



ICNC: Reglas de diseño para aberturas en el alma de vigas

Esta ICNC describe las reglas de diseño para vigas con aberturas circulares y rectangulares en el alma. El método se aplica a vigas mixtas y vigas de acero.

Índice

1.	Introducción	2
2.	Diseño simple de aberturas aisladas	2
3.	Diseño detallado para aplicaciones generales	4
4.	Vigas específicas diseñadas por software	15
5.	Referencias	16



1. Introducción

En muchos edificios, con el fin de reducir la altura entre los forjados, las estructuras y los servicios situados debajo de los forjados están integrados, es decir, comparten la misma zona. Frecuentemente, en este tipo de construcción, se tienen aberturas de varios tamaños, ubicadas en el alma de las vigas que cuelgan. Estas aberturas pueden tener la forma de aberturas circulares regulares en las vigas aligeradas o aberturas rectangulares aisladas en vigas laminadas o armadas.

Esta ICNC describe tres enfoques en el diseño de las vigas con aberturas en el alma, en orden ascendente de detalle y complejidad.

2. Diseño simple de aberturas aisladas

2.1 Aberturas circulares

Aberturas sin reforzar

Se pueden hacer aberturas circulares sin reforzar en el alma de una viga, sin tener en cuenta el efecto de las aberturas en las propiedades de la sección, a condición de que:

- a) El elemento sea de clase 1 ó 2
- b) Las aberturas estén situadas en el tercio central del canto de la viga
- c) Las aberturas estén situadas en la línea central de la viga
- d) Las aberturas estén situadas en la mitad central del vano de la viga
- e) La separación de centro a centro de las aberturas adyacentes medidas paralelamente al eje del elemento no sea inferior a 2,5 veces el diámetro de la abertura mayor
- f) La distancia desde la línea central de cada abertura hasta el punto de carga más próximo no sea inferior al canto del elemento.
- g) La carga en el elemento esté uniformemente distribuida
- h) El esfuerzo cortante máximo en el elemento no supere el 50% de la capacidad a cortante de la sección transversal reducida.

2.2 Aberturas rectangulares

Las aberturas rectangulares aisladas se pueden colocar a lo largo de la viga, a condición de que la geometría y la separación de las aberturas cumplan los límites siguientes:

Es posible proporcionar un refuerzo del alma por encima y por debajo de las aberturas rectangulares para compensar la pérdida de resistencia a cortante. Este refuerzo se puede realizar después de la abertura, a una distancia tal que el esfuerzo a cortante local debido a la transferencia de fuerzas entre el refuerzo y el alma no sobrepase $f_y / (\sqrt{3} \gamma_{M0})$.

Aberturas sin reforzar

- El canto del alma por encima y por debajo debe cumplir los límites indicados en la Figura 2.1.
- El canto de la abertura no debe exceder $0,6 \times$ el canto de la viga.
- La longitud de la abertura no debe exceder $1,5 \times$ el canto de la abertura.
- La distancia entre los bordes de las aberturas debe ser como mínimo $1,5 \times$ la longitud de la abertura mayor.
- El esfuerzo a cortante en el área a cortante neta en las aberturas no debe ser superior a $f_y / (\sqrt{3} \gamma_{M0})$.
- Los esfuerzos en las secciones XX e YY en la Figura 2.1 bajo fuerzas axiales locales deben cumplir [EN 1993-1-1 §6.2.10](#). Al evaluar el esfuerzo a cortante y la flexión Vierendeel, no se debe considerar la contribución de la losa mixta.
- La distancia desde cualquier punto de la abertura hasta la carga puntual más próxima no debe ser menor que la mitad del canto del elemento (o proyección de 45° desde la parte superior de la viga).

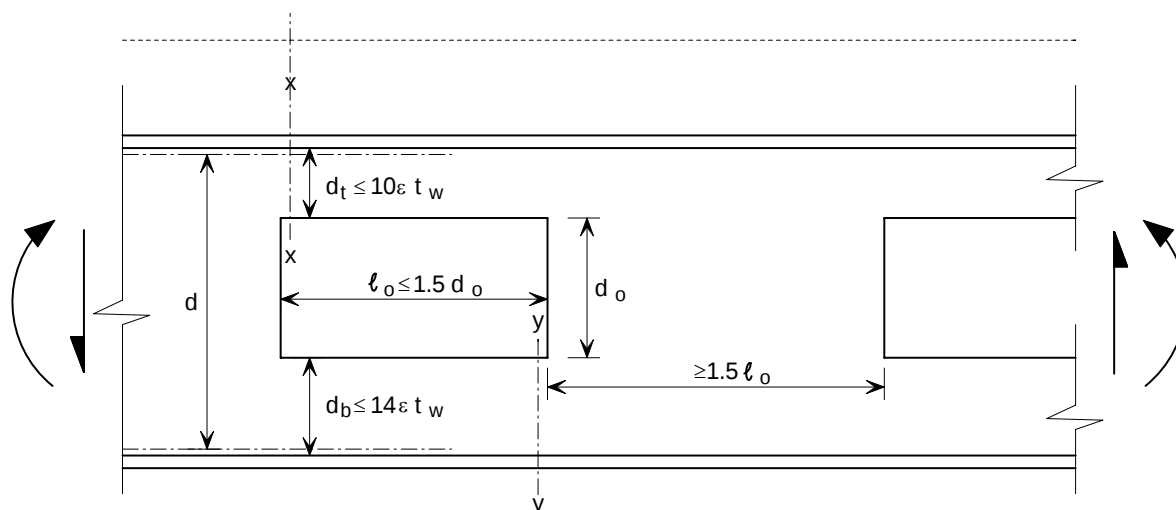


Figura 2.1 Proporciones de las aberturas no reforzadas

Aberturas reforzadas

- Las proporciones del refuerzo y la separación entre aberturas deben cumplir los requisitos de la Figura 2.2. La prolongación mínima de los rigidizadores situados después de la abertura debe ser por lo menos $20t_s$, donde t_s es el espesor del rigidizador.
- La línea central horizontal de la abertura debe estar situada a $d/10$ de la línea central longitudinal de la viga.
- El esfuerzo a cortante en el área a cortante neta en las aberturas no debe ser superior a $f_y / (\sqrt{3} \gamma_{M0})$.
- Los esfuerzos en las secciones UU e VV en la Figura 2.2 bajo fuerza axial local, la flexión Vierendeel y los esfuerzos a cortante deben cumplir [EN 1993-1-1 §6.2.10](#). Al evaluar el esfuerzo a cortante y la flexión Vierendeel, el esfuerzo a cortante

vertical se divide igualmente entre las piezas en T superior e inferior, y no se considera la contribución de la losa mixta.

- e) La distancia desde la línea central de cada abertura hasta el punto de carga más próximo no debe ser inferior al canto de la viga.

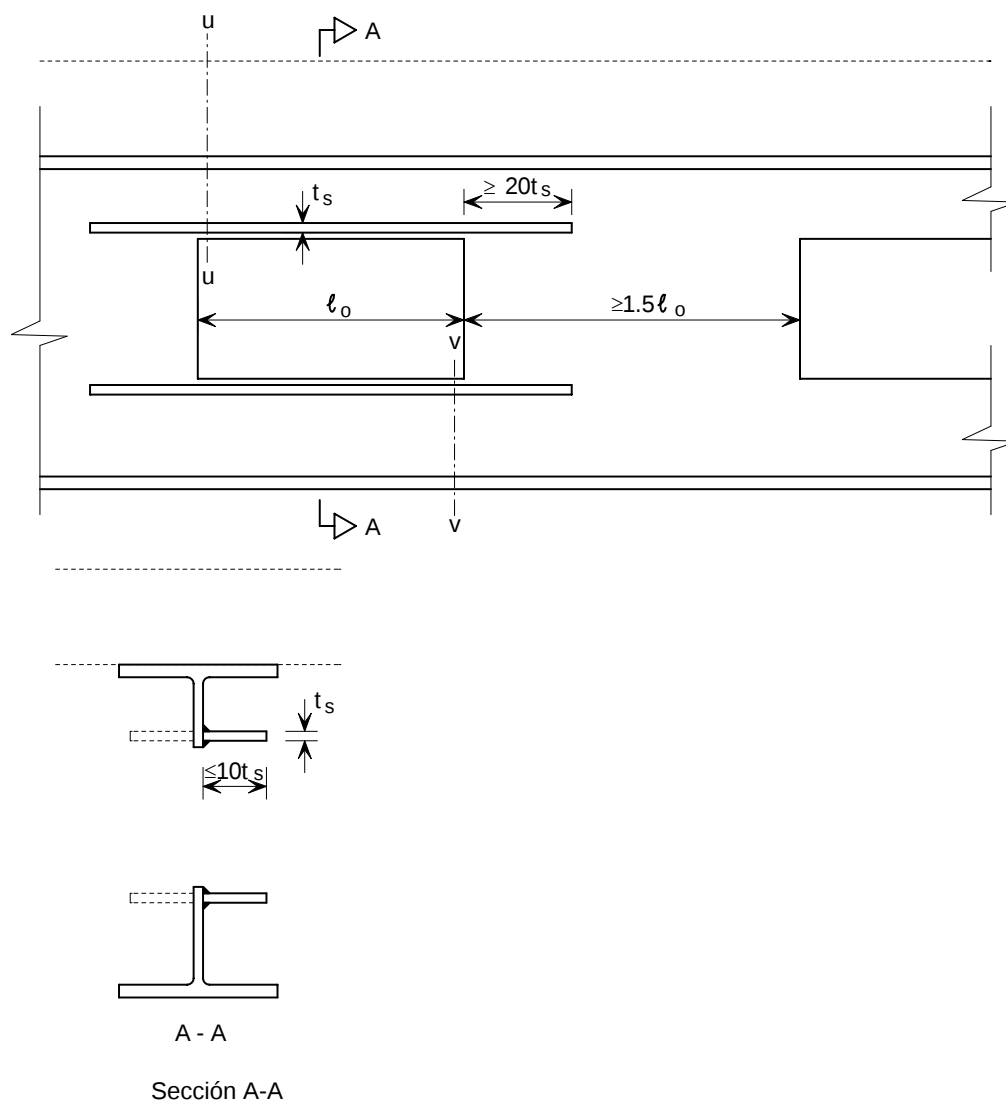


Figura 2.2 *Proporción de las aberturas reforzadas*

3. Diseño detallado para aplicaciones generales

El método de cálculo que se describe a continuación se basa en las recomendaciones dadas en [1], que forman parte del informe final sobre el proyecto RFCS *Aberturas de gran dimensión, ubicadas en el alma, para la incorporación de servicios en forjados mixtos*. El método se aplica a vigas mixtas y vigas de acero. Para la aplicación en vigas de acero, se debe ignorar la contribución de la losa de hormigón o la acción mixta. Las recomendaciones se aplican a las vigas aligeradas con aberturas circulares y a las vigas con aberturas rectangulares. El método también contempla las vigas con aberturas reforzadas.

3.1 Notaciones

A_b	área transversal de la sección en T inferior
A_f	área transversal del ala
A_s	área transversal del rigidizador horizontal
A_t	área transversal de la sección en T superior
A_w	área transversal del alma de la sección en T = $d_t t_{w,eff}$
b_f	anchura del ala de acero
d_o	canto (o diámetro) de la abertura
d_t	canto del alma de la sección en T superior
d_b	canto del alma de la sección en T inferior
e	excentricidad de la línea central de la abertura por encima de la línea central de la viga
e_s	distancia de desplazamiento del centro del rigidizador desde el borde del alma
f_{cd}	valor de cálculo de la resistencia de compresión del hormigón
f_y	límite elástico del acero
h	canto de la sección de acero
h_{eff}	canto efectivo de la sección de acero entre los centros de gravedad de las secciones en T
h_p	altura del chapa
h_s	canto de la losa
$h_{s,eff}$	canto efectivo hasta el centro de compresión de la losa
k_ℓ	factor de reducción debido a la longitud de la abertura
ℓ_e	longitud efectiva del alma para pandeo
ℓ_o	longitud de la abertura
$M(x)$	momento flector global en el punto x desde el apoyo adyacente
$M_{b,red}$	resistencia a flexión reducida de la sección en T inferior debido a la tracción axial
$M_{el,T,red}$	resistencia elástica reducida de la sección en T
M_h	momento que actúa sobre el alma
$M_{h,e}$	resistencia a flexión elástica del alma
$M_{c,e}$	momento desarrollado producido por la acción mixta local entre la sección en T superior y la losa en una longitud s
$M_{pl,T,red}$	resistencia plástica reducida de la sección en T



M_v	momento flector de Vierendeel
$M_{vc,Rd}$	resistencia a flexión de Vierendeel producida por la acción mixta local
n_{sc}	número de conectores a cortante entre el centro de las aberturas adyacentes
$n_{sc}(x)$	número de conectores a cortante desde el apoyo hasta el punto (x)
$n_{sc,o}$	número de conectores a cortante a lo largo de la longitud, ℓ_o
$N(x)$	tracción axial en la sección en T inferior en el punto (x)
$N_c(x)$	fuerza de compresión en la losa en el punto (x)
N_{el}	resistencia de compresión elástica de la sección en T, incluido el canto del alma que corresponde al límite de clase 3
N_{pl}	resistencia de compresión plástica de la sección en T, incluido el canto del alma que corresponde al límite de clase 2
P_d	resistencia de cálculo de una unión a cortante
r	radio de acuerdo de una sección laminada
s	separación centro a centro de abertura
s_o	separación borde a borde de aberturas
t_f	espesor del ala
t_{fb}	espesor del ala inferior
t_{ft}	espesor del ala superior
t_w	espesor del alma
t_{wb}	espesor del alma inferior
$t_{w,eff}$	espesor efectivo del alma
t_{wt}	espesor del alma superior
$V_{b,Rd}$	resistencia a cortante de cálculo de la sección en T inferior
$V_{c,Rd}$	resistencia a cortante de cálculo de la losa
V_{Ed}	cortante aplicado en la línea central de la abertura
V_h	cortante horizontal en el alma
$V_{h, eff}$	cortante horizontal efectivo debido a la combinación de momento y cortante
$V_{h, Rd}$	resistencia a cortante horizontal de cálculo en el alma
$V_{t,Rd}$	resistencia a cortante de cálculo de la sección en T superior
x	distancia desde el apoyo hasta el borde más próximo de la abertura
y_e, y_{et}, y_{eb}	distancia del eje neutro elástico de la sección en T por debajo del ala superior
y_p	distancia del eje neutro plástico de la sección en T por debajo del ala superior

δ_{add}	flecha adicional producida por aberturas simples
δ_b	flecha de flexión pura de la viga
ν_c	factor de eficiencia del hormigón agrietado según EN 1992-1-1
σ_c	tensión de compresión que actúa en el alma
$\sigma_{c, Rd}$	resistencia de compresión del alma

3.2 Clasificación de la sección

Las propiedades de la sección plástica se pueden utilizar para las secciones de clase 1 y 2.

Las propiedades elásticas se aplican para las secciones de clase 3 y 4.

Clasificación de alas

EN 1993-1-1 y EN 1994-1-1 se pueden utilizar para la clasificación de las alas. Para las vigas mixtas, el ala superior se puede considerar generalmente de clase 2, según su conexión mediante conectores a cortante en la losa.

Clasificación del alma de la sección en T

Las almas de las secciones en T se pueden clasificar de la forma siguiente:

Clase 2

$$\ell_o \leq 32t_w \varepsilon \quad \text{o} \quad d_t \leq \frac{10t_w \varepsilon}{\sqrt{1 - \left(\frac{32t_w \varepsilon}{\ell_o} \right)}} \quad (1)$$

Clase 3

$$\ell_o \leq 36t_w \varepsilon \quad \text{o} \quad d_t \leq \frac{14t_w \varepsilon}{\sqrt{1 - \left(\frac{36t_w \varepsilon}{\ell_o} \right)}} \quad (2)$$

Para la estabilidad del alma, la longitud efectiva ℓ_o de la abertura se puede considerar como la longitud real de las aberturas rectangulares, $0,7d_o$ para aberturas circulares y la longitud real disminuida $0,3d_o$ para aberturas alargadas.

Efecto de la tracción axial en la clasificación de secciones

La clasificación de secciones de una sección en T sin rigidizadores se modifica si la sección en T está sujeta a tracción.

Las almas de clase 3 se pueden considerar de clase 2 si:

$$\frac{N(x)}{A_b f_y} \geq 1 - \frac{20t_w^2 \varepsilon f_y}{A_b f_y} \quad (3)$$

Las almas de clase 4 se pueden considerar de clase 3 si:

$$d_b \leq \frac{14t_w \varepsilon'}{\sqrt{1 - (36t_w \varepsilon' / \ell_o)^2}} \quad (4)$$

y si

$$\ell_o > 36t_w \varepsilon'$$

donde

$$\varepsilon' = \frac{\varepsilon}{\sqrt{1 - N(x) / (A_b p_y)}}$$

3.3 Resistencia a cortante

Resistencia a cortante de las secciones en T

La resistencia a cortante de las secciones en T superior e inferior de secciones armadas de acero viene dada por:

$$V_{t,Rd} = d_t t_{wt} f_y / (\gamma_{M0} \sqrt{3}) \quad (5)$$

y

$$V_{b,Rd} = d_b t_{wb} f_y / (\gamma_{M0} \sqrt{3})$$

Para secciones de acero laminadas en caliente, la resistencia a cortante se calcula según:

$$V_{t,Rd} = 0,9[(2r + t_{wt}) / 2 + d_t t_{wt}] f_y / (\gamma_{M0} \sqrt{3}) \quad (6)$$

y

$$V_{b,Rd} = 0,9[(2r + t_{wb}) / 2 + d_t t_{wb}] f_y / (\gamma_{M0} \sqrt{3})$$

Resistencia a cortante del hormigón

La resistencia a cortante de la losa de hormigón se calcula considerando una anchura efectiva de tres veces el canto de la losa sumada a la anchura del ala de la viga.

$$V_{c,Rd} = (3h_s + b_f)(h_s - h_p) v_c \quad (7)$$

donde v_c es la resistencia a cortante del hormigón, teniendo en cuenta la armadura de la losa.

El valor de v_c se puede determinar de [EN1992-1-1 §6.2.2](#) utilizando el valor más alto de $V_{Rd,c}/b_w d$ que dan las expresiones (6.2a) y (6.2b). El valor depende de los parámetros indicados en el Anexo Nacional a EN1992-1-1.

Resistencia a cortante puro de la sección con abertura

$$V_{Ed} \leq V_{b,Rd} + V_{t,Rd} + V_{c,Rd} \quad (8)$$



Para la sección en T inferior, el esfuerzo cortante máximo se reduce a causa de la flexión de Vierendeel, y viene dada por:

$$V_b = 2M_{b,red}/\ell_o \leq V_{b,Rd} \quad (9)$$

La resistencia a flexión reducida de la sección en T inferior, $M_{b,red}$, se indica en la sección 3.5 como $M_{pl,T,red}$ o $M_{el,T,red}$.

Resistencia a cortante de secciones muy asimétricas

La resistencia a cortante de secciones muy asimétricas se basa en el equilibrio de las secciones en T superior e inferior. Para las zonas del alma entre aberturas estrechas, la resistencia a flexión viene dada por:

$$V_{Rd} = 2V_b/(1 + 2e/h_{eff}) + V_{c,Rd} \geq V_{Ed} \quad (10)$$

Para las zonas del alma entre aberturas más anchas, una solución aproximada de la resistencia viene dada por la ecuación (30).

Espesor efectivo del alma debido a cortante

$$t_{w,eff} = t_w \left(1 - (2p - 1)^2\right) \text{ for } p > 0,5 \quad (11)$$

o

$$t_{w,eff} = t_w \text{ for } p \leq 0,5$$

donde

$$p = V_{Ed}/(V_b + V_{t,Rd} + V_{c,Rd})$$

Pandeo por cortante

La resistencia al pandeo por cortante de una viga con aberturas en el alma se indica en [ENV 1993-1-1 Anexo N](#). La expresión (N.8a), que se aplica a aberturas rectangulares únicas, es incorrecta. El factor de reducción se debe calcular según

$$\left(1 - (h_o/d_w + 0,3\ell_o/d_w)\right) \quad (12)$$

Para un alma con un orificio rectangular único grande, esta expresión es demasiado conservadora, véase [2]. Para obtener la resistencia de una viga con una abertura rectangular grande en el alma, la resistencia al pandeo por cortante de un alma sin aberturas según EN 1993-1-5 debe multiplicarse por el factor de reducción [4].

$$\left(1 - \frac{\sqrt{d_o \ell_o}}{h_w}\right) \quad (13)$$

El método es lo suficientemente conservador para no requerir un cálculo adicional de la estabilidad del alma o flexión Vierendeel local. Para realizar cálculos más exactos, las secciones siguientes describen el procedimiento completo de cálculo.

3.4 Acción de flexión local

Compresión en la losa

La resistencia a flexión a una distancia x a lo largo de la viga depende del diseño de los conectores a cortante en esa posición. La fuerza de compresión en la losa viene dada por:

$$N_c(x) = n_{sc}(x) P_d \quad (14)$$

La fuerza de tracción en la sección en T inferior.

La fuerza de tracción en la sección en T inferior debida a la flexión global se calcula según:

Para unión parcial a cortante:

$$N(x) = \frac{M(x) - N_c(x) \left((h_s + h_p) / 2 + y_{et} \right)}{h - y_{et} - y_{eb}} \quad (15)$$

Para unión total a cortante:

$$N(x) \leq \frac{M(x)}{h + h_{s,eff} - y_{eb}} \quad (16)$$

Fuerza en la sección en T superior

La fuerza en la sección en T superior viene dada por la diferencia entre $N(x)$ y $N_c(x)$ que también debe cumplir:

$$|N(x) - N_c(x)| \leq A_t f_y \quad (17)$$

Diseño mínimo de la unión a cortante

El diseño mínimo del conector a cortante que debe obtenerse en cualquier posición, es tal que:

$$N_c(x) \geq 0,5N(x) \quad (18)$$

i.e. existen suficientes conectores a cortante entre cualquier abertura y el extremo de la viga para transferir al menos la mitad de la fuerza de compresión total a la losa.

No hay límite en el nivel de la unión a cortante en el área próxima a los apoyos, a condición de que el nivel mínimo de la unión a cortante se obtenga en el centro del vano. Los conectores a cortante en los últimos 300 mm se deben ignorar, debido a que los detalles de la unión en la fase de diseño de la viga son desconocidos.

3.5 Resistencia a flexión de las secciones en T

Resistencia plástica

$$M_{pl,T} = A_w f_y (d_t/2 + t_f - y_p) + A_f f_y (t_f/2 + y_p^2/t_f - y_p) + A_s f_y (d_t - e_s + t_f - y_p) \quad (19)$$

$$y_p = (A_f + A_w + A_s) \cdot t_f / (2A_f) \text{ for } A_s \leq A_f - A_w \quad (20)$$

Resistencia elástica

$$M_{el,T} = \frac{A_w f_y (d_t/2 + t_f - y_e)^2 + A_f f_y (y_e - t_f/2)^2 + A_s f_y (d_t - e_s + t_f - y_e)^2 + A_w f_y d_t^2/12}{(d_t + t_f - y_e)} \quad (21)$$

$$y_e = \frac{A_w (d_t/2 + t_f) + A_f t_f/2 + A_s (d_t - e_s + t_f)}{(A_w + A_f + A_s)} \quad (22)$$

Para garantizar que el alma sólida adyacente tiene la suficiente resistencia para soportar la fuerza transferida desde el rigidizador, el área transversal del rigidizador está limitada a un máximo de $0,5d_o t$.

Resistencia a flexión reducida debida a fuerza axial

Resistencia plástica de las secciones en T sin rigidizadores:

$$M_{pl,T,red} = M_{pl,T} \left(1 - (N/N_{pl})^2 \right) \quad (23)$$

Resistencia plástica de las secciones en T con rigidizadores:

$$M_{pl,T,red} = M_{pl,T} \left(1 - N/N_{pl} \right) \quad (24)$$

Resistencia elástica de las secciones en T con o sin rigidizadores:

$$M_{el,T,red} = M_{el,T} \left(1 - (N/N_{el})^2 \right) \quad (25)$$

3.6 Flexión Vierendeel

Longitud efectiva de la abertura

En la flexión Vierendeel, la longitud efectiva ℓ_o de la abertura puede considerarse la longitud real de las aberturas rectangulares, $0,5d_o$ para aberturas circulares y la separación centro a centro de las aberturas, s , incrementado $0,5d_o$ para aberturas alargadas.



Momento Vierendeel aplicado

El momento flector Vierendeel viene dado por:

$$M_v = V_{Ed} \ell_o \quad (26)$$

Acción mixta local

La resistencia a flexión Vierendeel debida a la acción mixta local de la losa con la sección en T superior viene dada por:

$$M_{vc, Rd} = n_{sc,o} P_d (y_{et} + h_{s,eff}) k_\ell \quad (27)$$

El factor de reducción viene dado por $k_\ell = [1 - \ell_o / (25h_t)]$ para aberturas sin rigidizador y por $k_\ell = [1 - \ell_o / (35h_t)]$ para aberturas rigidizadas. No se requiere reducción cuando ℓ_o es menor que cinco veces el canto de la sección en T superior.

La resistencia mixta local también está limitada por el posible fallo por arrancamiento de los conectores a cortante, lo que requiere límites adicionales:

$$M_{vc, Rd} \leq \ell_o P_d \quad \text{para conectores en una línea única} \quad (28)$$

$$M_{vc, Rd} \leq 1,5 \ell_o P_d \quad \text{para conectores en parejas} \quad (29)$$

Aberturas de separación amplia

La resistencia a flexión de Vierendeel se verifica por:

$$V_{Ed} \leq (2M_{b,red} + 2M_{t,red} + M_{vc}) / \ell_o \quad (30)$$

Aberturas de separación estrecha

En aberturas de separación estrecha, la resistencia a cortante viene influida por la resistencia a flexión del alma:

Aberturas circulares

$$V_{Ed} \leq \frac{(4M_{b,red} / \ell_o + 2M_{h,e} / s)}{1 + 2e / h_{eff}} + M_{c,s} / s \quad (31)$$

con

$$M_{h,e} = s_o^2 t_w f_y / 6 \quad (32)$$

$$M_{c,s} = n_{sc} P_d (y_{c,t} + h_{s,eff}) \quad (33)$$

$$h_{s,eff} = h_s - y_{et} - y_{eb} \quad (34)$$

El término $M_{c,s}/s$ no debe sobrepasar $V_{c,Rd}$.



Aberturas alargadas

Para el análisis de aberturas alargadas en vigas con aberturas circulares regulares con una separación s , el valor de $M_{h,e}$ debe ser el 67% del valor de la expresión (32) entre una abertura circular y una abertura alargada adyacente y el 50% del valor de la expresión (32) entre aberturas alargadas adyacentes.

Aberturas rectangulares

Para aberturas rectangulares de separación estrecha, la resistencia a cortante se reduce aún más por la flexión en la parte superior del alma:

$$V_{Ed} \leq \frac{(4M_{b,red}/\ell_o + 2M_{h,e}/s)}{1 + (2e + d_o)/h_{eff}} + M_{c,s}/s \quad (35)$$

El valor del término $M_{c,s}/s$ no debe sobrepasar $V_{c,Rd}$.

3.7 Resistencia del alma

Fuerza a cortante horizontal

La fuerza a cortante horizontal del alma se produce por las fuerzas longitudinales en la sección en T inferior, necesarias para resistir la flexión global. La fuerza a cortante horizontal V_h viene dada por:

Para unión parcial a cortante:

$$V_h = \Delta N = \frac{V_{Ed}s}{h_{eff}} - \frac{M_{c,s}}{s} \quad (36)$$

Para unión total a cortante:

$$V_h = \frac{V_{Ed}s}{h + h_{s,eff} - y_{eb}} \quad (37)$$

Resistencia a cortante horizontal

Si se considera el área a cortante del alma, la resistencia a cortante horizontal viene dada por:

$$V_{h,Rd} = s_o t_w f_y / \sqrt{3} \quad (38)$$

No es necesario comprobar el pandeo del alma si $d_o \leq 20t_w \varepsilon$ para aberturas circulares

Esfuerzo horizontal efectivo

El pandeo del alma se puede analizar considerando los esfuerzos de compresión debidos a una fuerza horizontal efectiva en el alma dada por:

$$V_{h,eff} = V_h - 2M_h/d_o \quad \text{en la sección en T inferior} \quad (39)$$

o

$$V_{h,eff} = V_h + 2M_h/d_o \quad \text{en la sección en T superior}$$

donde M_h es el momento necesario para obtener un equilibrio entre el esfuerzo cortante y las secciones en T superior e inferior.



El esfuerzo de compresión en el alma se calcula como

$$\sigma_c = V_{h,eff} / (s_o t_w) \quad (40)$$

para $s_o \leq d_o$ (aberturas circulares) o para $s_o \leq \ell_o$ (aberturas rectangulares)

La resistencia de compresión $\sigma_{c,Rd}$ se obtiene a partir de la curva de pandeo c en la [Figura 6.4 de EN1993-1-1 \[3\]](#), con la esbeltez efectiva $\bar{\lambda} = \sqrt{12}(\ell_e/t) \times (1/\lambda_1)$, donde λ_1 es según se define en EN1993-1-1. La longitud efectiva del alma viene dada por:

$$\ell_e = 0,5\sqrt{s_o^2 + d_o^2} \leq 0,7d_o \text{ para aberturas circulares} \quad (41)$$

$$\ell_e = 0,7\sqrt{s_o^2 + d_o^2} \leq d_o \text{ para aberturas rectangulares}$$

El pandeo del alma no se produce si

$$\sigma_c \leq \sigma_{c,Rd} \quad (42)$$

Solución más exacta para el pandeo del alma

$$V_{Ed} \leq \frac{(4M_{b,red}/\ell_o + \sigma_{c,Rd} t_w s_o)}{1 + (2e + d_o)/h_{eff}} + M_{c,s}/s \quad (43)$$

El valor del término $M_{c,s}/s$ no debe sobrepasar $V_{c,Rd}$.

Esto se aplica a aberturas rectangulares y, de forma conservadora, a aberturas circulares.

Aberturas de separación ancha

En aberturas de separación ancha, es posible ignorar los efectos de interacción entre pandeo y flexión del alma. Las aberturas se consideran como de separación ancha cuando su separación borde a borde sobrepasa d_o para aberturas circulares y ℓ_o para aberturas alargadas. Para aberturas de separación amplia, el esfuerzo de compresión se puede considerar como el esfuerzo cortante vertical mayor en la sección en T superior o inferior que actúa sobre una anchura efectiva de $d_o/2$. El uso del mayor esfuerzo cortante tiene en cuenta la asimetría de la sección.

$$\sigma_c = \frac{V_t}{0,5d_o t_{wt}} \geq \frac{V_b}{0,5d_o t_{wb}} \quad (44)$$

La anchura efectiva del alma se considera como $0,7 d_o$ para aberturas circulares o alargadas, y d_o para aberturas rectangulares.

Flexión del alma para aberturas rectangulares

A condición de que $M_h \leq M_{h,e}$, no es necesario realizar una verificación adicional de la flexión del alma para aberturas circulares o alargadas. Para aberturas rectangulares o cuadradas, la resistencia a flexión en la parte superior o inferior debe satisfacer

$$V_{h,eff} d_o / 2 \leq M_{h,e} \quad (45)$$



$M_{h,e}$ se proporciona en la ecuación (32).

3.8 Flecha

Flecha adicional

La flecha adicional debida a una sola abertura en la posición x viene dada aproximadamente por:

$$\frac{\delta_{\text{add}}}{\delta_b} = k_o \left(\frac{\ell_o}{L} \right) \left(\frac{d_o}{L} \right) \left(1 - \frac{x}{L} \right) \text{ for } x \leq 0,5L \quad (46)$$

El coeficiente k_o viene dado por:

$$k_o = 1,0 \text{ para aberturas rigidizadas, viga mixta} \quad (47)$$

$$k_o = 1,5 \text{ para aberturas sin rigidizar, viga mixta}$$

$$k_o = 1,5 \text{ para aberturas rigidizadas, viga de acero}$$

$$k_o = 2,0 \text{ para aberturas sin rigidizar, viga de acero}$$

Para aberturas circulares $\ell_o = 0,5d_o$.

Para aberturas múltiples de tamaño similar, la flecha adicional viene dada por:

$$\frac{\delta_{\text{add}}}{\delta_b} = 0,5N_o k_o \left(\frac{\ell_o}{L} \right) \left(\frac{d_o}{L} \right) \quad (48)$$

donde N_o es el número total de aberturas a lo largo de la viga.

4. Vigas específicas diseñadas por software

El importante mercado de vigas con múltiples aberturas en el alma ha llevado a la creación de productos específicos. Estos productos vienen respaldados por software específico.

Las páginas web indicadas a continuación ofrecen información sobre estos productos, así como acceso al software.

- ☐ www.asc.arcelor.com/EN/software/cellularbeams/default.cfm
- ☐ www.fabsec.co.uk
- ☐ www.westok.co.uk



5. Referencias

- 1 Diseño de vigas mixtas con aberturas grandes (RT959), Informe SCI sin publicar Ascot, 2004
- 2 Aberturas grandes en el alma para integraciones de servicios en forjados mixtos, Informe final. Referencia de proyecto RFCS 7210-PR-315.
- 3 EN 1993-1-1 Proyecto de estructuras de acero. Reglas generales y reglas para edificios.
- 4 EN 1993-1-5 Proyecto de estructuras de acero. Placas planas cargadas en su plano.

.



Registro de Calidad

TÍTULO DEL RECURSO	ICNC: Reglas de diseño para aberturas en el alma de vigas		
Referencias(s)			
DOCUMENTO ORIGINAL			
	Nombre	Compañía	Fecha
Creado por	Emma Unosson	SBI	
Contenido técnico revisado por	Bernt Johansson	Bernt Johansson, AB	
Contenido editorial revisado por			
Contenido técnico respaldado por los siguientes socios de STEEL:			
1. Reino Unido	G W Owens	SCI	23/05/06
2. Francia	A Bureau	CTICM	23/05/06
3. Suecia	B Uppfeldt	SBI	23/05/06
4. Alemania	C Müller	RWTH	23/05/06
5. España	J Chica	Labein	23/05/06
Recurso aprobado por el Coordinador técnico	G W Owens	SCI	16/01/06
DOCUMENTO TRADUCIDO			
Traducción realizada y revisada por:		eTeams International Ltd.	08/08/06
Recurso de traducción aprobado por:	J Chica	Labein	06/11/06