de 3 m (véase la figura A2.1), no debería superar los valores establecidos en la tabla A2.7:

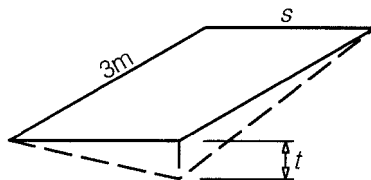


Figura A2.1 – Definición de alabeo del tablero

Tabla A2.7 – Máximo alabeo del tablero

| Rango de velocidades V (km/h) | Máximo alabeo t (mm/3m) |
|---------------------------------|---------------------------|
| $V \leq 120$ | $t \leq t_1$ |
| $120 < V \leq 200$ | $t \leq t_2$ |
| $V > 200$ | $t \leq t_3$ |

NOTA Los valores de t pueden establecerse en el anexo nacional.

Los valores recomendados para el conjunto de t son:

$$t_1 = 4,5$$

$$t_2 = 3,0$$

$$t_3 = 1,5$$

Se pueden establecer valores para una vía de ancho diferente en el anexo nacional.

(3)P El alabeo total debido a cualquier torsión que pueda existir en la vía cuando el puente no está sometido a acciones del tráfico ferroviario (por ejemplo, en una curva de transición), más el alabeo debido a la deformación total del puente como resultado de las acciones del tráfico ferroviario, no debe superar t_T .

NOTA El valor de t_T puede establecerse en el anexo nacional. El valor recomendado para t_T es de 7,5 mm/3m.

A2.4.4.2.3 Deformación vertical del tablero

(1) En todas las configuraciones estructurales cargadas con las cargas verticales características clasificadas de acuerdo con el apartado 6.3.2 de la Norma EN 1991-2 (y, cuando se requiera, con los modelos SW/0 y SW/2, clasificados de acuerdo con el apartado 6.3.3 de la Norma EN 1991-2), la flecha vertical total máxima medida a lo largo de cualquier vía y debida a las acciones del tráfico ferroviario no debería superar $L/600$.

NOTA Se pueden establecer requisitos adicionales para limitar la deformación vertical en puentes con y sin balasto en el anexo nacional o para cada proyecto particular.

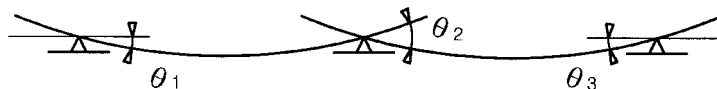


Figura A2.2 – Definición de giros en los extremos de los tableros

(2) En el apartado 6.5.4 de la Norma EN 1991-2 está implícito el máximo giro de los extremos del tablero de un puente con balasto.

NOTA Se pueden establecer los requisitos para las estructuras sin balasto en el anexo nacional.

(3) Se deberían especificar límites adicionales de giro de los extremos del tablero en las cercanías de aparatos de dilatación, desvíos, cruces, etc.

NOTA Los límites adicionales de giro pueden establecerse en el anexo nacional o para cada proyecto particular.

(4) En el apartado 6.5.4.5.2 de la Norma EN 1991-2 se establece el máximo desplazamiento vertical de los extremos del tablero de un puente más allá de los apoyos.

A2.4.4.2.4 Deformación transversal y vibración del tablero

(1)P La deformación transversal y la vibración del tablero se debe comprobar para las combinaciones características de los modelos de carga 71 y SW/0, multiplicadas por el coeficiente dinámico Φ y por α (o, si procede, para el tren real con el coeficiente dinámico correspondiente), las cargas de viento, las fuerzas de lazo, las fuerzas centrífugas de acuerdo con el capítulo 6 de la Norma EN 1991-2, y el efecto de un gradiente de temperatura en el sentido transversal del puente.

(2) La flecha transversal δ_h se debería limitar en la parte superior del tablero para asegurar que:

- el giro horizontal del extremo de un tablero alrededor de un eje vertical no es mayor que los valores establecidos en la tabla A2.8, o que
- la variación del radio de la vía a lo largo del tablero no sea mayor que los valores de la tabla A2.8, o que
- en el extremo de un tablero la deformación transversal diferencial entre el tablero y la vía adyacente, o entre tableros adyacentes, no supere el valor especificado.

NOTA La máxima deformación diferencial transversal puede establecerse en el anexo nacional o para cada proyecto particular.

Tabla A2.8 – Giro horizontal máximo y variación máxima del radio de curvatura

| Rango de velocidades V (km/h) | Giro horizontal máximo (radianes) | Variación máxima del radio de curvatura (m) | |
|------------------------------------|--------------------------------------|---|---------------------------|
| | | Un tablero | Puente de varios tableros |
| $V \leq 120$ | α_1 | r_1 | r_4 |
| $120 < V \leq 200$ | α_2 | r_2 | r_5 |
| $V > 200$ | α_3 | r_3 | r_6 |

NOTA 1 La variación del radio de curvatura puede determinarse con la siguiente ecuación:

$$r = \frac{L^2}{8\delta_h} \quad (\text{A2.7})$$

NOTA 2 La deformación transversal incluye la deformación del tablero del puente y la de la subestructura (incluyendo pilas, pilotes y cimentaciones).

NOTA 3 Los valores de α_i y r_i pueden establecerse en el anexo nacional. Los valores recomendados son:
 $\alpha_1 = 0,0035$; $\alpha_2 = 0,0020$; $\alpha_3 = 0,0015$;
 $r_1 = 1700$; $r_2 = 6000$; $r_3 = 14000$;
 $r_4 = 3500$; $r_5 = 9500$; $r_6 = 17500$

(3) La primera frecuencia natural de la vibración lateral de un vano no debería ser menor que f_{h0} .

NOTA El valor de f_{h0} puede establecerse en el anexo nacional. El valor recomendado es:

$$f_{h0} = 1,2 \text{ Hz.}$$

A2.4.4.2.5 Desplazamiento longitudinal del tablero

(1) En el apartado 6.5.4.5.2 de la Norma EN 1991-2 se establecen las limitaciones al desplazamiento longitudinal en los extremos del tablero.

NOTA Véase también el apartado A2.4.4.2.3.

A2.4.4.3 Valores límite para la flecha vertical máxima, para la comodidad de los usuarios**A2.4.4.3.1 Criterios de comodidad**

(1) La comodidad de los pasajeros depende de la aceleración vertical b_v dentro del coche durante el trayecto, tanto en la entrada como en el paso y la salida del puente.

(2) Se deberían especificar los niveles de comodidad y los valores máximos asociados de la aceleración vertical.

NOTA Estos niveles de comodidad y sus valores máximos asociados se pueden definir para cada proyecto particular. La tabla A2.9 establece los niveles recomendados de comodidad.

Tabla A2.9 – Niveles recomendados de comodidad

| Nivel de comodidad | Aceleración vertical b_v (m/s^2) |
|--------------------|---|
| Muy bueno | 1,0 |
| Bueno | 1,3 |
| Aceptable | 2,0 |

A2.4.4.3.2 Criterios de flecha para comprobar la comodidad de los pasajeros

(1) Para limitar la aceleración vertical del vehículo a los valores indicados en el punto (2) del apartado A2.4.4.3.1, en este capítulo se proporcionan valores para la flecha vertical máxima admisible δ , a lo largo del eje de la vía de un puente ferroviario, como función de:

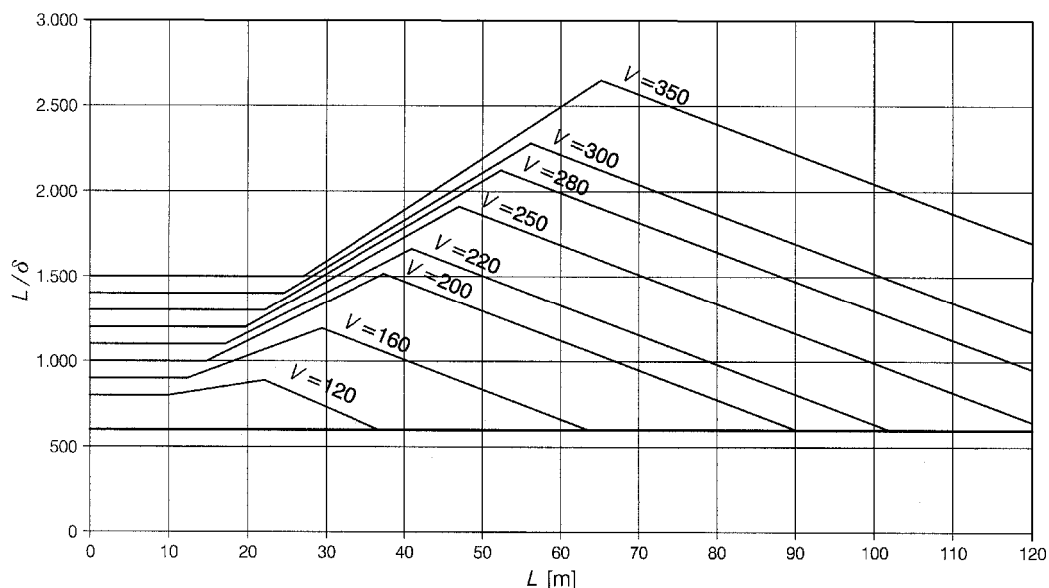
- la longitud del vano L [m],
- la velocidad del tren V [km/h],
- el número de vanos, y
- la configuración del puente (viga simplemente apoyada, viga continua).

La aceleración vertical b_v se puede determinar, de modo alternativo, mediante un análisis dinámico de la interacción vehículo/puente (véase el apartado A2.4.4.3.3).

(2) Las flechas verticales δ se deberían determinar con el modelo de carga 71 multiplicado por el factor Φ , y con un valor de $\alpha = 1$, de acuerdo con el capítulo 6 de la Norma EN 1991-2.

En puentes con dos o más vías, sólo debería estar cargada una de ellas.

(3) En las estructuras excepcionales, como por ejemplo vigas continuas con longitudes de vano muy dispares, o con gran diferencia de rigidez en sus vanos, se debería desarrollar un cálculo dinámico específico.



Los factores indicados en el punto (5) del apartado A2.4.4.3.2 no deberían aplicarse al límite de $L/\delta = 600$.

Figura A2.3 – Flecha vertical máxima admisible δ para puentes ferroviarios con tres o más vanos sucesivos simplemente apoyados, correspondientes a una aceleración vertical admisible $b_v = 1 \text{ m/s}^2$ en un coche con velocidad V [km/h]

(4) Los valores límite de L/δ indicados en la figura A2.3 corresponden a $b_v = 1,0 \text{ m/s}^2$, por lo que se puede considerar que el nivel de comodidad es “muy bueno”.

Para otros niveles de comodidad y aceleraciones verticales admisibles asociadas b'_v , pueden dividirse los valores de L/δ establecidos en la figura A2.3 entre b'_v [m/s^2].

(5) Los valores de L/δ establecidos en la figura A2.3 corresponden a una sucesión de vigas simplemente apoyadas con tres o más vanos.

Para un puente compuesto por un solo vano o por una sucesión de dos vigas simplemente apoyadas, o dos vanos continuos, los valores de L/δ indicados en la figura A2.3 deberían multiplicarse por 0,7.

Para vigas continuas con tres o más vanos, los valores de L/δ indicados en la figura A2.3 deberían multiplicarse por 0,9.

(6) Los valores de L/δ indicados en la figura A2.3 son válidos para longitudes de vano de hasta 120 m. Para vanos más largos es necesario un análisis especial.

NOTA Los requisitos para la comodidad de los usuarios en puentes provisionales pueden establecerse en el anexo nacional o para cada proyecto particular.

A2.4.4.3.3 Requisitos para un análisis dinámico de la interacción vehículo/puente en la comprobación de la comodidad de los usuarios

(1) Si se requiere un análisis dinámico de la interacción vehículo/puente, éste debería tener en cuenta los siguientes comportamientos:

- iv) una serie de velocidades de vehículo hasta la velocidad máxima especificada,
- v) la carga característica de los trenes reales especificados por el proyecto concreto, de acuerdo con el apartado 6.4.6.1.1 de la Norma EN 1991-2,

- vi) la interacción dinámica entre las masas de los vehículos en el tren real y la estructura,
- vii) las características de amortiguación y de la rigidez de la suspensión del vehículo,
- viii) un número suficiente de vehículos para producir los efectos de carga máxima en el vano más largo,
- ix) un número suficiente de vanos, en una estructura con múltiples vanos, como para desarrollar cualquier efecto de resonancia en la suspensión del vehículo.

NOTA Se pueden definir los requisitos para considerar la rugosidad de la vía en el análisis dinámico de interacción vehículo/puente para cada proyecto particular.

AENOR Asociación Española de
Normalización y Certificación

Génova, 6
28004 MADRID-España

info@aenor.es
www.aenor.es

Tel.: 902 102 201
Fax: 913 104 032