

STEEL BUILDINGS IN EUROPE

Edificios de acero de varias plantas
Parte 10: Guía para el desarrollo de
software para el diseño de vigas
mixtas

Edificios de acero de varias plantas
Parte 10: Guía para el desarrollo de
software para el diseño de vigas
mixtas

PRÓLOGO

Esta publicación es la parte 10 de la guía de diseño *Edificios de acero de varias plantas* (en inglés, *Multi-Storey Steel Buildings*).

Las 10 partes en que se divide la guía *Edificios de acero de varias plantas* son:

Parte 1: Guía del arquitecto

Parte 2: Diseño conceptual

Parte 3: Acciones

Parte 4: Diseño de detalle

Parte 5: Diseño de uniones

Parte 6: Ingeniería de fuego

Parte 7: Guía para el pliego de condiciones del proyecto

Parte 8: Herramienta para el cálculo de la resistencia de elementos: descripción técnica

Parte 9: Herramienta para el cálculo de la resistencia de uniones: descripción técnica

Parte 10: Guía para el desarrollo de software para el diseño de vigas mixtas

Edificios de acero de varias plantas, es una de las dos guías de diseño publicadas. La segunda guía se titula *Edificios de acero de una sola planta* (en inglés, *Single-Storey Steel Buildings*).

Ambas guías han sido editadas dentro del marco del proyecto europeo *Facilitating the market development for sections in industrial halls and low rise buildings (SECHALO) RFS2-CT-2008-0030*.

Ambas guías de diseño han sido redactadas y editadas bajo la dirección de Arcelor Mittal, Peiner Träger y Corus. El contenido técnico ha sido elaborado por CTICM y SCI, colaboradores de Steel Alliance.

Índice

	Página Nº
PRÓLOGO	iii
RESUMEN	vi
1 ALCANCE	7
2 DATOS BÁSICOS	8
2.1 Parámetros generales de la viga	8
2.2 Perfil de acero	9
2.3 Losa de hormigón	9
2.4 Conexión	10
2.5 Cargas	11
2.6 Factores parciales	12
2.7 Otros parámetros de cálculo	12
3 PROPIEADES DE LOS MATERIALES	13
3.1 Acero estructural	13
3.2 Armaduras	13
3.3 Hormigón	13
4 CÁLCULO DE ESFUERZOS Y MOMENTOS	14
4.1 Aspectos generales	14
4.2 Efectos de una carga puntual	14
4.3 Efectos de una carga uniformemente repartida	15
4.4 Combinación de acciones	15
5 FASE DE CONSTRUCCIÓN	16
5.1 Aspectos generales	16
5.2 Comprobaciones del ELU	16
5.3 Cálculos de ELS	20
6 FASE FINAL	21
6.1 Anchura efectiva de la losa	21
6.2 Conexión	21
6.3 Resistencia de la sección	24
6.4 Resistencia a la tensión tangencial	29
6.5 Estados límite de servicio	31
7 LISTADO DE LOS PRINCIPALES RESULTADOS	33
REFERENCIAS	34
Apéndice A Diagrama de flujo global	35

RESUMEN

Esta guía ofrece a los desarrolladores de software para el diseño y cálculo de vigas mixtas consejo a la hora de abordar esta tarea, de acuerdo a lo especificado en los Eurocódigos. Se incluyen recomendaciones sobre vigas articuladas unidas a una losa de hormigón mediante conectores y se detallan los requisitos técnicos. Las comprobaciones del ELU se fundamentan en el cálculo plástico.

1 ALCANCE

Este documento está dirigido a los desarrolladores de software. Su objetivo es permitirles desarrollar una herramienta de software sencilla para el cálculo de vigas mixtas en edificios de varias plantas, de acuerdo a las normativas europeas, EN 1994-1-1^[1]. Este documento también se puede considerar una guía para la comprensión del funcionamiento de las diferentes herramientas de software ya existentes en este mismo campo.

Esta guía no contiene ningún código de programación, única y exclusivamente recoge en detalle los requisitos técnicos.

En este documento se abarcan vigas mixtas articuladas, compuestas por un perfil laminado unido a una losa de hormigón mediante conectores soldados. Las diferentes opciones abordadas son las siguientes:

- Vigas primarias o secundarias
- Losas o losas con chapa colaborante
- Vigas totalmente apuntaladas o sin apuntalar durante la construcción

Estos requisitos técnicos incluyen:

- El cálculo de los esfuerzos internos y de los momentos.
- Los cálculos y comprobaciones del ELU.
- Los cálculos y comprobaciones del ELS.
- El cálculo de la viga mixta se basa en la resistencia plástica mediante una conexión total o parcial.

El procedimiento de cálculo se resume en los diagramas de flujo que aparecen en Apéndice A.

2 DATOS BÁSICOS

2.1 Parámetros generales de la viga

2.1.1 Dimensiones

Las dimensiones incluyen:

L longitud del vano (luz).

B_L, B_R distancias entre los ejes de la viga

L_i parámetros que definen la posición de las vigas secundarias

El usuario podrá elegir entre viga primaria o secundaria. En el caso de viga secundaria, se presupone que las cargas están uniformemente repartidas.

En el caso de elegir una viga primaria, las cargas se transfieren a través de una o dos vigas secundarias a la viga primaria en cuestión.

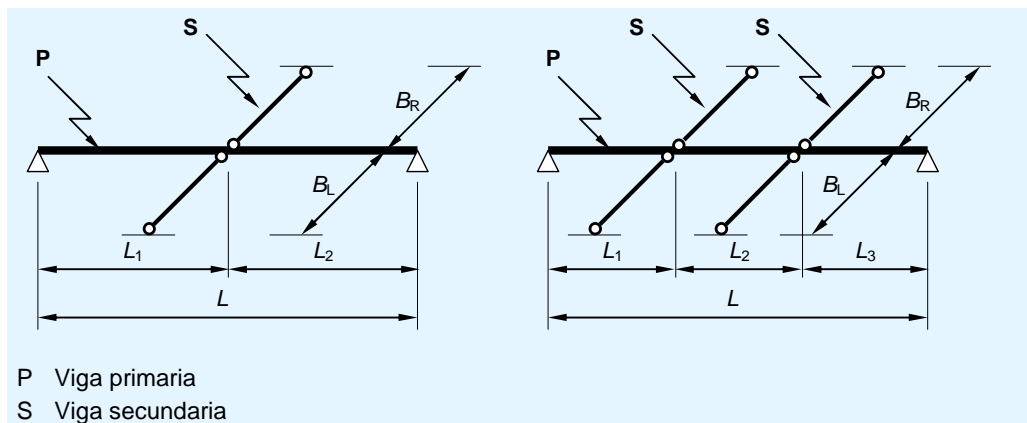


Figura 2.1 Vigas primarias y secundarias

Se debe satisfacer la siguiente condición:

$$L_i > L/5$$

2.1.2 Apuntalamiento y arriostamiento lateral

Se contemplan dos situaciones respecto al apuntalamiento en fase de construcción: viga totalmente apuntalada o sin apuntalar.

Si la viga está totalmente apuntalada, no es necesario llevar a cabo ningún cálculo durante la fase de construcción.

Si la viga está sin apuntalar, el usuario tiene que optar o bien por un arriostamiento lateral completo contra el pandeo lateral, o bien por un arriostamiento lateral en los soportes extremos.

2.2 Perfil de acero

El perfil de acero estructural es un perfil laminado en I definido por su geometría:

- h es la altura del perfil (canto)
- b es la anchura del ala
- t_f es el espesor del ala
- t_w es el espesor del alma
- r es el radio de acuerdo.

Las siguientes propiedades de perfil pueden obtenerse de la base de datos correspondiente:

- A es el área del perfil
- $A_{v,z}$ es el área de corte, de acuerdo con EN 1993-1-1 § 6.2.6(3)
- I_y es el momento de inercia respecto al eje fuerte o principal
- I_z es el momento de inercia respecto al eje débil
- I_t es la inercia de torsión
- I_w es la inercia de alabeo
- $W_{el,y}$ es el módulo resistente elástico respecto al eje fuerte
- $W_{pl,y}$ es el módulo resistente plástico respecto al eje fuerte

El grado del acero puede seleccionarse de la siguiente lista:

S235, S275, S355, S420, S460

2.3 Losa de hormigón

La losa de hormigón se define por las siguientes variables:

El tipo de losa: bien losas simples o losas con chapas de acero perfilado

- h_f es el espesor de la losa
- ρ es la densidad del hormigón

La clase del hormigón puede seleccionarse a partir de:

- C20/25
- C25/30
- C30/37
- C35/45
- C40/50
- C45/55
- C50/60
- C55/67
- C60/75

Las chapas de acero perfilado, de utilizarse, se definen por la geometría de su sección (Figura 2.2 Sección transversal de las chapas laminadas de acero):

- h_p es la altura total de la chapa
- t_p es el espesor de la chapa
- b_s es la distancia entre crestas de nervios adyacentes.
- b_r es la anchura del nervio
- b_b es la anchura de la parte inferior del nervio

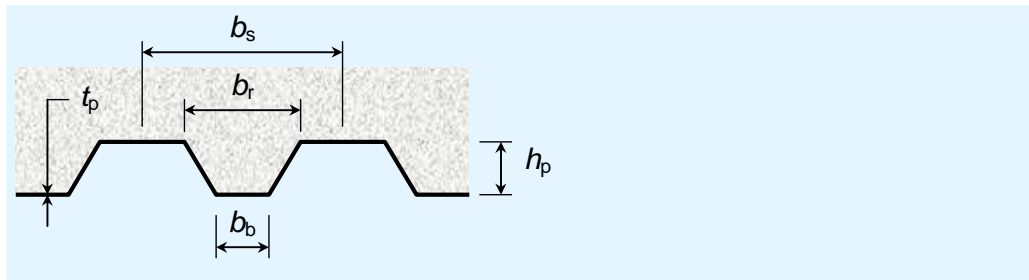


Figura 2.2 Sección transversal de las chapas laminadas de acero

Es preciso seleccionar una de las siguientes opciones:

- Nervios perpendiculares al eje de la viga
- Nervios paralelos al eje de la viga

Cuando los nervios de la chapa son perpendiculares al eje de la viga, es preciso seleccionar una de las siguientes opciones:

- Conectores soldados a través de las chapa
- Chapa con orificios para los conectores
- Chapas interrumpidas en la viga (libre disposición de los conectores a lo largo del eje de la viga).

2.4 Conexión

2.4.1 Descripción de los conectores

Los conectores son pernos con cabezal soldados al ala superior del perfil. Para cada viga, todos los conectores son idénticos.

Un conector se define por:

- h_{sc} es la altura nominal total.
- d es el diámetro del perno, que puede seleccionarse de la siguiente lista:
 - 16 mm
 - 19 mm
 - 22 mm
- $f_{u,sc}$ es la resistencia última del perno.

2.4.2 Situación de los conectores

La posición de los conectores puede definirse en uno, dos o tres segmentos de la viga. En los casos en los que haya más de un segmento, se tendrá que proporcionar la longitud de cada segmento. La suma de estas longitudes debería ser igual a la longitud de la viga.

Para cada segmento, hay que definir los siguientes parámetros:

- El número de filas: 1 o 2
- La distancia entre dos conectores consecutivos en la viga

Cuando los nervios de la chapa son perpendiculares a la viga, la distancia entre los conectores es $n \times b_s$, donde n puede equivaler a uno, dos o tres.

2.5 Cargas

El software permite al usuario definir los casos elementales de carga que se emplean en las combinaciones de acciones para ELU y ELS de acuerdo a lo especificado en la EN 1990^[2].

Sólo se consideran las cargas gravitatorias.

En las especificaciones se considera un total de tres casos de carga elementales:

- Un caso de carga permanente, denominado G
- Dos casos de carga variable, denominados Q_1 y Q_2 .

Para cada caso de carga, se puede definir una carga uniformemente repartida q_{surf} . Para una viga definida como “viga secundaria”, se deriva una carga lineal:

$$q_{\text{lin}} = q_{\text{surf}} (B_L + B_R)/2$$

dónde:

B_L y B_R son las distancias entre las vigas (izquierda y derecha).

Para una viga definida como “viga primaria”, se derivan una o dos cargas puntuales a partir de la carga distribuida en la superficie.

El propio peso del perfil y el peso de la losa de hormigón se calculan de manera automática.

Para cada caso de carga variable, es preciso definir los factores ψ_0 , ψ_1 y ψ_2 .

Cuando la viga se define sin apuntalar durante la fase de construcción, el usuario deberá definir un estado de cargas durante la construcción. El valor por defecto es $0,75 \text{ kN/m}^2$.

2.6 Factores parciales

2.6.1 Factores parciales en las acciones

En el campo de aplicación del software, los factores parciales en las acciones de las combinaciones en ELU son:

γ_G para acciones permanentes

γ_Q para acciones variables

2.6.2 Factores parciales en las resistencias

Las expresiones de la resistencia de cálculo se refieren a los siguientes factores parciales:

γ_{M0} para minorar la resistencia del acero estructural

γ_{M1} para minorar la resistencia del acero estructural, para un estado límite relacionado con el fenómeno del pandeo.

γ_c para minorar la resistencia a compresión del hormigón

γ_V para minorar la resistencia de los conectores

γ_s para minorar la resistencia de las armaduras

Los valores de los factores parciales vienen indicados en los Anexos Nacionales. Los valores recomendados se indican en **¡Error! La autreferencia al marcador no es válida.**

Tabla 2.1 Valores recomendados para factores parciales

Factores parciales	γ_G	γ_Q	γ_{M0}	γ_{M1}	γ_c	γ_s	γ_V
Eurocódigo	EN 1990	EN 1990	EN 1993-1-1	EN 1993-1-1	EN 1992-1-1	EN 1992-1-1	EN 1994-1-1
Valores recomendados	1,35	1,50	1,0	1,0	1,5	1,15	1,25

2.7 Otros parámetros de cálculo

Es preciso conocer los valores de los siguientes parámetros de cálculo:

η Coeficiente para la resistencia a cortante tal y como se define en la EN 1993-1-5 § 5.1. El valor debería extraerse del Anexo nacional. El valor recomendado es 1,2.

El porcentaje de sobrecargas para la evaluación de la frecuencia natural (ELS) tiene que ser introducido por el usuario.

3 PROPIEADES DE LOS MATERIALES

3.1 Acero estructural

Las propiedades del acero se definen en la EN 1993-1-1³¹:

E es el módulo de elasticidad ($E = 210000 \text{ N/mm}^2$)

G es el módulo de elasticidad transversal ($G = 80770 \text{ N/mm}^2$)

f_y es el límite elástico indicado en la Tabla 3.1 de la EN 1993-1-1, en función del grado de acero y del espesor del material. De manera sencilla, el límite elástico puede obtenerse a partir del espesor del ala.

f_{yw} es límite elástico del alma, derivado del espesor del alma.

ε se define como:

$$\varepsilon = \sqrt{235 / f_y}$$

f_y es el límite elástico en N/mm^2 .

3.2 Armaduras

Las propiedades de las armaduras se definen en la EN 1992-1-1:

$f_{y,r,k}$ es el límite elástico de la armadura transversal.

3.3 Hormigón

Las propiedades del hormigón se definen en la EN 1993-1-1⁴¹: Se derivan de la clase de hormigón.

f_{ck} es la resistencia característica a compresión a 28 días, tal y como se indica en la Tabla 3.1 de la EN 1992-1-1.

f_{cd} es la resistencia a compresión de diseño (EN 1994-1-1 § 2.4.1.2(2)):

$$f_{cd} = f_{ck} / \gamma_c$$

E_{cm} es el módulo secante de elasticidad, tal y como se indica en la Tabla 3.1 de la EN 1992-1-1.

4 CÁLCULO DE ESFUERZOS Y MOMENTOS

4.1 Aspectos generales

La resistencia de la sección de la viga mixta se debe comprobar teniendo en cuenta la variación del cortante y momento flector, la variación de la resistencia a flexión debida a la anchura efectiva de la losa, el grado de conexión y la influencia del cortante. Por ello, el cortante y el momento flector deberían calcularse en diversos puntos a lo largo de la viga, para cada caso de carga elemental (por ejemplo, G , Q_1 , Q_2). Seguidamente se calculan los esfuerzos y los momentos generados para cada combinación de acciones.

Las secciones de cálculo son las de los apoyos y aquellas situadas a ambos lados del punto de aplicación de la carga. Se determinan puntos de cálculo adicionales entre los anteriores para obtener la sección crítica con suficiente precisión. A tal efecto, es recomendable que la distancia entre dos puntos de cálculo consecutivos sea inferior a $L/20$.

4.2 Efectos de una carga puntual

La reacción vertical en el apoyo izquierdo:

$$R_{VL} = -F (L - x_F) / L$$

La reacción vertical en el apoyo derecho:

$$R_{VR} = F - R_{VL}$$

El cortante en la abscisa x desde el apoyo izquierdo:

$$\text{Cuando } x \leq x_F: \quad V(x) = R_{VL}$$

$$\text{Sino:} \quad V(x) = R_{VL} + F$$

El momento flector en la abscisa x desde el apoyo izquierdo:

$$\text{Cuando } x \leq x_F: \quad M(x) = R_{VL} x$$

$$\text{Sino:} \quad M(x) = R_{VL} x + F (x - x_F)$$

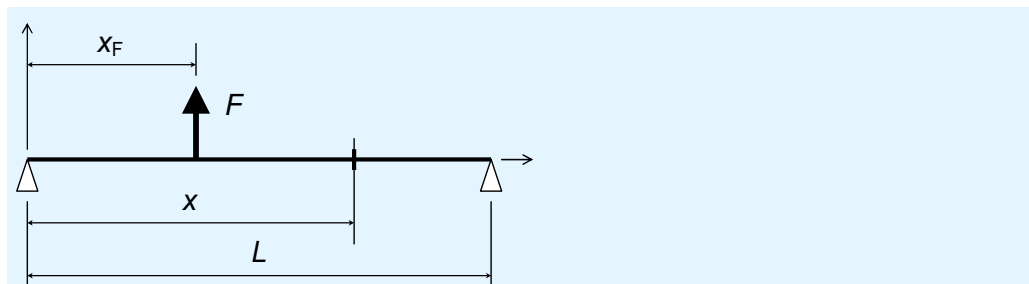


Figura 4.1 Carga puntual aplicada en la viga

4.3 Efectos de una carga uniformemente repartida

La reacción vertical en los apoyos:

$$R_{VL} = R_{VR} = -Q (B_L + B_R) L / 4$$

El cortante en función de x desde el apoyo izquierdo:

$$V(x) = R_{VL} + Q (B_L + B_R) x / 2$$

El momento flector en función de x desde el apoyo izquierdo:

$$M(x) = R_{VL} x + Q (B_L + B_R) x^2 / 4$$

4.4 Combinación de acciones

4.4.1 Estados límite últimos (ELU)

Las combinaciones de acciones para las comprobaciones de ELU son las combinaciones fundamentales definidas en la EN 1990 § 6.4.3.2:

$$\gamma_G G + \gamma_Q Q_1 + \gamma_Q \psi_{0,2} Q_2$$

$$\gamma_G G + \gamma_Q Q_2 + \gamma_Q \psi_{0,1} Q_1$$

4.4.2 Estados límite de servicio (ELS)

Las combinaciones de acciones para las comprobaciones de ELS (deformaciones, vibraciones) pueden ser combinaciones habituales o frecuentes, según lo indicado en el Anexo nacional:

Combinaciones características (EN 1990 § 6.5.3 a):

$$G + Q_1 + \psi_{0,2} Q_2$$

$$G + Q_2 + \psi_{0,1} Q_1$$

Combinaciones frecuentes (EN 1990 § 6.5.3 b):

$$G + \psi_{1,1} Q_1 + \psi_{2,2} Q_2$$

$$G + \psi_{1,2} Q_2 + \psi_{2,1} Q_1$$

5 FASE DE CONSTRUCCIÓN

5.1 Aspectos generales

En el caso de no apuntalar en fase de construcción, es necesario comprobar el ELU, teniendo en cuenta las siguientes acciones:

- Peso propio del perfil (G)
- Peso del hormigón (Q_{cf})
- Carga de construcción, considerada como una acción variable (Q_{ca})

Los esfuerzos y los momentos se calculan de acuerdo con el Apartado 4 de esta guía, para la siguiente combinación de acciones del ELU:

$$\gamma_G G + \gamma_Q (Q_{cf} + Q_{ca})$$

Las comprobaciones de ELU incluyen:

- Resistencia a flexión
- Resistencia a cortante
- Resistencia al pandeo por cortante
- Interacción momento - cortante
- Pandeo lateral

En lo que al pandeo lateral se refiere, le corresponde al usuario decidir la opción de cálculo: bien la viga está totalmente arriostrada lateralmente para evitar dicho pandeo, o bien está arriostrada lateralmente únicamente en los apoyos. La comprobación del pandeo lateral se lleva a cabo de acuerdo a lo anteriormente establecido.

5.2 Comprobaciones del ELU

5.2.1 Aspectos generales

A lo largo de la viga, se calculan distintos criterios en cada sección de cálculo. Uno de ellos es la relación entre fuerza y resistencia. Por ello, la comprobación resulta satisfactoria cuando dicho el criterio, denominado Γ , no sobrepasa la unidad:

$$\Gamma \leq 1,0$$

5.2.2 Clasificación de la sección transversal

La resistencia a flexión de una sección depende de su clase.

- | | | |
|----|---|--------------------------------------|
| Si | $0,5 (b - t_w - 2 r)/t_f \leq 9 \varepsilon$ | entonces, el ala será de la clase 1. |
| Si | $0,5 (b - t_w - 2 r)/t_f \leq 10 \varepsilon$ | entonces, el ala será de la clase 2. |
| Si | $0,5 (b - t_w - 2 r)/t_f \leq 14 \varepsilon$ | entonces, el ala será de la clase 3. |

En el resto de casos, el ala será de la clase 4.

Si	$(h - 2(t_f + r))/t_w \leq 72 \varepsilon$	entonces, el alma será de la clase 1.
Si	$(h - 2(t_f + r))/t_w \leq 83 \varepsilon$	entonces, el alma será de la clase 2.
Si	$(h - 2(t_f + r))/t_w \leq 124 \varepsilon$	entonces, el alma será de la clase 3.

En el resto de casos, el alma será de la clase 4.

La clase de la sección es la más alta de las clases del ala comprimida y del alma.

5.2.3 Resistencia a cortante

El criterio para la resistencia a cortante se calcula siguiendo lo indicado en el Apartado 0 de esta guía. Para el pandeo por cortante, véase el Apartado 6.3.4 de esta guía.

5.2.4 Resistencia a flexión

La resistencia a flexión se calcula utilizando la siguiente expresión:

$$\Gamma_M = M_{Ed} / M_{c,Rd}$$

donde:

M_{Ed} es el momento de cálculo máximo

$M_{c,Rd}$ es el momento flector de cálculo en función de la clase de la sección:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} f_y / \chi_{M0} \text{ para Clase 1 o 2}$$

$$M_{c,Rd} = W_{el,y} f_y / \chi_{M0} \text{ para Clase 3}$$

$$M_{c,Rd} = W_{eff,y} f_y / \chi_{M0} \text{ para Clase 4}$$

5.2.5 Interacción M-V

Cuando la esbeltez del alma h_w/t_w sobrepasa $72\varepsilon/\eta$, la comprobación a pandeo por cortante Γ_{bw} se calcula de acuerdo a lo indicado en el apartado 6.3.4 mencionada anteriormente en el apartado 0. Cuando este criterio es superior a 0,5 y el momento flector sobrepasa la resistencia a flexión de las alas, es preciso tener en cuenta la interacción M-V. El criterio de interacción es (EN 1993-1-5 § 7.1(1)):

$$\Gamma_{MV} = \bar{\eta}_1 + \left(1 - \frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}}\right) \left(2\bar{\eta}_3 - 1\right)^2 \quad \text{if } M_{Ed} > M_{f,Rd}$$

donde:

$$\bar{\eta}_1 = M_{Ed} / M_{pl,Rd}$$

$$\bar{\eta}_3 = \Gamma_{bw}$$

$$M_{pl,Rd} = W_{pl,y} f_y / \chi_{M0}$$

$$M_{f,Rd} = b t_f (h - t_f) f_y / \chi_{M0}$$

Cuando no es necesario considerar el pandeo por cortante y el criterio Γ_V es superior a 0,5, se debe comprobar la interacción M-V mediante la siguiente expresión (EN 1993-1-1 § 6.2.8):

$$\Gamma_{MV} = \frac{M_{Ed}}{M_{V,Rd}}$$

donde:

$$M_{V,Rd} = \left(W_{pl,y} - \frac{\rho A_w^2}{4t_w} \right) f_y / \gamma_{M0}$$

$$\rho = \left(\frac{2V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} - 1 \right)^2$$

$$A_w = (h - 2 t_f) t_w$$

5.2.6 Resistencia al pandeo lateral

Criterios de cálculo

Si se supone una viga totalmente arriostrada lateralmente, no es necesario realizar ninguna comprobación de pandeo lateral. Si la viga está arriostrada sólo en los apoyos, el criterio del pandeo lateral se calcula mediante la siguiente expresión:

$$\Gamma_{LT} = M_{Ed} / M_{b,Rd}$$

donde:

M_{Ed} es el momento de cálculo máximo en la viga

$M_{b,Rd}$ es la resistencia de cálculo de pandeo lateral que se determina siguiendo la curva de pandeo adecuada y la esbeltez que se describe a continuación.

Momento crítico elástico

El momento crítico elástico se determina mediante la siguiente expresión:

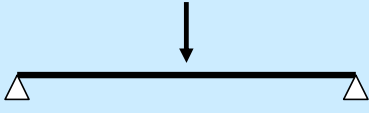
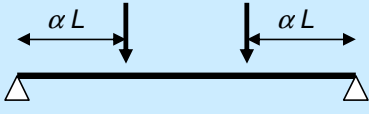
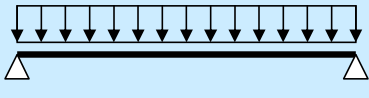
$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 EI_z}{L^2} \left[\sqrt{\frac{I_w}{I_z} + \frac{GI_t L^2}{\pi^2 EI_z} + (C_2 z_g)^2} - C_2 z_g \right]$$

donde:

$z_g = +h/2$ (se supone una carga transversal aplicada sobre el ala superior)

Para los factores C_1 y C_2 consultar la Tabla 5.1.

Tabla 5.1 Factores C_1 y C_2

Carga	C_1	C_2
	1,35	0,59
	$1 + 2,92 \alpha^3$	$\alpha (2,44 - 3,24 \alpha) C_1$
	1,13	0,45

Esbeltez de pandeo lateral

Esta esbeltez se calcula mediante la siguiente expresión:

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y f_y}{M_{cr}}}$$

donde:

$$W_y = W_{pl,y} \quad \text{para una sección de clase 1 o 2}$$

$$W_y = W_{el,y} \quad \text{para una sección de clase 3}$$

$$W_y = W_{eff,y} \quad \text{para una sección de clase 4}$$

Coefficiente de reducción

El coeficiente de reducción para los perfiles laminados se calcula de acuerdo con lo establecido en la EN 1993-1-1 § 6.3.2.3:

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \beta \bar{\lambda}_{LT}^2}} \quad \text{pero: } \chi_{LT} \leq 1$$

$$\text{y: } \chi_{LT} \leq \frac{1}{\bar{\lambda}_{LT}^2}$$

donde:

$$\phi_{LT} = 0,5 \left[1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}) + \beta \bar{\lambda}_{LT}^2 \right]$$

Los parámetros $\bar{\lambda}_{LT,0}$ y β se indican en el Anexo nacional de la EN 1993-1-1.

Los valores recomendados son:

$$\bar{\lambda}_{LT,0} = 0,4$$

$$\beta = 0,75$$

α_{LT} es el coeficiente de imperfección que depende de la curva de pandeo que hay que considerar en los perfiles laminados en caliente, según la EN 1993-1-1, Tabla 6.5:

$$\text{Si } h/b_f \leq 2 \quad \text{Curva b} \quad \alpha_{LT} = 0,34$$

$$\text{Si } h/b_f > 2 \quad \text{Curva c} \quad \alpha_{LT} = 0,49$$

Resistencia al pandeo lateral

La resistencia al pandeo lateral se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT,mod} W_y f_y / \chi_{M1}$$

donde:

$\chi_{LT,mod}$ es el coeficiente de reducción modificado calculado según la EN 1993-1-1 § 6.3.2.3 (2). De manera simplificada, puede considerarse equivalente a χ_{LT} .

$$\chi_{LT,mod} = \chi_{LT} / f \quad \text{pero: } \chi_{LT,mod} \leq 1$$

$$\text{y: } \chi_{LT,mod} \leq \frac{1}{\bar{\lambda}_{LT}^2}$$

$$f = 1 - 0,5(1 - k_c) \left[1 - 2(\bar{\lambda}_{LT} - 0,8)^2 \right] \quad \text{pero: } f \leq 1$$

k_c es un coeficiente de corrección que puede determinarse utilizando la siguiente expresión:

$$k_c = \frac{1}{\sqrt{C_1}}$$

5.3 Cálculos de ELS

En fase de construcción, la flecha puede calcularse mediante la expresión indicada en el apartado 0 de esta guía, en la que el momento de inercia es el de la sección del perfil de acero.

6 FASE FINAL

6.1 Anchura efectiva de la losa

La anchura efectiva de la losa de hormigón se determina conforme a lo establecido en la EN 1994-1-1 § 5.4.1.2. Las siguientes expresiones se limitan al campo de aplicación de estas especificaciones.

$$b_e = \text{Min}(L/8; B/2) \quad \text{donde: } B = (B_L + B_R)/2$$

$$\beta = (0,55 + 0,025 L/b_e)$$

Si $\beta > 1,0$ entonces $\beta = 1,0$

Para una sección de cálculo determinada, situada en la abscisa x , la anchura efectiva $b_{\text{eff}}(x)$ se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$\text{Si } x \leq 0,25 L: \quad b_{\text{eff}}(x) = 2 b_e [\beta + 4(1 - \beta) x/L]$$

$$\text{Si } x \geq 0,75 L: \quad b_{\text{eff}}(x) = 2 b_e [\beta + 4(1 - \beta) (L - x)/L]$$

$$\text{Sino:} \quad b_{\text{eff}}(x) = 2 b_e$$

Es preciso tener en cuenta que, de forma simplificada, tal y como se indica en la EN 1994-1-1 § 5.4.1.2(9), la distancia b_0 entre dos filas de conectores se calcula como igual a 0 para determinar la anchura efectiva de la losa.

6.2 Conexión

6.2.1 Resistencia del conector

Resistencia de cálculo

De acuerdo con lo establecido en la EN 1994-1-1 § 6.6.3.1, la resistencia de cálculo de un conector es el valor mínimo de las siguientes expresiones:

$$P_{\text{Rd}} = \frac{0,8 f_{\text{u,sc}} \pi d^2 / 4}{\gamma_v}$$

$$P_{\text{Rd}} = \frac{0,29 \alpha d^2 \sqrt{f_{\text{ck}} E_{\text{cm}}}}{\gamma_v}$$

donde:

$$\alpha = 0,2 \left(\frac{h_{\text{sc}}}{d} + 1 \right) \quad \text{para } 3 \leq h_{\text{sc}}/d \leq 4$$

$$\alpha = 1,0 \quad \text{para } h_{\text{sc}}/d > 4$$

$f_{\text{u,sc}}$ es la resistencia última a tracción del conector. El valor máximo es 500 N/mm².

Chapas de acero con nervios paralelos al eje de la viga

Cuando los nervios son paralelos al eje de la viga, se aplica un factor k_ℓ a la resistencia de cálculo de los conectores. Esto depende de la distancia b_0 , determinada como se indica a continuación:

Si $b_r > b_b$: $b_0 = (b_r + b_b)/2$

Sino: $b_0 = b_r$

$$k_\ell = 0.6 \frac{b_0}{h_p} \left(\frac{h_{sc}}{h_p} - 1 \right)$$

El valor máximo de h_{sc} es $h_p + 75$ mm.

El valor máximo de k_ℓ es 1,0.

Chapas de acero con nervios perpendiculares al eje de la viga

Cuando los nervios son perpendiculares al eje de la viga, se aplica un factor k_t a la resistencia de cálculo del conector:

$$k_t = \frac{0.7}{\sqrt{n_r}} \frac{b_0}{h_p} \left(\frac{h_{sc}}{h_p} - 1 \right)$$

donde:

b_0 definido en el apartado 6.1.3

n_r es el número de conectores en la intersección chapa - viga, que no podrá ser superior a 2.

El coeficiente de reducción k_t no deberá ser superior a los valores indicados en la Tabla 6.1 (EN 1994-1-1 Tabla 6.2).

Los valores del coeficiente de reducción k_t son válidos cuando:

$$h_p \leq 85 \text{ mm}$$

$$b_0 \geq h_p$$

Tabla 6.1 Valores máximos del factor de reducción k_t

	Diámetro	Conectores soldados a través de la chapa laminada			Chapa perforada laminada		
		16	19	22	16	19	22
$n_r = 1$	$t_p \leq 1 \text{ mm}$	0,85			No abordado en la EN 1994	0,75	
	$t_p > 1 \text{ mm}$	1,00				0,75	
$n_r = 2$	$t_p \leq 1 \text{ mm}$	0,70				0,60	
	$t_p > 1 \text{ mm}$	0,80				0,60	

6.2.2 Grado de conexión

En cualquier punto de la viga, el grado de conexión η puede calcularse utilizando la siguiente expresión:

$$\eta = \frac{F_{sc}}{\text{Min}(N_{pl,Rd}; N_{c,Rd})}$$

donde:

- F_{sc} es la resistencia de la unión en la sección de cálculo
- $N_{c,Rd}$ es la resistencia a compresión de la losa de hormigón en la sección de cálculo
- $N_{pl,Rd}$ es la resistencia de cálculo del acero estructural

Resistencia de la conexión

En cualquier punto de la viga, la resistencia de la conexión, F_{sc} , es:

$$F_{sc} = \text{Min}(n_{sc,left}; n_{sc,right}) k P_{Rd}$$

donde:

- $n_{sc,left}$ es el número de conectores entre el apoyo izquierdo y la sección de cálculo
- $n_{sc,right}$ es el número de conectores entre el apoyo derecho y la sección de cálculo
- k
 - = 1 para una losa lisa
 - = k_ℓ para una losa con chapa de acero con nervios paralelos al eje de la viga
 - = k_t para una losa con chapa de acero con nervios perpendiculares al eje de la viga

Resistencia de la losa de hormigón

En cualquier punto de la viga, definido por la abscisa x , la resistencia de cálculo de la losa de hormigón se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$N_{c,Rd} = (h_f - h_p) b_{\text{eff}}(x) \times 0,85 f_{cd}$$

Para una losa lisa, h_p , se toma como equivalente a 0.

Resistencia del acero estructural

El cálculo del axil resistente de diseño de un perfil de acero se realiza de la siguiente manera:

$$N_{pl,Rd} = A f_y / \gamma_{M0}$$

6.2.3 Mínimo grado de conexión

El grado mínimo de conexión, η_{\min} , se calcula conforme a la norma EN 1994-1-1 § 6.6.1.2, de la siguiente manera:

$$\text{Si } L \leq 25 \text{ m: } \quad \eta_{\min} = 1 - (355/f_y) (0,75 - 0,03 L)$$

$$\text{Pero } \eta_{\min} \geq 0,4$$

$$\text{Sino: } \quad \eta_{\min} = 1$$

donde:

L es la luz en metros

f_y es límite elástico en N/mm²

6.2.4 Verificación del grado de conexión

En la sección de momento máximo, si el grado de conexión es inferior al grado mínimo de conexión ($\eta < \eta_{\min}$), la teoría plástica no es de aplicación (EN 1994-1-1 § 6.1.1 (7)). En este caso, debería aparecer el siguiente mensaje: “Grado de conexión insuficiente: la resistencia de la unión debe incrementarse”.

6.3 Resistencia de la sección

6.3.1 Aspectos generales

En una serie de puntos distribuidos a lo largo de la viga se calculan distintos criterios. Uno de ellos es la relación entre la fuerza y la resistencia. Por ello, la comprobación resulta satisfactoria cuando esta relación, denominada Γ , no sobrepasa la unidad:

$$\Gamma \leq 1,0 \quad \text{Comprobación OK}$$

6.3.2 Clasificación de la sección

Es preciso recordar que el campo de aplicación de estas especificaciones se limita al cálculo plástico de la sección transversal. Así, debería comprobarse que cada sección transversal es de clase 2 (o de clase 1).

La clase de la sección es el máximo entre la clase del ala comprimida (ala superior) y la clase del alma.

El límite de la esbeltez depende del parámetro del material ε , tal y como se define en el apartado 3 de esta guía.

El primer paso consiste en determinar la posición $y_{pl,a}$ de la fibra neutra plástica en el perfil de acero estructural, medida desde su parte inferior. Para calcular $y_{pl,a}$, consulte el apartado 6.3.7 donde no se tiene en cuenta la influencia del cortante (es decir, $\rho = 0$ en expresiones de $y_{pl,a}$).

Clase del ala superior comprimida

Si $y_{pl,a} > h - t_f$ El ala superior no está totalmente comprimida. Por lo que no será necesario clasificarla.

Para la clasificación, la esbeltez del ala se define como: $\lambda_f = 0,5 (b - t_w - 2 r)/t_f$

Si $\lambda_f \leq 10 \varepsilon$ El ala es clase 2 (o 1) (EN 1993-1-1 Tabla 5.2).

Cuando $\lambda_f > 10 \varepsilon$, se tendrán que cumplir los siguientes requisitos para concluir que el ala es de clase 2 (EN 1994-1-1 § 5.5.2 (1) y § 6.6.5.5):

- En el caso de losas simples o para losas con chapas los con nervios paralelos al eje de la viga, el espacio longitudinal entre los conectores debe ser inferior a $22 \varepsilon t_f$.
- Para losas con chapas con nervios perpendiculares al eje de la viga, el espacio longitudinal entre los conectores debe ser inferior a $15 \varepsilon t_f$.
- El espacio longitudinal entre los conectores es inferior a seis veces el canto de la losa ($6 h_f$).
- El espacio longitudinal entre los conectores es inferior a 800 mm.
- La distancia de separación desde el borde del ala hasta la línea más cercana de conectores no es superior a $9 \varepsilon t_f$.

Clase del alma

Si $y_{pl,a} > h - t_f - r$ El alma está totalmente traccionada. Por lo tanto, no es necesario clasificarla.

Para la clasificación, la esbeltez del alma es: $\lambda_w = (h - 2t_f - 2r)/t_w$

La parte comprimida del alma se calcula a partir de la relación α :

$$\alpha = \frac{h - t_f - r - y_{pl,a}}{h - 2t_f - 2r}$$

Aquí, la relación α se supone inferior a 0,5.

Si $\lambda_w \leq \frac{456\varepsilon}{13\alpha - 1}$ El alma será clase 2 (o 1).

6.3.3 Resistencia a cortante

La resistencia a cortante de la sección se calcula conforme a la norma EN 1993-1-1 § 6.2.6., ignorándose la contribución de la losa de hormigón.

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{v,z} f_y}{\sqrt{3} \gamma_{M0}}$$

El criterio se calcula mediante la siguiente expresión:

$$\Gamma_V = \frac{|V_{Ed}|}{V_{pl,Rd}}$$

6.3.4 Resistencia a pandeo por cortante

Cuando la esbeltez del alma h_w/t_w es superior a $72\varepsilon/\eta$, la resistencia al pandeo por cortante $V_{bw,Rd}$ se calcula de acuerdo a lo especificado en la norma EN 1993-1-5 § 5.2, siguiendo las siguientes premisas:

- Sólo se tiene en cuenta la contribución del alma
- Los apoyos no son rígidos

Por lo tanto, la resistencia de cálculo al pandeo por cortante se obtendrá mediante la siguiente expresión:

$$V_{bw,Rd} = \frac{\chi_w h_w t_w f_{yw}}{\sqrt{3} \gamma_{M1}}$$

donde:

h_w es la altura del alma: $h_w = h - 2 t_f$

χ_w es el coeficiente de reducción del pandeo por cortante, que depende de la esbeltez del alma $\bar{\lambda}_w$

La esbeltez del alma es:

$$\bar{\lambda}_w = \frac{h_w}{37,4 t_w \varepsilon_w \sqrt{k_\tau}}$$

donde:

$$\varepsilon_w = \sqrt{235 / f_{yw}}$$

$$k_\tau = 5,34$$

El coeficiente de reducción χ_w se calcula mediante la siguiente expresión:

Si $\bar{\lambda}_w < 0,83/\eta$: $\chi_w = \eta$

Sino $\chi_w = 0,83/\bar{\lambda}_w$

Seguidamente se comprueba utilizando la siguiente expresión:

$$\Gamma_{Vb} = \frac{|V_{Ed}|}{V_{bw,Rd}}$$

6.3.5 Resistencia a flexión

La resistencia a flexión M_{Rd} de una sección se calcula según lo indicado en el apartado 6.3.7, suponiendo que el parámetro ρ equivale a 0, es decir, que no influye el cortante. Posteriormente se comprueba mediante la siguiente expresión:

$$\Gamma_M = \frac{|M_{Ed}|}{M_{Rd}}$$

6.3.6 Interacción M-V

Cuando la esbeltez del alma h_w/t_w es superior a $72\varepsilon/\eta$, el criterio de pandeo por cortante Γ_{bw} se calcula según lo especificado en el apartado 6.3.4. Cuando el criterio es superior a 0,5, se deberá tener en cuenta la interacción M-V. El criterio de interacción es:

$$\Gamma_{MV} = \frac{|M_{Ed}|}{M_{V,Rd}}$$

La resistencia a flexión $M_{V,Rd}$ se calcula conforme al apartado 6.3.7 extrayendo el parámetro ρ de la siguiente expresión:

$$\rho = \left(\frac{2V_{Ed}}{V_{bw,Rd}} - 1 \right)^2$$

Cuando no sea necesario considerar el pandeo por cortante, $V_{bw,Rd}$, este se deberá sustituir por $V_{pl,Rd}$. Si el criterio de cortante Γ_V es superior a 0,5, será necesario considerar la interacción Momento-Cortante y calcular $M_{V,Rd}$ según lo indicado en el apartado 6.3.7. Para obtener el valor del parámetro ρ , se utiliza la siguiente expresión:

$$\rho = \left(\frac{2V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} - 1 \right)^2$$

6.3.7 Expresión general de la resistencia a flexión

El siguiente procedimiento permite al usuario calcular el momento flector resistente, incluyendo la reducción originada por el cortante. Cuando el efecto del cortante pueda ignorarse, el parámetro ρ se supone equivalente a 0.

En la Figura 6.1 Distribución de las tensiones de plastificación con unión parcial se muestra la distribución del esfuerzo plástico.

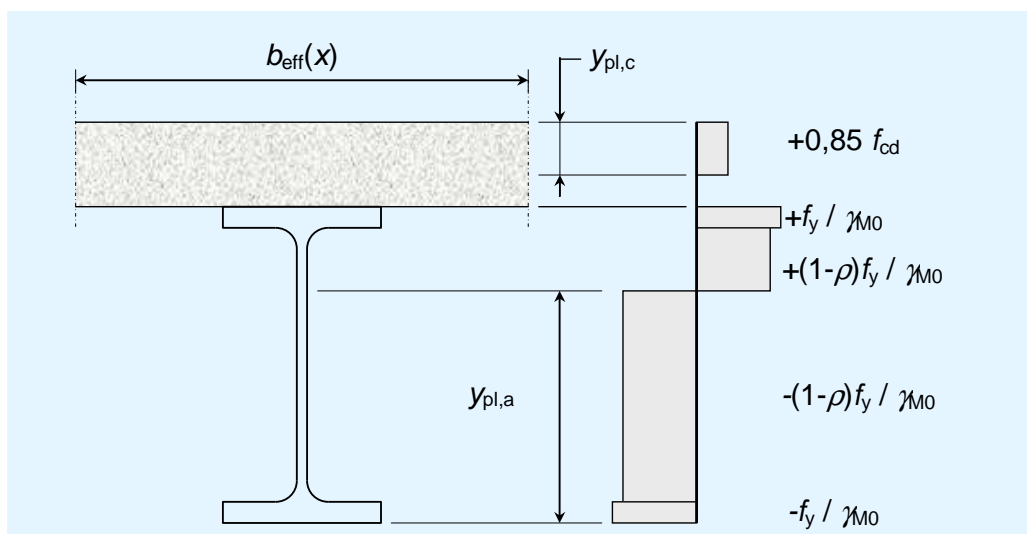


Figura 6.1 Distribución de las tensiones de plastificación con unión parcial

Contribución de la losa de hormigón

En cada punto de cálculo situado en la abscisa x , la resistencia a flexión depende de la resistencia a cortante de la conexión F_{sc} , determinada según lo indicado en la § 6.2.2. La posición de la fibra neutra plástica en la losa se obtiene mediante la siguiente expresión (véase Figura 6.1):

$$y_{pl,c} = \frac{\text{Min}(N_{pl,V,Rd}; F_{sc})}{b_{eff}(x) \times 0,85 f_{cd}}$$

Pero: $y_{pl,c} \leq h_f - h_p$

para una losa simple: $h_p = 0$

$N_{pl,V,Rd}$ es la resistencia plástica al axil en el perfil de acero, reducida por el efecto del cortante:

$$N_{pl,V,Rd} = [A - \rho((h - 2 t_f) t_w + (4 - \pi)r^2)] f_y / \gamma_{M0}$$

Por ello, la fuerza de compresión resultante en la losa de hormigón es:

$$N_c = y_{pl,c} b_{eff}(x) \times 0,85 f_{cd}$$

Se aplica en $y_{pl,c}/2$ desde la parte superior de la losa.

Posición la fibra neutra plástica en el perfil de acero

Se debe calcular la fibra neutra plástica en el perfil. Puede situarse en una de las siguientes tres partes de la sección transversal:

1. En el alma si: $N_c \leq N_{pl,1}$
con: $N_{pl,1} = (h - 2 t_f - 2 c) t_w (1 - \rho) f_y / \gamma_{M0}$

$$y_{pl,a} = \frac{1}{2} \left(h + \frac{N_c}{t_w (1 - \rho) f_y / \gamma_{M0}} \right)$$

2. En los cordones si: $N_{pl,1} < N_c \leq N_{pl,2}$
con: $N_{pl,2} = (A - 2 b t_f) (1 - \rho) f_y / \gamma_{M0}$

$$y_{pl,a} = h - t_f - c + \frac{1}{2} \left\{ \sqrt{t_w^2 - 4 \left[t_w \left(\frac{h}{2} - t_f - c \right) - \frac{N_c}{2(1 - \rho) f_y / \gamma_{M0}} \right]} - t_w \right\}$$

3. En el ala superior si: $N_{pl,2} < N_c \leq N_{pl,V,Rd}$

$$y_{pl,a} = h - \frac{N_{pl,V,Rd} - N_c}{2 b f_y / \gamma_{M0}}$$

donde:

$$c = r \times \sqrt{2 - \pi} / 2$$

Momento plástico

En función de la posición de la fibra neutra plástica, la expresión del momento plástico se calculará conforme a las siguientes expresiones.

1. En el alma:

$$M_{Rd} = \left[(1-\rho)W_{pl,y} + b_f t_f (h-t_f) \rho - \left(\frac{N_c}{t_w (1-\rho) f_y / \gamma_{M0}} \right)^2 \frac{(1-\rho)t_w}{4} \right] \frac{f_y}{\gamma_{M0}} + M_{slab}$$

2. En los cordones:

$$M_{Rd} = \left[(1-\rho)W_{pl,y} + b_f t_f (h-t_f) \rho - \left(\frac{N_c}{t_w (1-\rho) f_y / \gamma_{M0}} \right)^2 \frac{(1-\rho)t_w}{4} \right] \frac{f_y}{\gamma_{M0}} + M_{slab}$$

3. En el ala superior:

$$M_{Rd} = (h - y_{pl,a}) b y_{pl,a} \frac{f_y}{\gamma_{M0}} + M_{slab}$$

donde:

$$M_{slab} = N_c \left(h_f + \frac{h - y_{pl,c}}{2} \right)$$

6.4 Resistencia a la tensión tangencial

6.4.1 Armadura transversal mínima

Según la EN 1994-1-1 § 6.6.6.3, la armadura transversal mínima puede obtenerse a partir de la EN 1992-1-1 § 9.2.2(5):

$$\rho_{w,min} = \frac{0,08 \sqrt{f_{ck}}}{f_{yr,k}}$$

donde:

f_{ck} es el valor característico de la resistencia a compresión en N/mm^2

$f_{yr,k}$ es límite elástico de las armaduras en N/mm^2

6.4.2 Cálculo de la armadura transversal mínima

La armadura transversal mínima se obtiene mediante (EN 1992-1-1 § 6.2.4(4)) la siguiente expresión:

$$\frac{A_{sf} f_{yd}}{s_f} \geq \frac{v_{Ed} h_f}{\cot \theta_f}$$

donde:

A_{sf}/s_f es la cuantía de armadura transversal (por ejemplo, en cm^2/m)

f_{yd} es el valor del límite elástico de las armaduras:

$$f_{yd} = f_{yr,k} / \gamma_s$$

θ_f es el ángulo entre las bielas de compresión de hormigón y los tirantes de tracción. Esto se encuentra definido en el Anexo Nacional. Aquí se propone asumir lo siguiente: $\theta_f = 45^\circ$

v_{Ed} Valor de cálculo de la tensión tangencial:

$$v_{Ed} = \frac{\Delta F_d}{h_f \Delta x}$$

ΔF_d es la variación del axil de compresión en la losa de hormigón a lo largo de una distancia Δx entre dos secciones determinadas.

El cálculo se lleva a cabo en un segmento que esté cerca de cada extremo de la viga. Entonces:

$$\Delta F_d = (N_c - 0)/2 = N_c/2$$

N_c Se calcula siguiendo lo indicado en el apartado 6.3.7.

Para cargas uniformemente repartidas, el cálculo se lleva a cabo entre la sección de mitad de vano y el apoyo ($\Delta x = L/2$).

Para una viga sometida a cargas puntuales, el cálculo se realiza en un segmento entre la sección en la que se aplica la carga puntual y el apoyo más cercano.

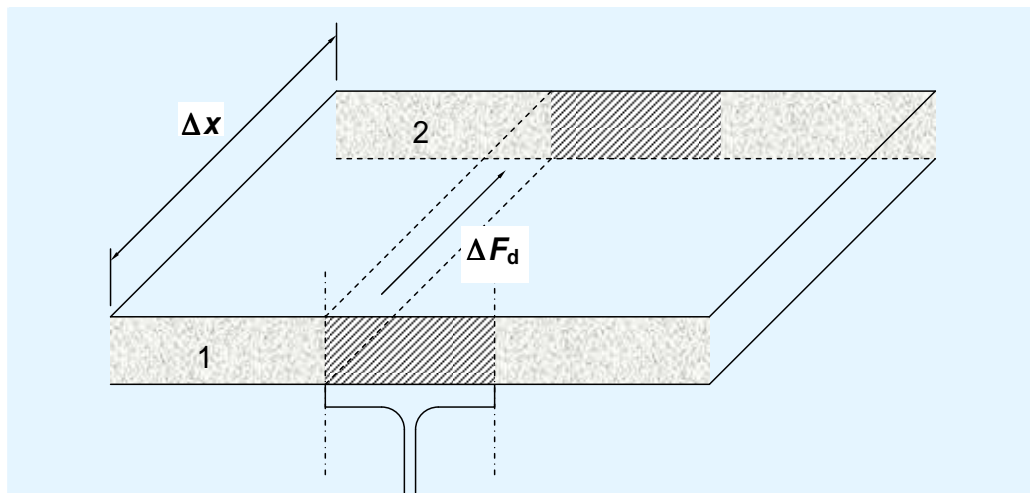


Figura 6.2 Determinación del ΔF_d

6.4.3 Resistencia del hormigón en las bielas de compresión

El criterio para calcular la resistencia del hormigón en las bielas de compresión se calcula mediante la siguiente expresión:

$$\Gamma_{vh} = \frac{v_{Ed}}{v f_{cd} \sin \theta_f \cos \theta_f}$$

Este criterio se calcula para cada segmento considerado en el apartado 0 para después obtener el valor máximo.

6.5 Estados límite de servicio

6.5.1 Aspectos generales

En edificios, para los estados límite de servicio, no existe ningún límite tensional. Los estados límite se basan en:

- Deformaciones: La flecha de la viga
- Vibraciones: La frecuencia natural de la viga derivada de las deformaciones.

6.5.2 Inercia de la viga mixta

La flecha se calcula a partir de la combinación de acciones considerada y la rigidez de la viga mixta. La rigidez depende del momento de inercia de la sección mixta que se determina mediante una relación modular n entre el acero y el hormigón.

Tal y como se indica en la EN 1994-1-1 § 5.4.2.2 (11), la flecha en edificios sometidos a cargas permanentes y acciones variables se calcula mediante la siguiente expresión:

$$n = 2 E_a / E_{cm}$$

Para calcular la frecuencia natural, la flecha tiene que calcularse mediante la relación modular a corto plazo:

$$n = E_a / E_{cm}$$

La posición de la fibra neutra elástica se calcula mediante la siguiente expresión:

$$y_{el} = \frac{Ah/2 + b_{eff}(h_f - h_p)[h + (h_f + h_p)/2]/n}{A + b_{eff}(h_f - h_p)/n}$$

El momento de inercia de la sección mixta se calcula mediante la siguiente expresión:

$$I_{eq} = I_y + \frac{b_{eff}(h_f - h_p)^3}{12 \times n} + A(y_{el} - h/2)^2 + \frac{b_{eff}(h_f - h_p)}{n} [h + (h_f + h_p)/2 - y_{el}]^2$$

Hay que tener en cuenta que:

b_{eff} es la anchura efectiva en el centro de vano.

Para una losa simple, $h_p = 0$.

6.5.3 Flecha

Aspectos generales

La flecha puede calcularse en las distintas secciones críticas de la viga para cada combinación de acciones considerada. Después puede obtenerse el valor máximo.

La flecha debería calcularse para cada caso de carga variable, Q_1 y Q_2 , y para cada combinación de acciones de ELS, ya sea característica o frecuente, en base a lo indicado en el Anexo Nacional.

Cuando la viga está totalmente apuntalada, durante la fase de construcción, la flecha bajo el propio peso (perfil de acero y hormigón) se calcula usando la acción mixta. Cuando una viga está sin apuntalar, esta flecha se calcula suponiendo que la losa de hormigón no resiste (sólo se tiene en cuenta el momento de inercia de perfil de acero): $I_{eq} = I_y$.

Flecha con una carga uniformemente repartida

La flecha w en la abscisa x , con una carga uniformemente repartida, denominada Q , se calcula mediante la siguiente expresión:

$$w(x) = \frac{QL^3}{24EI_{eq}} \left[\frac{x}{L} - 2\left(\frac{x}{L}\right)^3 + \left(\frac{x}{L}\right)^4 \right]$$

Flecha con una carga puntual

La flecha w de una sección situada en la abscisa x , con una carga puntual denominada F situada en x_F , se calcula mediante la siguiente expresión (véase Figura 4.1 Carga puntual aplicada en la viga):

$$w(x) = \frac{F}{6EI_{eq}L} \left[L^2 - (L - x_F)^2 - x^2 \right] (L - x_F)x \quad \text{if } x < x_F$$

$$w(x) = \frac{F}{6EI_{eq}L} \left[L^2 - (L - x)^2 - x_F^2 \right] (L - x)x_F \quad \text{if } x > x_F$$

6.5.4 Vibraciones

La frecuencia natural (en Hz) de la viga mixta puede calcularse a partir de las siguientes expresiones:

$$f = \frac{18,07}{\sqrt{w}} \quad \text{para una carga uniformemente repartida}$$

$$f = \frac{15,81}{\sqrt{w}} \quad \text{para una carga puntual en el centro de vano}$$

donde:

- w es la flecha, en milímetros, se calcula mediante la relación modular a corto plazo para una combinación de acciones incluyendo sólo un porcentaje de las sobrecargas. En función de lo estipulado en el Anexo Nacional, la combinación puede ser característica o frecuente.

7 LISTADO DE LOS PRINCIPALES RESULTADOS

La siguiente lista recoge los principales resultados de los cálculos:

Durante la fase de construcción:

- El momento flector máximo y su sección crítica
- El criterio máximo de resistencia a flexión ($I_{M,max}$)
- El cortante vertical máximo y su sección crítica
- El criterio máximo de resistencia a cortante ($I_{V,max}$)
- El criterio máximo de la resistencia al pandeo por cortante, cuando sea necesario ($I_{Vb,max}$)
- El criterio de la resistencia al pandeo lateral (I_{LT})
- La flecha máxima con el peso propio de la viga y sometida al el peso del hormigón
- La flecha máxima bajo las cargas de construcción

En la fase final:

- La anchura efectiva de la losa de hormigón
- La resistencia a cortante de los conectores
- El momento flector máximo y su sección crítica
- El cortante máximo y su sección crítica
- El grado de conexión
- El grado mínimo de conexión
- El criterio máximo de resistencia a cortante ($I_{V,max}$)
- El criterio máximo de resistencia al pandeo por cortante ($I_{Vb,max}$)
- El criterio máximo de resistencia a flexión ($I_{M,max}$)
- El criterio máximo de resistencia a flexión reducido por la influencia del cortante ($I_{MV,max}$)
- El criterio máximo para la resistencia de la tensión tangencial en la losa de hormigón ($I_{Vh,max}$)
- Cuantía de la armadura transversal
- La flecha máxima en cada caso de carga variable Q_1 y Q_2
- La flecha máxima en cada combinación de ELS
- La frecuencia natural en cada combinación de ELS

REFERENCIAS

- 1 EN 1994-1-1:2004 Eurocode 4 Design of composite steel and concrete structures. General rules and rules for buildings. (*Eurocodigo 4 – Cálculo de estructuras mixtas de acero y hormigón. Reglas Generales y reglas de edificación*)
- 2 EN 1990:2002 Eurocode Basis of structural design. (Eurocódigo – Bases de cálculo estructural)
- 3 EN 1993-1-1:2005 Eurocode 3 Design of steel structures. General rules and rules for buildings (*Eurocódigo 3 – Cálculo de estructuras de acero. Reglas generales y reglas de edificación*)
- 4 EN 1992-1-1:2004 Eurocode 2: Design of concrete structures. General rules and rules for buildings. (*Eurocódigo 2 – Cálculo de estructuras de hormigón. Reglas generales y reglas de edificación*)

APÉNDICE A DIAGRAMA DE FLUJO GLOBAL

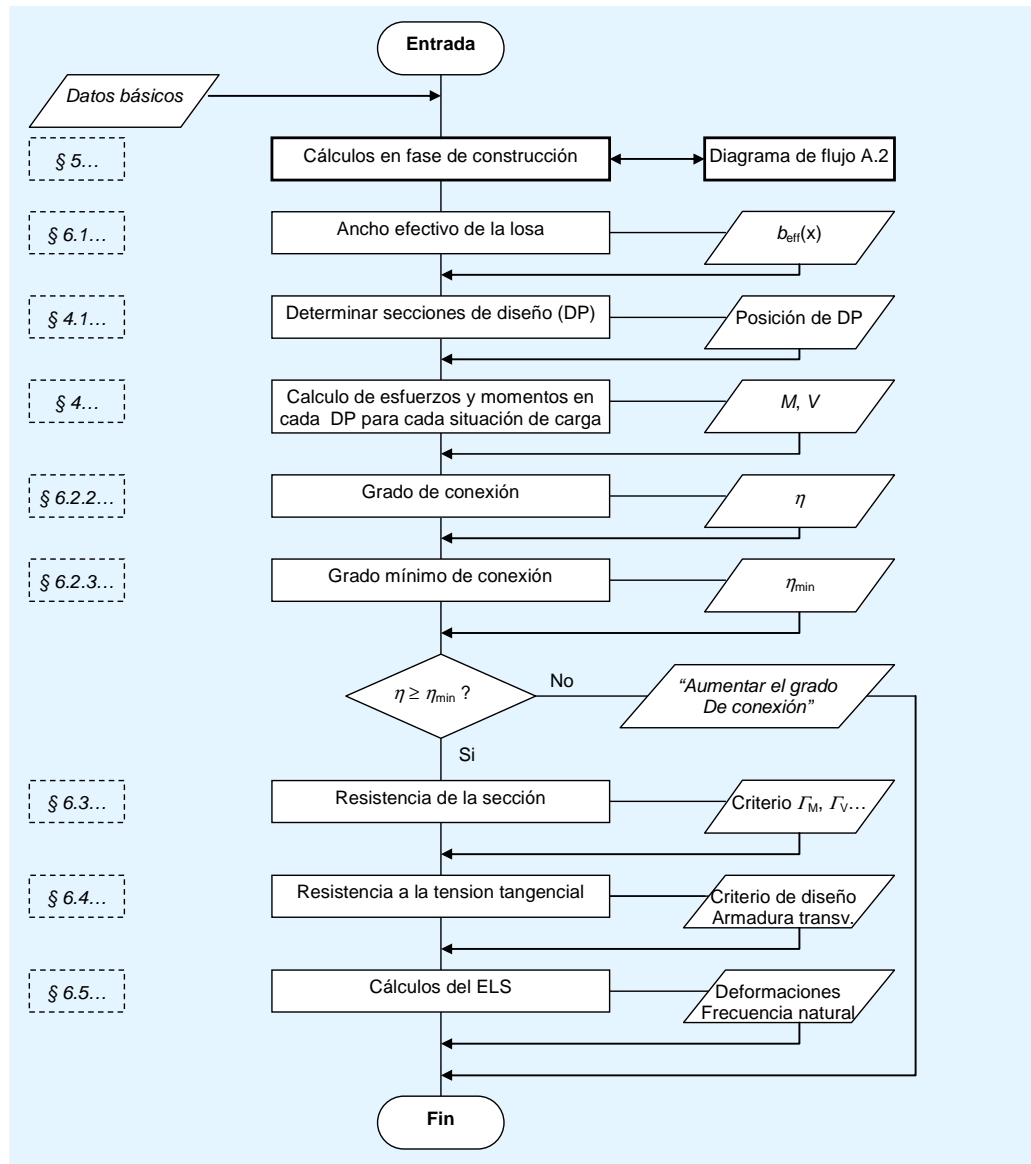


Figura A.1 Diagrama de flujo global de cálculos

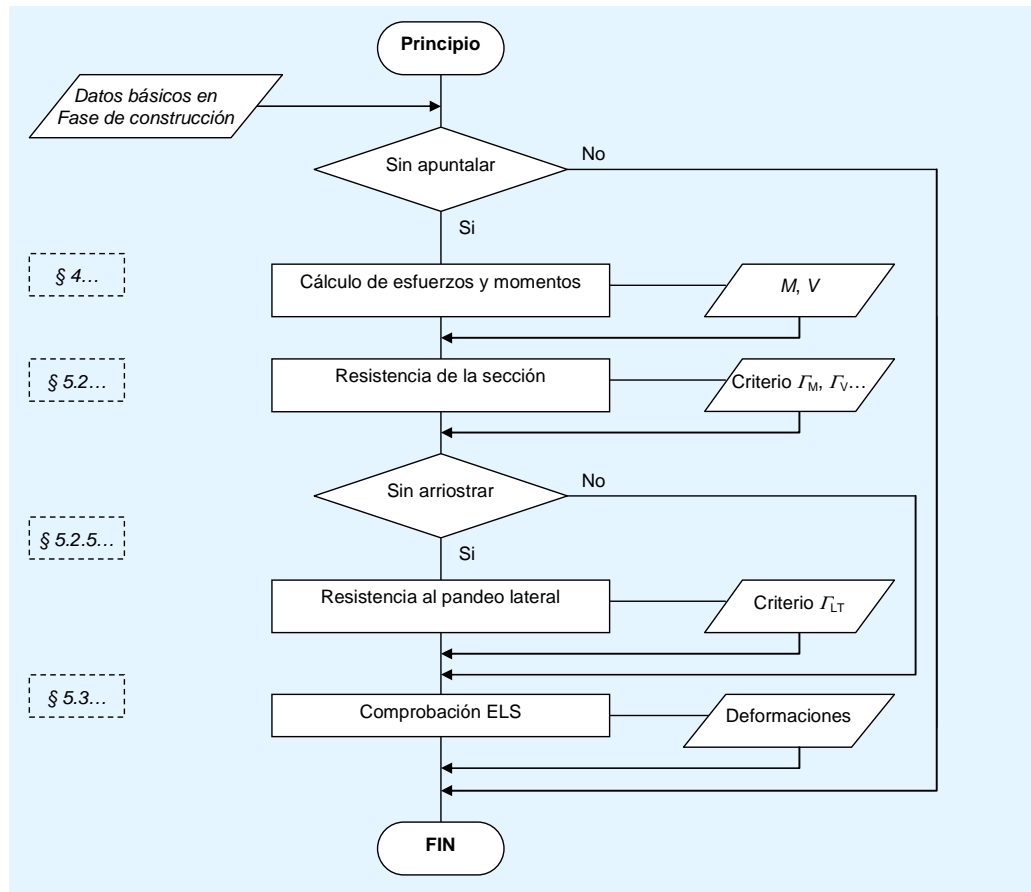


Figura A.2 Cálculos durante la fase de construcción