

Junio 2010

TÍTULO

Eurocódigo 5: Proyecto de estructuras de madera

Parte 2: Puentes

Eurocode 5: Design of timber structures. Part 2: Bridges.

Eurocode 5: Conception et calcul des structures bois. Partie 2: Ponts.

CORRESPONDENCIA

Esta norma es la versión oficial, en español, de la Norma Europea EN 1995-2:2004.

OBSERVACIONES

ANTECEDENTES

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

Editada e impresa por AENOR
Depósito legal: M 26955:2010

© 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

35 Páginas

Grupo 22

AENOR

NORMA EUROPEA
EUROPEAN STANDARD
NORME EUROPÉENNE
EUROPÄISCHE NORM

EN 1995-2

Noviembre 2004

ICS 91.010.30; 91.080.20; 93.040

Sustituye a ENV 1995-2:1997

Versión en español

Eurocódigo 5: Proyecto de estructuras de madera Parte 2: Puentes

**Eurocode 5: Design of timber structures.
Part 2: Bridges.**

**Eurocode 5: Conception et calcul des
structures bois. Partie 2: Ponts.**

**Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion
von Holzbauten. Teil 2: Brücken.**

Esta norma europea ha sido aprobada por CEN el 2004-08-26.

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 norma europea 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, 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, 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

© 2004 CEN. Derechos de reproducción reservados a los Miembros de CEN.

ÍNDICE

	Página
PRÓLOGO	6
CAPÍTULO 1 – GENERALIDADES	10
1.1 Objeto y campo de aplicación	10
1.1.1 Objeto y campo de aplicación de la Norma EN 1995	10
1.1.2 Objeto y campo de aplicación de la Norma EN 1995-2	10
1.2 Normas para consulta	11
1.3 Hipótesis	11
1.4 Distinción entre Principios y Reglas de aplicación	11
1.5 Definiciones	11
1.5.1 Generalidades	11
1.5.2 Términos y definiciones adicionales utilizados en esta norma	11
1.6 Símbolos utilizados en la Norma EN 1995-2	13
CAPÍTULO 2 – BASES DE CÁLCULO	16
2.1 Requisitos básicos	16
2.2 Principios de los estados límites de cálculo	16
2.3 Variables básicas	16
2.3.1 Acciones e influencias ambientales	16
2.4 Comprobación según el método de los coeficientes parciales	16
2.4.1 Valor de cálculo de las propiedades del material	16
CAPÍTULO 3 – PROPIEDADES DEL MATERIAL	18
CAPÍTULO 4 – DURABILIDAD	19
4.1 Madera	19
4.2 Resistencia a la corrosión	19
4.3 Protección contra el agua de tableros de madera mediante sellado	19
CAPÍTULO 5 – BASES DEL CÁLCULO ESTRUCTURAL	20
5.1 Tableros laminados	20
5.1.1 Generalidades	20
5.1.2 Cargas concentradas verticales	20
5.1.3 Cálculo simplificado	21
5.2 Piezas compuestas	22
5.3 Piezas compuestas de madera-hormigón	22
CAPÍTULO 6 – ESTADOS LÍMITE ÚLTIMOS	23
6.1 Tableros	23
6.1.1 Resistencia del sistema	23
6.1.2 Tablero laminado tensado	24
6.2 Fatiga	26

CAPÍTULO 7 – ESTADOS LÍMITE DE SERVICIO	27
7.1 Generalidades.....	27
7.2 Valores límites de las deformaciones.....	27
7.3 Vibraciones	27
7.3.1 Vibraciones provocadas por peatones	27
7.3.2 Vibraciones producidas por el viento.....	27
CAPÍTULO 8 – UNIONES	28
8.1 Generalidades.....	28
8.2 Uniones entre madera y hormigón en vigas compuestas	28
8.2.1 Medios de fijación de tipo clavija cargados lateralmente	28
8.2.2 Uniones mediante cajeados	28
CAPÍTULO 9 – DETALLES CONSTRUCTIVOS Y CONTROL.....	29
ANEXO A (Informativo) COMPROBACIÓN A FATIGA.....	30
A.1 Generalidades.....	30
A.2 Carga de fatiga	30
A.3 Comprobación a fatiga	31
ANEXO B (Informativo) VIBRACIONES PRODUCIDAS POR LOS PEATONES.....	33
B.1 Generalidades.....	33
B.2 Vibraciones verticales	33
B.3 Vibraciones horizontales	34

PRÓLOGO

Esta Norma EN 1995-2 ha sido elaborada por el Comité Técnico CEN/TC 250 *Eurocódigos estructurales*, cuya Secretaría desempeña BSI.

Esta norma europea debe recibir el rango de norma nacional mediante la publicación de un texto idéntico a ella o mediante ratificación antes de finales de mayo de 2005, y todas las normas nacionales técnicamente divergentes deben anularse antes de finales de marzo de 2010.

Esta norma anula y sustituye a la Norma ENV 1995-2:1997.

El comité CEN/TC 250 es responsable de todos los Eurocódigos Estructurales.

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, 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, Suecia y Suiza.

PRÓLOGO DEL PROGRAMA DE LOS EUROCÓDIGOS

En 1975, la Comisión de la Comunidad Europea decidió emprender un programa de actuación en el campo de la construcción, basado en el artículo 95 del Tratado. El objetivo del programa era la eliminación de las barreras técnicas al comercio y la armonización de las especificaciones técnicas.

Dentro de este programa de actuación, la Comisión tomó la iniciativa de establecer un conjunto de reglas técnicas armonizadas para el diseño de obras de construcción que, en una primera etapa, sirviera como alternativa a las reglas nacionales en vigor en los Estados miembros y, finalmente, las pudiera reemplazar.

Durante quince años, la Comisión, con la ayuda de un Comité Director con representantes de los Estados miembros, dirigió el desarrollo del programa de los Eurocódigos, lo que llevó a la primera generación de los códigos Europeos en los años 80.

En 1989, la Comisión y los Estados miembros de la UE y de la AELC decidieron, sobre la base de un acuerdo¹⁾ entre la Comisión y el CEN, transferir al CEN la preparación y publicación de los Eurocódigos mediante una serie de Mandatos, con el fin de dotarlos de un futuro estatus de Norma Europea (EN). Esto vincula *de facto* los Eurocódigos con las disposiciones de todas las Directivas del Consejo y/o las Decisiones de la Comisión que hacen referencia a las normas europeas (por ejemplo, la Directiva del Consejo de 89/106/CEE sobre productos de construcción –DPC- y las Directivas del Consejo 93/37/CEE, 92/50/CEE y 89/440/CEE sobre obras públicas y servicios y las Directivas AELC equivalentes iniciadas para conseguir la implantación del mercado interior).

El programa Eurocódigos Estructurales comprende las siguientes normas, compuestas generalmente de diversas Partes:

EN 1990:2002	Eurocódigo 0: Bases de cálculo de estructuras
EN 1991	Eurocódigo 1: Acciones en estructuras
EN 1992	Eurocódigo 2: Proyecto de estructuras de hormigón
EN 1993	Eurocódigo 3: Proyecto de estructuras de acero
EN 1994	Eurocódigo 4: Proyecto de estructuras mixtas
EN 1995	Eurocódigo 5: Proyecto de estructuras de madera
EN 1996	Eurocódigo 6: Proyecto de estructuras de fábrica
EN 1997	Eurocódigo 7: Proyecto geotécnico
EN 1998	Eurocódigo 8: Proyecto de estructuras sismorresistentes
EN 1999	Eurocódigo 9: Proyecto de estructuras de aluminio

Los Eurocódigos reconocen la responsabilidad de las autoridades reglamentadoras de cada Estado miembro y han salvaguardado su derecho a determinar, en el ámbito nacional, los valores relacionados con temas reglamentarios de seguridad cuando éstos sigan siendo distintos de un Estado a otro.

1) Acuerdo entre la Comisión de las Comunidades Europeas y el Comité Europeo de Normalización (CEN) referente al trabajo sobre los EUROCÓDIGOS para el proyecto de edificios y de obras de ingeniería civil. (BC/CEN/03/89).

Estatus y campo de aplicación de los eurocódigos

Los Estados miembros de la UE y AELC reconocen que los Eurocódigos sirven como documentos de referencia para los siguientes fines:

- como medio para demostrar el cumplimiento de las obras de edificación y de ingeniería civil con los Requisitos Esenciales de la Directiva del Consejo 89/106/CEE, en particular con el Requisito Esencial nº 1 - Resistencia mecánica y estabilidad - y con el Requisito Esencial nº 2 - Seguridad en caso de incendio;
- como base para especificar los contratos de las obras de construcción y de los servicios de ingeniería correspondientes;
- como marco para redactar las especificaciones técnicas armonizadas de productos de construcción (normas europeas, EN; y documentos de idoneidad técnica europeos, DITE).

Los Eurocódigos, en la medida en que están relacionados con las obras de construcción, tienen una relación directa con los Documentos Interpretativos²⁾ a los que se hace referencia en el Artículo 12 de la DPC, aunque son de distinta naturaleza que las normas armonizadas de producto³⁾. Por ello, los Comités Técnicos de CEN y/o los Grupos de Trabajo de la EOTA que trabajen sobre normas de producto deben considerar adecuadamente los aspectos técnicos que surjan del trabajo de los Eurocódigos, con vistas a obtener la compatibilidad total entre estas especificaciones técnicas y los Eurocódigos.

Los Eurocódigos proporcionan reglas comunes de cálculo estructural de uso habitual en el proyecto de estructuras completas y de productos componentes de naturaleza tanto tradicional como innovadora. Las formas de construcción y condiciones de proyecto poco usuales no quedan cubiertas específicamente y requerirán, en tales casos, el estudio adicional del proyectista.

Las normas nacionales de aplicación de los eurocódigos

Las normas nacionales de aplicación de los Eurocódigos comprenderán el texto completo del Eurocódigo (incluyendo los anexos) tal y como se publique por CEN, pudiendo éste venir precedido de una portada nacional y de un preámbulo nacional y terminado en un anexo nacional.

El anexo nacional sólo puede contener información sobre aquellos parámetros que queden abiertos en los Eurocódigos para la elección de una opción nacional, conocidos como Parámetros de Determinación Nacional, para su empleo en el proyecto de las obras de edificación y de ingeniería civil a construir en el país correspondiente, es decir:

- los valores y/o clases sobre los que se ofrezcan alternativas en el Eurocódigo;
- los valores a emplear cuando sólo se dé un símbolo en el Eurocódigo;
- los datos específicos del país (geográficos, climatológicos, etc.), por ejemplo, un mapa de nieve;

2) De acuerdo con el artículo 3.3 de la DPC, los documentos interpretativos deben dar forma concreta a los requisitos esenciales (RE) con el fin de establecer los vínculos necesarios entre los requisitos esenciales y los mandatos para la elaboración de normas armonizadas y DITE/Guías de DITE.

3) Según el Artículo 12 de la DPC los documentos interpretativos deben:

- a) dar forma concreta a los requisitos esenciales mediante la armonización de la terminología y de las bases técnicas y la asignación, en su caso, de clases y niveles para cada requisito esencial;
- b) indicar métodos para relacionar estas clases o niveles de requisitos con las especificaciones técnicas, por ejemplo, métodos de cálculo y de prueba, reglas técnicas para el cálculo en proyecto, etc.
- c) servir como referencia para el establecimiento de normas armonizadas y de guías para los documentos de idoneidad técnica europeos.

Los Eurocódigos, de facto, juegan un papel similar en el ámbito del RE1 y en parte del RE2.

- el procedimiento a emplear cuando los Eurocódigos ofrezcan procedimientos alternativos;
- decisiones sobre la aplicación de los anexos informativos;
- referencia a información complementaria no contradictoria que ayude al usuario a aplicar el Eurocódigo.

Vínculos los Eurocódigos y las especificaciones técnicas armonizadas (ENs y DITEs) de productos

Hay una necesidad de consistencia entre las especificaciones técnicas armonizadas de los productos de construcción y las reglas técnicas de las obras⁴⁾. Aún más, toda la información que acompañe al marcado CE de los productos de construcción y que se refiera a los Eurocódigos debe mencionar con claridad qué Parámetros de Determinación Nacional se han tenido en cuenta.

Información adicional específica de la Norma EN 1995-2

La Norma EN 1995 describe los principios y requisitos para la seguridad, funcionalidad y durabilidad de los puentes de madera. Está basada en el concepto de los estados límite utilizado junto con el método de los coeficientes parciales.

La Norma EN 1995-2 está pensada para el proyecto de estructuras de nueva planta, para su aplicación directa junto con las Normas EN 1995-1-1 y EN 1990:2002, y las partes relevantes de la Norma EN 1991.

Los valores numéricos para los coeficientes parciales y otros parámetros de fiabilidad se recomiendan como valores básicos que proporcionan un nivel de fiabilidad aceptable. Se han seleccionado suponiendo que existe un nivel adecuado de gestión de la calidad y de la mano de obra. Cuando la Norma EN 1995-2 se utilice como documento base por otros Comités Técnicos del CEN es necesario tomar los mismos valores.

Anexo nacional de la Norma EN 1995-2

Esta norma proporciona procedimientos alternativos, valores y recomendaciones con notas que indican cuándo tienen cabida opciones nacionales. Por lo tanto, la norma nacional que implemente la Norma EN 1995-2 debería tener un anexo nacional que contenga todos los Parámetros de Determinación Nacional necesarios para el proyecto de edificios y de obras de ingeniería civil que se vayan a construir en el país correspondiente.

En la Norma EN 1995-2 se permite la opción nacional en los apartados siguientes:

- 2.3.1.2(1) Asignación de la duración de la carga
- 2.4.1 Coeficientes parciales para las propiedades del material
- 7.2 Valores límites de las deformaciones
- 7.3.1(2) Coeficientes de amortiguamiento

4) Véanse los artículos 3.3 y 12 de la DPC, así como los apartados 4.2, 4.3.1, 4.3.2 y 5.2 del Documento Interpretativo nº 1.

CAPÍTULO 1 – GENERALIDADES

1.1 Objeto y campo de aplicación

1.1.1 Objeto y campo de aplicación de la Norma EN 1995

(1)P La Norma EN 1995 es aplicable a los proyectos de edificación y obras de ingeniería civil de madera (madera maciza, aserrada, cepillada o en forma de poste, madera laminada encolada o productos estructurales derivados de la madera, como por ejemplo la madera microlaminada LVL) o de tableros derivados de la madera unidos entre sí con adhesivos o elementos de fijación mecánicos. Es conforme con los principios y requisitos relativos a la seguridad y al comportamiento en servicio de las estructuras, así como con las bases de cálculo y verificación indicadas en la Norma EN 1990:2002.

(2)P La Norma EN 1995 sólo hace referencia a los requisitos de resistencia mecánica, adecuación al servicio, durabilidad y resistencia al fuego de las estructuras de madera. No se consideran otros requisitos, como por ejemplo los referentes al aislamiento térmico o acústico.

(3) La Norma EN 1995 está pensada para utilizarse junto con las siguientes:

EN 1990:2002 *Eurocódigo. Bases de cálculo de estructuras.*

EN 1991 *Acciones en estructuras.*

ENs: Normas Europeas de productos de construcción aplicables a estructuras de madera.

EN 1998 *Proyecto de estructuras sismorresistentes*, cuando las estructuras de madera se construyan en regiones sísmicas.

(4) La Norma EN 1995 se divide en varias partes:

EN 1995-1 *Reglas generales.*

EN 1995-2 *Puentes.*

(5) La Norma EN 1995-1 "Reglas generales" comprende:

EN 1995-1-1 *Reglas generales y reglas para edificación.*

EN 1995-1-2 *Reglas generales. Proyecto de estructuras expuestas al fuego.*

1.1.2 Objeto y campo de aplicación de la Norma EN 1995-2

(1) La Norma EN 1995-2 proporciona una base general para el proyecto de las partes estructurales de los puentes, es decir, para las piezas estructurales de importancia para la seguridad del conjunto del puente o de las partes más relevantes del mismo, contruidos con madera o con otros materiales derivados de la madera, ya sean sólo de madera o bien de manera compuesta con hormigón, acero u otros materiales.

(2) La Norma EN 1995-2 trata los siguientes temas:

Capítulo 1: Generalidades.

Capítulo 2: Bases de proyecto.

Capítulo 3: Propiedades del material.

Capítulo 4: Durabilidad.

Capítulo 5: Bases para el cálculo estructural.

Capítulo 6: Estados límite últimos.

Capítulo 7: Estados límite de servicio.

Capítulo 8: Uniones.

Capítulo 9: Detalles constructivos y control.

(3) Los capítulos 1 y 2 también incluyen apartados adicionales a los indicados en la en la Norma EN 1990:2002 "Eurocódigos. Bases de cálculo de estructuras".

(4) Es aplicable la Norma EN 1995-1-1, salvo que se indique expresamente lo contrario.

1.2 Normas para consulta

(1) Los siguientes documentos normativos contienen disposiciones a las que se hace referencia en este texto, las cuales constituyen a su vez disposiciones de esta norma. En el caso de referencias con fecha, no son aplicables las revisiones o modificaciones posteriores de ninguna de dichas publicaciones. Sin embargo, se anima a las partes de acuerdos basados en la presente norma a que investiguen la posibilidad de aplicar las ediciones más recientes de los documentos normativos indicados posteriormente. En el caso de referencias sin fecha, se aplica la edición en vigor del documento normativo al que se haga referencia.

Normas europeas:

EN 1990:2002 *Eurocódigos. Bases de cálculo de estructuras.*

EN 1990:2002/A1 *Eurocódigos. Bases de cálculo de estructuras/Modificación A1. Capítulo A2: Aplicación a puentes.*

EN 1991-1-4 *Eurocódigo 1: Acciones en estructuras. Parte 1-4: Acciones generales. Acciones de viento.*

EN 1991-2 *Eurocódigo 1: Acciones en estructuras. Parte 2: Cargas de tráfico en puentes.*

EN 1992-1-1 *Eurocódigo 2: Proyecto de estructuras de hormigón. Parte 1-1. Reglas generales y reglas para edificación.*

EN 1992-2 *Eurocódigo 2: Proyecto de estructuras de hormigón. Parte 2: Puentes de hormigón. Cálculo y disposiciones constructivas.*

EN 1993-2 *Eurocódigo 3: Proyecto de estructuras de acero. Parte 2: Puentes.*

EN 1995-1-1 *Eurocódigo 5. Proyecto de estructuras de madera. Parte 1-1: Reglas generales y reglas para edificación.*

EN 10138-1 *Aceros para pretensar. Parte 1: Requisitos generales.*

EN 10138-4 *Aceros para pretensar. Parte 4: Barras.*

1.3 Consideraciones

(1) En el capítulo 9 se incluyen requisitos adicionales para la ejecución, el mantenimiento y el control.

1.4 Distinción entre Principios y Reglas de aplicación

(1) Véase el punto (1) del apartado 1.4 de la Norma EN 1995-1-1.

1.5 Definiciones

1.5.1 Generalidades

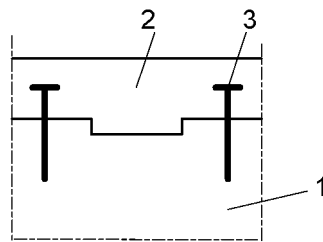
(1)P Son aplicables las definiciones del apartado 1.5 de la Norma EN 1990:2002 y de la Norma EN 1995-1-1.

1.5.2 Términos y definiciones adicionales utilizados en esta norma

1.5.2.1 unión mediante cajeados:

Unión de cortadura, consistente en que una parte de una pieza queda embebida en la otra a través de la cara de contacto. Las partes en contacto se mantienen juntas, normalmente, mediante elementos de fijación mecánica.

NOTA En la figura 1.1 se muestra un ejemplo de una unión mediante cajeados.



Leyenda

- 1 Madera
- 2 Hormigón
- 3 Elemento de fijación

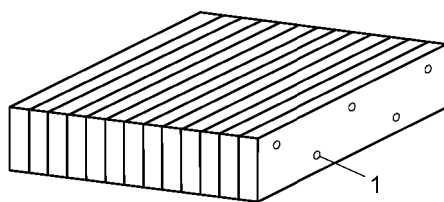
Figura 1.1 – Ejemplo de unión mediante cajado

1.5.2.2 tableros laminados:

Tableros contruidos con láminas, dispuestas de canto o de cara, unidas mediante elementos de fijación mecánica o encolado, véanse figuras 1.2 y 1.3.

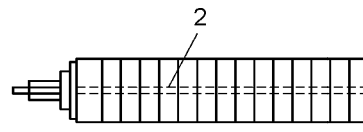
1.5.2.3 tableros laminados pretensados:

Tableros laminados contruidos con láminas dispuestas de canto con las superficies aserradas o cepilladas, unidas mediante un pretensado, véanse figuras 1.2.b, c y d.



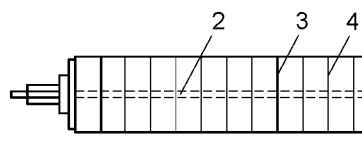
a)

a) laminado-clavado o laminado-atornillado



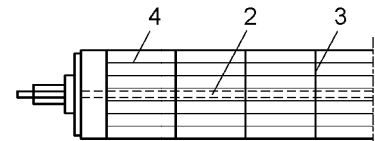
b)

b) pretensado, pero no encolado



c)

c) vigas de madera laminada encolada dispuestas de cara, encoladas y pretensadas



d)

d) vigas de madera laminada encolada dispuestas de canto, encoladas y pretensadas

Leyenda

- 1 Clavo o tirafondo
- 2 Barra o tirante pretensados
- 3 Línea de cola entre las piezas laminadas encoladas
- 4 Línea de cola entre las láminas en las piezas laminadas encoladas

Figura 1.2 – Ejemplos de tableros con láminas dispuestas de canto

1.5.2.4 tableros de paneles contralaminados:

Tableros laminados con láminas en capas con diferente orientación de la fibra (transversal o en ángulos diferentes). Las capas están encoladas o conectadas mediante elementos de fijación mecánicos, véase la figura 1.3.

1.5.2.5 pretensado:

Un efecto permanente debido a fuerzas controladas y/o a deformaciones impuestas en una estructura.

NOTA Un ejemplo es el pretensado lateral de los tableros de madera mediante barras o cables, véanse las figuras 1.2 b a d.

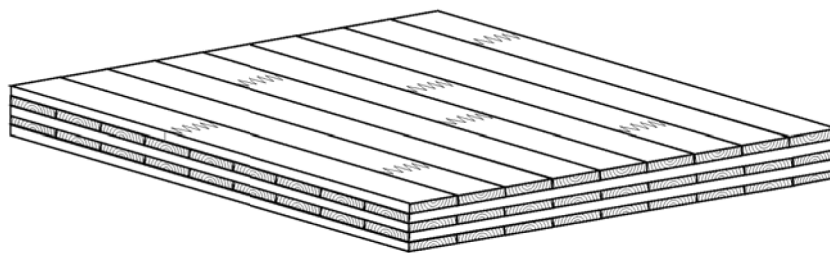


Figura 1.3 – Ejemplo de tablero de paneles contralaminados

1.6 Símbolos utilizados en la Norma EN 1995-2

Para la Norma EN 1995-2, se aplican los siguientes símbolos.

Letras latinas mayúsculas

A	Área del tablero del puente
$E_{0,\text{mean}}$	Valor medio del módulo de elasticidad paralelo a la fibra
$E_{90,\text{mean}}$	Valor medio del módulo de elasticidad perpendicular a la fibra
F	Fuerza
$F_{t,\text{Ed}}$	Valor de cálculo de la fuerza de tracción entre la madera y el hormigón
$F_{v,\text{Ed}}$	Valor de cálculo del esfuerzo cortante entre madera y hormigón
$G_{0,\text{mean}}$	Valor medio del módulo de cortante paralelo a la fibra
$G_{90,\text{mean}}$	Valor medio del módulo de cortante perpendicular a la fibra (cortante por rodadura)
M	Masa total del puente
M_{beam}	Momento flector en una viga que representa a una placa
$M_{\text{máx, beam}}$	Momento flector máximo en una viga que representa a una placa
N_{obs}	Número de ciclos por año de tensión de amplitud constante
R	Relación entre tensiones

Letras latinas minúsculas

a	Distancia; coeficiente de fatiga
$a_{\text{hor},1}$	Aceleración horizontal de una persona cruzando el puente
$a_{\text{hor},n}$	Aceleración horizontal de varias personas cruzando el puente
$a_{\text{vert},1}$	Aceleración vertical de una persona cruzando el puente
$a_{\text{vert},n}$	Aceleración vertical de varias personas cruzando el puente
b	Coeficiente de fatiga
b_{ef}	Anchura eficaz
$b_{\text{ef},c}$	Anchura eficaz total de la losa de hormigón
$b_{\text{ef},1}; b_{\text{ef},2}$	Anchura eficaz de la losa de hormigón
b_{lam}	Anchura de la lámina
b_w	Anchura del área cargada en la superficie de contacto del tablero
$b_{w,\text{middle}}$	Anchura del área cargada en el medio del tablero
d	Diámetro; diámetro exterior de una barra; distancia
h	Canto (altura de la sección) de la viga; espesor de la placa
$f_{c,90,d}$	Valor de cálculo de la resistencia a compresión perpendicular a la fibra
$f_{\text{fat},d}$	Valor de cálculo de la resistencia a fatiga
f_k	Resistencia característica
$f_{m,d,\text{deck}}$	Valor de cálculo de la resistencia a flexión del tablero
$f_{v,d,\text{deck}}$	Valor de cálculo de la resistencia a cortante del tablero
$f_{m,d,\text{lam}}$	Valor de cálculo de la resistencia a flexión de las láminas
$f_{v,d,\text{lam}}$	Valor de cálculo de la resistencia a cortante de las láminas
$f_{\text{vert}}, f_{\text{hor}}$	Frecuencia natural fundamental de las vibraciones vertical y horizontal
$k_{c,90}$	Factor para la resistencia a la compresión perpendicular a la fibra
k_{fat}	Factor que representa la reducción de la resistencia para un número de ciclos de carga
k_{hor}	Coeficiente
k_{mod}	Factor de modificación
k_{sys}	Factor de carga compartida

k_{vert}	Coeficiente
ℓ	Luz
ℓ_1	Distancia
m	Masa; masa por unidad de longitud
m_{plate}	Momento flector en una placa por unidad de longitud
$m_{\text{máx,plate}}$	Momento flector máximo en una placa
n	Número de láminas cargadas; número de peatones
n_{ADT}	Media anual del tráfico diario esperado en la vida útil de la estructura
t	Tiempo; espesor de lámina
t_L	Vida útil de cálculo de la estructura expresada en años

Letras griegas minúsculas

α	Porcentaje de vehículos pesados que atraviesan el puente estimado a partir de observaciones
β	Factor basado en las consecuencias del daño; ángulo de la dispersión de las tensiones
γ_M	Coeficiente parcial para las propiedades del material de madera, que también tiene en cuenta las incertidumbres del modelo y las variaciones dimensionales
$\gamma_{M,c}$	Coeficiente parcial para las propiedades del hormigón, que también tiene en cuenta las incertidumbres del modelo y las variaciones dimensionales
$\gamma_{M,s}$	Coeficiente parcial para las propiedades del acero, que también tiene en cuenta las incertidumbres del modelo y las variaciones dimensionales
$\gamma_{M,v}$	Coeficiente parcial para los conectores a cortante, que también tiene en cuenta las incertidumbres del modelo y las variaciones dimensionales
$\gamma_{M,fat}$	Coeficiente parcial de seguridad para la comprobación a fatiga de los materiales, que también tiene en cuenta las incertidumbres del modelo y las variaciones dimensionales
κ	Relación para la comprobación a fatiga
ρ_{mean}	Densidad media
μ_d	Valor de cálculo del coeficiente de rozamiento
$\sigma_{d,\text{máx.}}$	Valor de cálculo máximo de la tensión correspondiente a la carga de fatiga
$\sigma_{d,\text{mín.}}$	Valor de cálculo mínimo de la tensión correspondiente a la carga de fatiga
$\sigma_{p,\text{mín.}}$	Tensión de compresión residual mínima a largo plazo debida al pretensado
ζ	Coeficiente de amortiguamiento

CAPÍTULO 2 – BASES DE CÁLCULO

2.1 Requisitos básicos

- (1)P El cálculo de los puentes de madera debe realizarse de acuerdo con la Norma EN 1990:2002.

2.2 Principios de los estados límites de cálculo

- (1) Véase el apartado 2.2 de la Norma EN 1995-1-1.

2.3 Variables básicas

2.3.1 Acciones e influencias ambientales

2.3.1.1 Generalidades

- (1) Las acciones a utilizar en el proyecto de puentes pueden obtenerse de las partes relevantes de la Norma EN 1991.

NOTA 1 Las partes relevantes de la Norma EN 1991 para su empleo en el cálculo son las siguientes:

EN 1991-1-1 Densidades, peso propio y cargas de uso

EN 1991-1-3 Carga de nieve

EN 1991-1-4 Cargas de viento

EN 1991-1-5 Acciones térmicas

EN 1991-1-6 Acciones durante la ejecución

EN 1991-1-7 Acciones accidentales debidas a impactos y explosiones

EN 1991-2 Cargas de tráfico en puentes.

2.3.1.2 Clases de duración de la carga

- (1) Las acciones variables debidas al tráfico de vehículos y peatones deberían considerarse como acciones de corta duración.

NOTA En el apartado 2.3.1 de la Norma EN 1995-1-1 se incluyen ejemplos de asignaciones de la duración de la carga. Se recomienda considerar a las acciones durante la etapa de construcción como acciones de corta duración. Se puede indicar la opción nacional en el anexo nacional.

- (2) Las fuerzas de pretensado iniciales perpendiculares a la fibra deberían considerarse como acciones de corta duración.

2.4 Comprobación según el método de los coeficientes parciales

2.4.1 Valor de cálculo de las propiedades del material

NOTA Para las combinaciones fundamentales, los coeficientes parciales recomendados para las propiedades del material, γ_M , se indican en la tabla 2.1. Para las combinaciones accidentales, el valor recomendado para el coeficiente parcial es $\gamma_M = 1,0$. En el anexo nacional puede encontrarse información sobre la opción nacional.

Tabla 2.1 – Coeficientes parciales recomendados para las propiedades del material

1. Madera y productos derivados de la madera <ul style="list-style-type: none"> – comprobaciones normales – madera maciza – madera laminada encolada – madera microlaminada (LVL), tablero contrachapado, tablero de virutas orientadas (OSB) – comprobación a fatiga 	$\gamma_M = 1,3$ $\gamma_M = 1,25$ $\gamma_M = 1,2$ $\gamma_{M,fat} = 1,0$
2. Uniones <ul style="list-style-type: none"> – comprobaciones normales – comprobación a fatiga 	$\gamma_M = 1,3$ $\gamma_{M,fat} = 1,0$
3. Acero utilizado en piezas compuestas (mixtas)	$\gamma_{M,s} = 1,15$
4. Hormigón utilizado en piezas compuestas (mixtas)	$\gamma_{M,c} = 1,5$
5. Conectores de cortante entre madera y hormigón en piezas compuestas (mixtas) <ul style="list-style-type: none"> – comprobación normal – comprobación a fatiga 	$\gamma_{M,v} = 1,25$ $\gamma_{M,v,fat} = 1,0$
6. Piezas de acero pretensado	$\gamma_{M,s} = 1,15$

CAPÍTULO 3 – PROPIEDADES DEL MATERIAL

(1)P El acero pretensado debe cumplir con las Normas EN 10138-1 y EN 10138-4.

CAPÍTULO 4 – DURABILIDAD

4.1 Madera

(1) Debería tenerse en cuenta el efecto de la precipitación, el viento y la radiación solar.

NOTA 1 El efecto de la exposición directa a la precipitación o la radiación solar de piezas estructurales de madera puede reducirse mediante medidas constructivas de protección, o utilizando maderas con suficiente durabilidad natural, o madera tratada contra los ataques biológicos.

NOTA 2 Cuando no es posible una cubierta parcial o completa de los elementos estructurales principales, puede mejorarse la durabilidad mediante una o más de las medidas siguientes:

- limitando la retención de agua en las superficies de la madera a través de la adecuada inclinación de las superficies;
- limitando los orificios, ranuras, etc., donde el agua pueda acumularse o infiltrarse;
- limitando la absorción directa del agua (como por ejemplo la absorción por capilaridad de la cimentación de hormigón) a través de las barreras adecuadas;
- limitando las fendas y delaminaciones, especialmente en los lugares donde la testa quede expuesta, mediante el adecuado sellado y/o chapas de albardillas;
- limitando los movimientos de hinchazón y retracción asegurando un contenido de humedad inicial adecuado, y reduciendo los cambios de humedad en servicio a través de la protección superficial adecuada;
- seleccionando una geometría para la estructura que garantice la ventilación natural de todas las partes de madera.

NOTA 3 El riesgo de incremento del contenido de humedad en las proximidades del suelo debido, por ejemplo, a una ventilación insuficiente a causa de la vegetación entre el madera y el suelo, o las salpicaduras de agua, puede reducirse mediante una o más de las medidas siguientes:

- cubriendo del suelo con una capa de grava o similar que limite la vegetación;
- aumentando la distancia entre las partes de madera y el nivel del suelo.

(2)P Cuando las piezas de madera estructurales están expuestas a la abrasión del tráfico, el canto utilizado en el cálculo debe ser el mínimo permitido antes de su sustitución.

4.2 Resistencia a la corrosión

(1) El apartado 4.2 de la Norma EN 1995-1-1 se aplica a los elementos de fijación. La Norma EN 1993-2 se aplica a las partes de acero que no sean los elementos de fijación.

NOTA Un ejemplo de condiciones especialmente corrosivas es un puente de madera en el que no puede excluirse la corrosión debida a los anticongelantes.

(2)P Debe tenerse en cuenta la posibilidad de corrosión bajo tensión.

(3) Las partes de acero embebidas en el hormigón, tales como las armaduras y los cables de pretensado, deberían protegerse de acuerdo con el apartado 4.4.1 de la Norma EN 1992-1-1 y la Norma EN 1992-2.

(4) En la protección contra la corrosión de los elementos de fijación debería tenerse en cuenta el efecto del tratamiento químico de la madera, o las maderas con acidez elevada.

4.3 Protección contra el agua de tableros de madera mediante sellado

(1)P La elasticidad de la capa sellante debe ser suficiente para seguir el movimiento del tablero de madera.

CAPÍTULO 5 – BASES DEL CÁLCULO ESTRUCTURAL

5.1 Tableros laminados

5.1.1 Generalidades

(1) El cálculo de los tableros laminados de madera debería basarse en alguno de los métodos siguientes:

- la teoría de placas ortótropas;
- una modelización del tablero mediante un emparrillado;
- un método simplificado según el apartado 5.1.3.

NOTA En cálculos avanzados, en tableros fabricados con láminas de coníferas, las relaciones para las propiedades del sistema deberían tomarse de la tabla 5.1. El coeficiente de Poisson ν puede tomarse igual a cero.

Tabla 5.1 – Propiedades del sistema de tableros laminados

Tipo de tablero	$E_{90,mean}/E_{0,mean}$	$G_{0,mean}/E_{0,mean}$	$G_{90,mean}/G_{0,mean}$
Laminada-clavada	0	0,06	0,05
Laminada-tensada			
– aserrada	0,015	0,06	0,08
– cepillada	0,020	0,06	0,10
Laminada-encolada	0,030	0,06	0,15

(2) En el caso de tableros de paneles contralaminados, véase la figura 1.3, deberían tenerse en cuenta las deformaciones debidas al cortante.

5.1.2 Cargas concentradas verticales

(1) Las cargas deberían considerarse en un plano de referencia en la mitad del tablero.

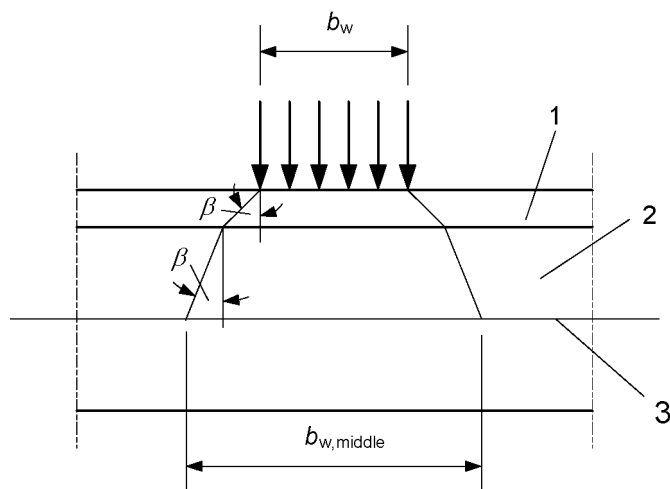
(2) Para cargas concentradas, debería suponerse un área eficaz de carga con respecto al plano medio del tablero, véase la figura 5.1,

donde

b_w es la anchura del área cargada en la superficie de contacto del pavimento;

$b_{w,middle}$ es la anchura del área cargada en el plano de referencia en la mitad del tablero;

β es el ángulo de dispersión de acuerdo con la tabla 5.2.



Leyenda

- 1 Pavimento
- 2 Tablero de madera
- 3 Plano de referencia en la mitad del tablero

Figura 5.1 – Dispersión de cargas concentradas sobre la anchura del área de contacto b_w

Tabla 5.2 – Ángulo de dispersión β de cargas concentradas para diferentes materiales

Pavimento (de acuerdo con 4.3.6 de la Norma EN 1991-2)	45°
Tablas y tablones	45°
Placas de tableros de madera laminada:	
– en la dirección de la fibra	45°
– perpendicular a la fibra	15°
Tablero contrachapado y tableros de paneles contralaminados	45°

5.1.3 Cálculo simplificado

(1) El tablero puede sustituirse por una o varias vigas en la dirección de las láminas, con una anchura eficaz b_{ef} calculada mediante la expresión siguiente

$$b_{ef} = b_{w,middle} + a \quad (5.1)$$

donde

$b_{w,middle}$ se debería calcular de acuerdo con el punto (2) del apartado 5.1.2;

a se debería tomar de la tabla 5.3.

Tabla 5.3 – Anchura a (en m) para la determinación de la anchura eficaz de la viga

Sistema del tablero	a m
Tablero laminado-clavado	0,1
Laminado-tensado o laminado-encolado	0,3
Panel contralaminado	0,5
Estructura compuesta de madera/hormigón	0,6

5.2 Piezas compuestas

(1)P Se debe tener en cuenta la influencia del deslizamiento de las uniones en el cálculo de estructuras compuestas.

NOTA Véase el apartado 8.2.

5.3 Piezas compuestas de madera-hormigón

(1) La parte de hormigón debería proyectarse de acuerdo con la Norma EN 1992-2.

(2) Los elementos de fijación de acero y las uniones mediante cajeados deberían proyectarse para transmitir todas las fuerzas debidas al comportamiento compuesto del tablero. No deberían tenerse en cuenta el rozamiento y la adherencia entre la madera y el hormigón, salvo que se realice un estudio específico.

(3) La anchura eficaz de la losa de hormigón de las estructuras compuestas viga de madera/hormigón debería determinarse según:

$$b_{\text{ef},c} = b + b_{\text{ef},1} + b_{\text{ef},2} \quad (5.2)$$

donde

b es la anchura de la viga de madera;

$b_{\text{ef},1}$, $b_{\text{ef},2}$ son las anchuras eficaces de las alas de hormigón, como se determina en el apartado 5.3.2.1 de la Norma EN 1992-1-1 para una sección en T de hormigón.

(4)P Para la comprobación de un estado límite último, deben tenerse en cuenta las fisuras en la losa de hormigón.

(5) El efecto de la rigidización bajo tracción del hormigón puede incluirse. Para un cálculo simplificado, puede tomarse la rigidez de la parte fisurada de la sección transversal de hormigón como un 40% de la rigidez correspondiente a la situación sin fisurar. En esas zonas fisuradas, debería disponerse una armadura adecuada para distribuir la fisuración.

CAPÍTULO 6 – ESTADOS LÍMITE ÚLTIMOS

6.1 Tableros

6.1.1 Resistencia del sistema

- (1) Se aplican las reglas relevantes del apartado 6.7 de la Norma EN 1995-1-1
- (2) Las resistencias de cálculo a flexión y a cortante del tablero deberían calcularse según las siguientes expresiones:

$$f_{m,d,deck} = k_{sys} f_{m,d,lam} \quad (6.1)$$

$$f_{v,d,deck} = k_{sys} f_{v,d,lam} \quad (6.2)$$

donde

$f_{m,d,lam}$ es el valor de cálculo de la resistencia a flexión de las láminas;

$f_{v,d,lam}$ es el valor de cálculo de la resistencia a cortante de las láminas;

k_{sys} es el factor de carga compartida, véase la Norma EN 1995-1-1. Para placas de acuerdo con la figura 1.2d debería utilizarse la línea 1 de la figura 6.14 de la Norma EN 1995-1-1.

Para el cálculo de k_{sys} , el número de láminas cargadas debería determinarse de acuerdo con la siguiente expresión:

$$n = \frac{b_{ef}}{b_{lam}} \quad (6.3)$$

donde

b_{ef} es la anchura eficaz;

b_{lam} es la anchura de las láminas.

- (3) La anchura eficaz b_{ef} debería tomarse según la expresión (véase la figura 6.1):

$$b_{ef} = \frac{M_{máx,beam}}{m_{máx,plate}} \quad (6.4)$$

donde

$M_{máx,beam}$ es el momento máximo de flexión en una viga que representa la placa;

$m_{máx,plate}$ es el momento máximo de flexión en la placa calculada mediante un análisis siguiendo la teoría de placas.

NOTA En el apartado 5.1.3 se proporciona un método simplificado para la determinación de la anchura eficaz.

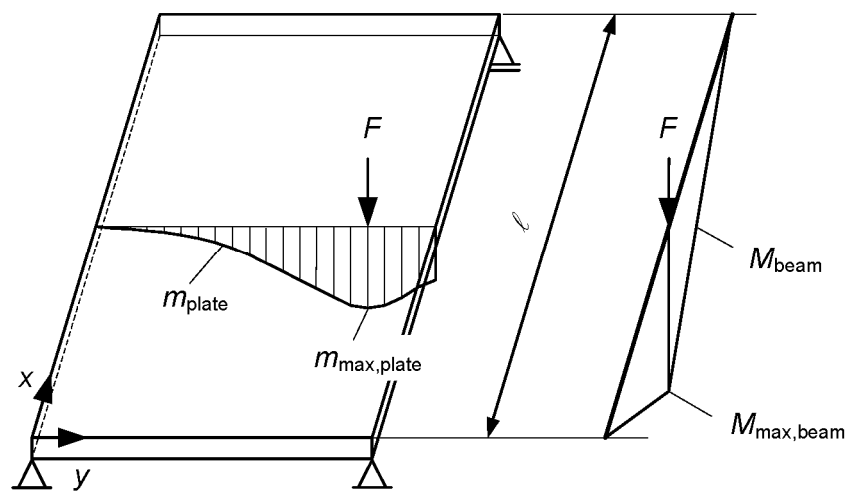


Figura 6.1 – Ejemplo de distribución de los momentos flectores en la placa para la determinación de la anchura eficaz

6.1.2 Tablero laminado tensado

- (1)P Las fuerzas de pretensado a largo plazo deben ser tales que no se produzca el deslizamiento entre láminas.
- (2) Debería cumplirse el siguiente requisito:

$$F_{v,Ed} \leq \mu_d \sigma_{p,min} h \quad (6.5)$$

donde

$F_{v,Ed}$ es el valor de cálculo del esfuerzo cortante por unidad de longitud, provocado por las acciones verticales y horizontales;

μ_d es el valor de cálculo del coeficiente de rozamiento;

$\sigma_{p,min}$ es la mínima tensión de compresión residual a largo plazo debida al pretensado;

h es el espesor de la placa.

- (3) El coeficiente de rozamiento debería obtenerse teniendo en cuenta lo siguiente:

- especie de madera;
- rugosidad de la superficie de contacto;
- tratamiento de la madera;
- nivel de tensión residual entre láminas.

- (4) Salvo que se hayan verificado otros valores, los valores de cálculo de los coeficientes de rozamiento estático, μ_d , entre láminas de madera de coníferas, y entre láminas de madera de coníferas y hormigón, deberían tomarse de la tabla 6.1. Para valores del contenido de humedad entre el 12% y el 16%, los valores pueden obtenerse mediante interpolación lineal.

- (5) En zonas sometidas a cargas concentradas, la tensión de compresión residual mínima a largo plazo, $\sigma_{p,min}$, debida al pretensado entre láminas no debería ser menor que $0,35 \text{ N/mm}^2$.
- (6) La tensión de pretensado residual a largo plazo puede suponerse, normalmente, mayor que $0,35 \text{ N/mm}^2$, siempre que:
- el pretensado inicial es, al menos, $1,0 \text{ N/mm}^2$;
 - el contenido de humedad de las láminas en el momento del pretensado no es mayor que el 16%;
 - la variación del contenido de humedad en servicio del tablero está limitada mediante una adecuada protección, por ejemplo, una capa impermeable.

Tabla 6.1 – Valores de cálculo del coeficiente de rozamiento μ_d

Rugosidad de la superficie de las láminas	Perpendicular a la fibra		Paralela a la fibra	
	Contenido de humedad	Contenido de humedad	Contenido de humedad	Contenido de humedad
	$\leq 12\%$	$\geq 16\%$	$\leq 12\%$	$\geq 16\%$
Madera aserrada con madera aserrada	0,30	0,45	0,23	0,35
Madera cepillada con madera cepillada	0,20	0,40	0,17	0,30
Madera aserrada con madera cepillada	0,30	0,45	0,23	0,35
Madera con hormigón	0,40	0,40	0,40	0,40

- (7) La resultante de las fuerzas de pretensado debería actuar centrada en la sección transversal de la madera.
- (8)P Debe comprobarse la tensión de compresión perpendicular a la fibra en la superficie de contacto con la placa de anclaje durante el pretensado.
- (9) El factor $k_{c,90}$ de acuerdo con la Norma EN 1995-1-1 puede tomarse igual a 1,3.
- (10) Por cada cuatro láminas adyacentes no debería haber más de un empalme a tope dentro de una distancia ℓ_1 dada por:

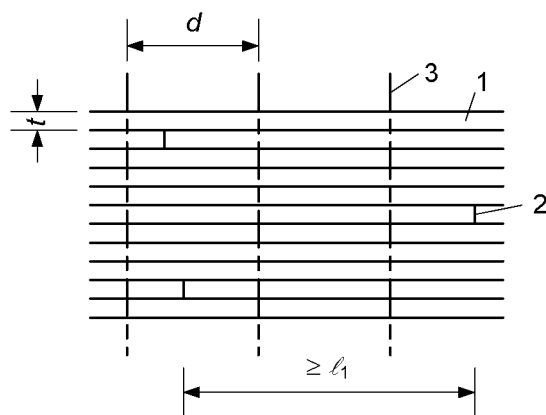
$$\ell_1 = \min. \begin{cases} 2d \\ 30t \\ 1,2 \text{ m} \end{cases} \quad (6.6)$$

donde

d es la distancia entre elementos de pretensado;

t es el espesor de las láminas en la dirección del pretensado.

- (11) En el cálculo de la resistencia longitudinal del tablero laminado tensado, la sección debería reducirse en proporción al número de empalmes a tope dentro de una distancia de cuatro veces el espesor de las láminas en la dirección de pretensado.



Leyenda

- 1 Lámina
- 2 Empalme a tope
- 3 Elemento de pretensado

Figura 6.2 – Empalmes a tope en tableros laminados tensados

6.2 Fatiga

(1)P En estructuras o partes estructurales y uniones que estén sometidas a variaciones frecuentes de tensión a causa de las cargas de tráfico o de viento, debe verificarse que no se producirá fallo o daños graves debido a la fatiga.

NOTA 1 Normalmente no es necesaria la comprobación a fatiga en pasarelas peatonales.

NOTA 2 En el anexo A (informativo) se incluye un método simplificado para la comprobación.

CAPÍTULO 7 – ESTADOS LÍMITE DE SERVICIO

7.1 Generalidades

- (1) En el cálculo, deberían utilizarse los valores medios de la densidad.

7.2 Valores límites de las deformaciones

NOTA El rango de los valores límites de las deformaciones debidas únicamente a las cargas de tráfico, para vigas, placas o celosías de luz ℓ se da en la tabla 7.1. Los valores recomendados están subrayados. En el anexo nacional puede encontrarse información sobre la opción nacional.

Tabla 7.1 – Valores límites para la flecha de vigas, placas y celosías

Acción	Rango de valores límites
Carga de tráfico característica	<u>$\ell/400$</u> a $\ell/500$
Carga de peatones y carga de tráfico bajo	<u>$\ell/200$</u> a $\ell/400$

7.3 Vibraciones

7.3.1 Vibraciones provocadas por peatones

- (1) Para el criterio de confort se aplica la Norma EN 1990:2002/A1.
- (2) Cuando no se han verificado otros valores, el coeficiente de amortiguamiento debería tomarse como:
- $\zeta = 0,010$ en estructuras sin uniones mecánicas;
 - $\zeta = 0,015$ en estructuras con uniones mecánicas.

NOTA 1 En estructuras específicas, se pueden proporcionar coeficientes de amortiguamiento en el anexo nacional.

NOTA 2 En el anexo B se incluye un método simplificado para la evaluación de las vibraciones de puentes de madera contruidos con vigas o celosías simplemente apoyadas.

7.3.2 Vibraciones producidas por el viento

- (1)P Se aplica la Norma EN 1991-1-4.

CAPÍTULO 8 – UNIONES

8.1 Generalidades

(1)P En puentes no deben utilizarse los siguientes medios de unión:

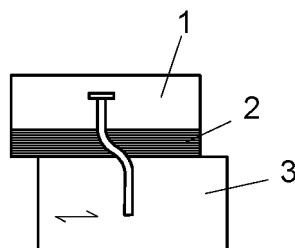
- clavos cargados axialmente;
- uniones grapadas;
- uniones con placas clavo metálicas.

8.2 Uniones entre madera y hormigón en vigas compuestas

8.2.1 Medios de fijación de tipo clavija cargados lateralmente

(1) No debería utilizarse el efecto soga.

(2) Cuando exista una capa intermedia no estructural entre la madera y el hormigón (por ejemplo el encofrado), véase la figura 8.1, los parámetros de resistencia y rigidez deberían determinarse mediante un análisis específico o mediante ensayos.



Leyenda

- 1 Hormigón
- 2 Capa intermedia no estructural
- 3 Madera

Figura 8.1 – Capa intermedia entre hormigón y madera

8.2.2 Uniones mediante cajeados

(1) En las uniones mediante cajeados, véase la figura 1.1, el esfuerzo cortante debería ser transmitido mediante la presión de contacto directo entre la madera y el hormigón vertido en el cajeadado.

(2) Debería comprobarse que la resistencia de la parte del hormigón y de la parte de la madera en la unión es suficiente.

(3)P Las partes del hormigón y de la madera deben mantenerse unidas de forma que no puedan separarse

(4) La unión debería calcularse para una fuerza de tracción entre la madera y el hormigón con un valor de:

$$F_{t,Ed} = 0,1 F_{v,Ed} \quad (8.1)$$

donde

$F_{t,Ed}$ es el valor de cálculo de la fuerza de tracción entre la madera y el hormigón;

$F_{v,Ed}$ es el valor de cálculo del esfuerzo cortante entre la madera y el hormigón.

CAPÍTULO 9 – DETALLES CONSTRUCTIVOS Y CONTROL

- (1)P Las reglas relevantes dadas en el capítulo 10 de la Norma EN 1995-1-1 también son de aplicación a las partes estructurales de los puentes, con la excepción de los apartados 10.8 y 10.9.
- (2) Antes de la aplicación de una capa sellante sobre la placa del tablero, el sistema del tablero debería secarse y la superficie debería cumplir los requisitos exigidos para la capa sellante.

ANEXO A (Informativo)

COMPROBACIÓN A FATIGA

A.1 Generalidades

(1) Este método simplificado se basa en una carga de fatiga de amplitud constante equivalente, representando los efectos de la fatiga del espectro completo de las situaciones de carga.

NOTA Una comprobación a fatiga más avanzada para considerar una amplitud variable de tensiones, puede basarse en la teoría de daño acumulado linealmente (hipótesis de Palmgren-Miner).

(2) La tensión debería determinarse mediante un análisis elástico bajo la acción especificada. Las tensiones deberían considerar los efectos de las uniones rígidas o semirrígidas, y los efectos de segundo orden debidos a las deformaciones y distorsiones.

(3) La comprobación a fatiga es necesaria cuando la relación κ definida en la expresión (A.1) es mayor que:

- Para piezas en compresión perpendicular o paralela a la fibra: 0,6
- Para piezas en flexión o tracción: 0,2
- Para piezas en cortante: 0,15
- Para uniones con pasadores: 0,4
- Para uniones con clavos: 0,1
- Otras uniones: 0,15

donde

$$\kappa = \frac{|\sigma_{d,m\acute{a}x.} - \sigma_{d,m\acute{i}n.}|}{\frac{f_k}{\gamma_{M,fat}}} \quad (A.1)$$

$\sigma_{d,m\acute{a}x.}$ es el mayor valor numérico del valor de cálculo de la tensión debida a la carga de fatiga;

$\sigma_{d,m\acute{i}n.}$ es el menor valor numérico del valor de cálculo de la tensión debida a la carga de fatiga;

f_k es la resistencia característica relevante;

$\gamma_{M,fat}$ es el coeficiente parcial del material para la carga de fatiga.

A.2 Carga de fatiga

(1) Un modelo de carga de fatiga simplificado se establece a partir de cargas reducidas (efectos de las acciones) comparadas con los modelos de carga estática. El modelo de carga debería dar las tensiones máximas y mínimas en las piezas estructurales reales.

(2) La carga de fatiga debida al tráfico debería obtenerse a partir de las especificaciones del proyecto y de la Norma EN 1991-2.

(3) El número de ciclos por año de tensión de amplitud constante, N_{obs} , debería tomarse bien de la tabla 4.5 de la Norma EN 1991-2 o bien, si hay más información disponible del tráfico real, tomarse como:

$$N_{\text{obs}} = 365 n_{\text{ADT}} \alpha \quad (\text{A.2})$$

donde

N_{obs} es el número de ciclos por año de tensión de amplitud constante;

n_{ADT} es la media anual del tráfico diario esperado durante la vida de la estructura; el valor de n_{ADT} no debería tomarse menor que 1 000;

α es la fracción esperada de los vehículos pesados observados que atraviesan el puente, véase el apartado 4.6 de la Norma EN 1991-2 (por ejemplo $\alpha = 0,1$);

A.3 Comprobación a fatiga

(1) En ausencia del modelo de comprobación definido a continuación o investigaciones específicas, se debería limitar la relación κ al valor definido en el punto (3) del capítulo A.1 anterior.

(2) Para una carga de amplitud constante el criterio de comprobación a fatiga es:

$$\sigma_{\text{d,máx.}} \leq f_{\text{fat,d}} \quad (\text{A.3})$$

donde

$\sigma_{\text{d,máx.}}$ es el mayor valor numérico del valor de cálculo de la tensión debida a la carga de fatiga;

$f_{\text{fat,d}}$ es el valor de cálculo de la resistencia a fatiga.

(3) El valor de cálculo de la resistencia a fatiga debería tomarse como:

$$f_{\text{fat,d}} = k_{\text{fat}} \frac{f_k}{\gamma_{\text{M,fat}}} \quad (\text{A.4})$$

donde

f_k es la resistencia característica para carga estática;

k_{fat} es un factor que representa la reducción de la resistencia con el número de ciclos de carga.

(4) El valor de k_{fat} debería tomarse como:

$$k_{\text{fat}} = 1 - \frac{1-R}{a(b-R)} \log(\beta N_{\text{obs}} t_L) \geq 0 \quad (\text{A.5})$$

donde

$$R = \sigma_{\text{d,mín.}} / \sigma_{\text{d,máx.}} \quad \text{con } -1 \leq R \leq 1; \quad (\text{A.6})$$

$\sigma_{\text{d,mín.}}$ es el menor valor numérico del valor de cálculo de la tensión debida a la carga de fatiga;

$\sigma_{d,m\acute{a}x.}$ es el mayor valor numérico del valor de cálculo de la tensión debida a la carga de fatiga;

N_{obs} es el número de ciclos de tensión de amplitud constante definido anteriormente;

t_L es la vida útil de cálculo de la estructura expresada en años de acuerdo con la Norma EN 1990:2002 (por ejemplo 100 años); β es un factor basado en las consecuencias del daño para el componente estructural real;

a, b son coeficientes que representan el tipo de acción de fatiga de acuerdo con la tabla A.1.

El factor β debería tomarse como:

- Consecuencias importantes: $\beta = 3$
- Sin consecuencias importantes: $\beta = 1$

Tabla A.1 – Valores de los coeficientes a y b

	a	b
Piezas de madera en		
– compresión, perpendicular o paralela a la fibra	2,0	9,0
– flexión y tracción	9,5	1,1
– cortante	6,7	1,3
Uniones con		
– pasadores con $d \leq 12$ mm ^a	6,0	2,0
– clavos	6,9	1,2
^a Los valores para pasadores están basados principalmente en ensayos con pasadores de 12 mm de diámetro introducidos en agujeros de manera muy ajustada. Los pasadores con diámetros significativamente mayores o los pernos con holgura pueden tener propiedades de fatiga menos favorables.		

ANEXO B (Informativo)

VIBRACIONES PRODUCIDAS POR LOS PEATONES

B.1 Generalidades

(1) Las reglas incluidas en este anexo son de aplicación en los puentes de madera con vigas o sistemas de celosía simplemente apoyados, sometidos a efectos debidos al tránsito de peatones.

NOTA Las reglas correspondientes se encontrarán en futuras versiones de la Norma EN 1991-2.

B.2 Vibraciones verticales

(1) Para el caso de una persona cruzando el puente, la aceleración vertical $a_{\text{vert},1}$ en m/s^2 del puente debería tomarse como:

$$a_{\text{vert},1} = \begin{cases} \frac{200}{M \zeta} & \text{para } f_{\text{vert}} \leq 2,5 \text{ Hz} \\ \frac{100}{M \zeta} & \text{para } 2,5 \text{ Hz} < f_{\text{vert}} \leq 5,0 \text{ Hz} \end{cases} \quad (\text{B.1})$$

donde

M es la masa total del puente en kg, dada por $M = m \ell$;

ℓ es la luz del puente;

m es la masa por unidad de longitud (peso propio) del puente en kg/m;

ζ es el coeficiente de amortiguamiento;

f_{vert} es la frecuencia natural fundamental para la deformación vertical del puente.

(2) Para el caso de varias personas cruzando el puente, la aceleración vertical $a_{\text{vert},n}$ en m/s^2 del puente debería calcularse como:

$$a_{\text{vert},n} = 0,23 a_{\text{vert},1} n k_{\text{vert}} \quad (\text{B.2})$$

donde

n es el número de peatones;

k_{vert} es un coeficiente de acuerdo con la figura B.1;

$a_{\text{vert},1}$ es la aceleración vertical para una persona cruzando el puente determinada de acuerdo con la expresión (B.1).

El número de peatones, n , debería tomarse como:

– $n = 13$ para un grupo aislado de peatones;

– $n = 0,6 A$ para un flujo continuo de peatones.

donde A es la superficie del tablero del puente en m^2 .

(3) Si se tiene en cuenta el efecto de personas corriendo, la aceleración vertical $a_{\text{vert},1}$ en m/s^2 del puente producida por una única persona corriendo sobre el puente, debería tomarse como:

$$a_{\text{vert},1} = \frac{600}{M \zeta} \quad \text{para } 2,5 \text{ Hz} < f_{\text{vert}} \leq 3,5 \text{ Hz} \quad (\text{B.3})$$

B.3 Vibraciones horizontales

(1) Para una persona cruzando el puente la aceleración horizontal $a_{\text{hor},1}$ en m/s^2 del puente debería calcularse de la manera siguiente:

$$a_{\text{hor},1} = \frac{50}{M \zeta} \quad \text{para } 0,5 \text{ Hz} \leq f_{\text{hor}} \leq 2,5 \text{ Hz} \quad (\text{B.4})$$

donde f_{hor} es la frecuencia natural fundamental para la deformación horizontal del puente.

(2) Para varias personas cruzando el puente, la aceleración horizontal $a_{\text{hor},n}$ en m/s^2 del puente debería calcularse de la manera siguiente:

$$a_{\text{hor},n} = 0,18 a_{\text{hor},1} n k_{\text{hor}} \quad (\text{B.5})$$

donde

k_{hor} es un coeficiente de acuerdo con la figura B.2.

El número de peatones, n , debería tomarse como:

- $n = 13$ para un grupo aislado de peatones;
- $n = 0,6 A$ para un flujo continuo de peatones,

donde A es la superficie del tablero del puente en m^2 .

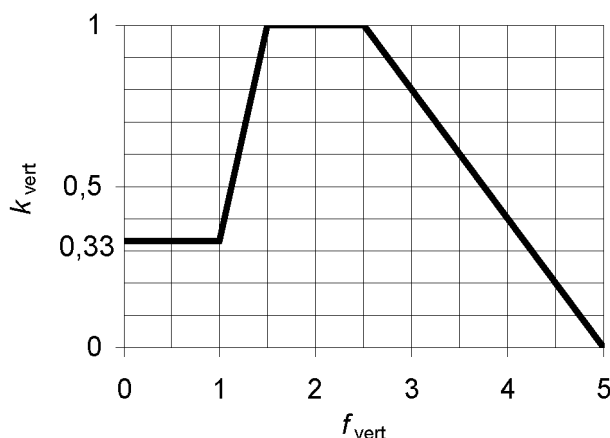


Figura B.1 – Relación entre la frecuencia natural fundamental vertical f_{vert} y el coeficiente k_{vert}

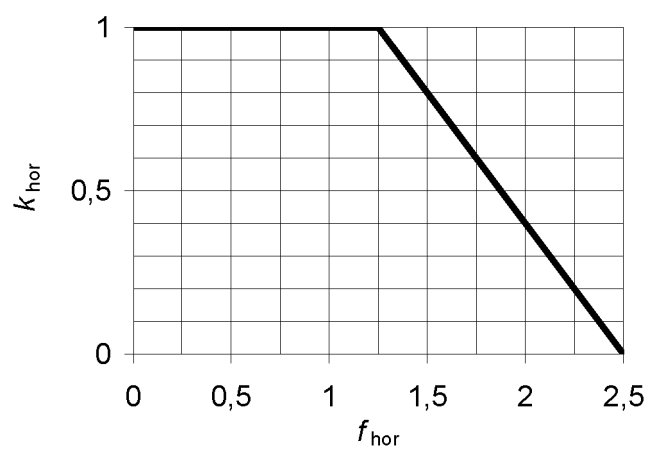


Figura B.2 – Relación entre la frecuencia natural fundamental horizontal f_{hor} y el coeficiente k_{hor}

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