

Ecuaciones para la Tabla C3.4-1:

$$t^2 k C_3 C_4 C_9 C_\theta [331 - 0,61(h/t)] [1 + 0,01(N/t)]^* \quad (\text{Ec. C3.4-1})$$

$$t^2 k C_3 C_4 C_9 C_\theta [217 - 0,28(h/t)] [1 + 0,01(N/t)]^* \quad (\text{Ec. C3.4-2})$$

Cuando  $N/t > 60$ , el factor  $[1 + 0,01(N/t)]$  se puede incrementar a  $[0,71 + 0,015(N/t)]$

$$t^2 F_y C_6 (10,0 + 1,25\sqrt{N/t}) \quad (\text{Ec. C3.4-3})$$

$$t^2 k C_1 C_2 C_9 C_\theta [538 - 0,74(h/t)] [1 + 0,007(N/t)] \quad (\text{Ec. C3.4-4})$$

Cuando  $N/t > 60$ , el factor  $[1 + 0,007(N/t)]$  se puede incrementar a  $[0,75 + 0,011(N/t)]$

$$t^2 F_y C_5 (0,88 + 0,12m) (15,0 + 3,25\sqrt{N/t}) \quad (\text{Ec. C3.4-5})$$

$$t^2 k C_3 C_4 C_9 C_\theta [244 - 0,57(h/t)] [1 + 0,01(N/t)]^* \quad (\text{Ec. C3.4-6})$$

$$t^2 F_y C_8 (0,64 + 0,31m) (10,0 + 1,25\sqrt{N/t}) \quad (\text{Ec. C3.4-7})$$

$$t^2 k C_1 C_2 C_9 C_\theta [771 - 2,26(h/t)] [1 + 0,0013(N/t)] \quad (\text{Ec. C3.4-8})$$

$$t^2 F_y C_7 (0,82 + 0,15m) (15,0 + 3,25\sqrt{N/t}) \quad (\text{Ec. C3.4-9})$$

En las ecuaciones anteriores:

$P_n$  = Resistencia nominal para carga concentrada o reacción por alma, kips (N)

$$C_1 = 1,22 - 0,22k \quad (\text{Ec. C3.4-10})$$

$$C_2 = 1,06 - 0,06R/t \leq 1,0 \quad (\text{Ec. C3.4-11})$$

$$C_3 = 1,33 - 0,33k \quad (\text{Ec. C3.4-12})$$

$$C_4 = 1,15 - 0,15R/t \leq 1,0 \text{ pero no menos de } 0,50 \quad (\text{Ec. C3.4-13})$$

$$C_5 = 1,49 - 0,53k \geq 0,6 \quad (\text{Ec. C3.4-14})$$

$$C_6 = 1 + \left( \frac{h/t}{750} \right) \text{ cuando } h/t \leq 150 \quad (\text{Ec. C3.4-15})$$

$$= 1,20 \text{ cuando } h/t > 150 \quad (\text{Ec. C3.4-16})$$

$$C_7 = 1/k \text{ cuando } h/t \leq 66,5 \quad (\text{Ec. C3.4-17})$$

$$= \left[ 1,10 - \left( \frac{h/t}{655} \right) \right] \frac{1}{k} \text{ cuando } h/t > 66,5 \quad (\text{Ec. C3.4-18})$$

$$C_8 = \left[ 0,98 - \left( \frac{h/t}{865} \right) \right] \frac{1}{k} \quad (\text{Ec. C3.4-19})$$

$C_9$  = 1,0 para unidades norteamericanas, kips y pulgadas

= 6,9 para unidades métricas, N y mm

$$C_\theta = 0,7 + 0,3(\theta/90)^2 \quad (\text{Ec. C3.4-20})$$

$F_y$  = Tensión de fluencia de cálculo del alma, ver Sección A7.1, ksi (MPa)

$h$  = Profundidad de la porción plana del alma medida a lo largo del plano de la misma, in. (mm)

$$k = 894 F_y / E \quad (\text{Ec. C3.4-21})$$

$$m = t/0,075 \text{ cuando } t \text{ se expresa en pulgadas} \quad (\text{Ec. C3.4-22})$$

$$m = t/1,91 \text{ cuando } t \text{ se expresa en milímetros} \quad (\text{Ec. C3.4-23})$$

$t$  = Espesor del ala, in. (mm)

\* Cuando  $F_y \geq 66,5$  ksi (459 MPa), el valor de  $kC_3$  se debe tomar como 1,34

- N = Longitud de apoyo real, in. (mm). Para el caso de dos cargas concentradas iguales y opuestas distribuidas sobre longitudes de apoyo diferentes, se debe tomar el menor valor de N
- R = Radio interno de plegado
- $\theta$  = Ángulo entre el plano del alma y el plano de la superficie de apoyo  $\geq 45^\circ$ , pero no más de  $90^\circ$

### C3.5 Resistencia a la combinación de flexión y abolladura del alma

#### C3.5.1 Método ASD

Las almas planas no reforzadas de perfiles sometidos a una combinación de flexión y carga concentrada o reacción se deben diseñar de manera que cumplan con los siguientes requisitos:

- (a) Para perfiles que poseen almas simples no reforzadas:

$$1,2 \left( \frac{\Omega_w P}{P_n} \right) + \left( \frac{\Omega_b M}{M_{nxo}} \right) \leq 1,5 \quad (\text{Ec. C3.5.1-1})$$

Excepción: En los apoyos interiores de tramos continuos, esta ecuación no es aplicable para tableros o vigas con dos o más almas simples, siempre que los bordes comprimidos de almas adyacentes estén apoyados lateralmente en la región de momento negativo mediante elementos de las alas conectados de forma continua o intermitente, revestimientos rígidos o arriostamiento lateral, y la separación entre almas adyacentes no sea mayor que 10 pulgadas (254 mm).

- (b) Para perfiles que poseen múltiples almas no reforzadas, como los perfiles doble T compuestos por dos perfiles C conectados espalda contra espalda, o perfiles similares que proporcionan un elevado grado de restricción contra la rotación del alma (tales como los perfiles doble T fabricados soldando dos ángulos a un perfil C):

$$1,1 \left( \frac{\Omega_w P}{P_n} \right) + \left( \frac{\Omega_b M}{M_{nxo}} \right) \leq 1,5 \quad (\text{Ec. C3.5.1-2})$$

Excepción: En vez de la ecuación C3.5.1-2, cuando  $h/t \leq 2,33/\sqrt{F_y/E}$  y  $\lambda \leq 0,673$  estará permitido determinar la carga concentrada o reacción admisible utilizando  $\frac{P_n}{\Omega_w}$  de la Sección C3.4.

En las ecuaciones anteriores:

- P = Resistencia requerida para la carga concentrada o reacción en presencia de momento flector
- $P_n$  = Resistencia nominal para carga concentrada o reacción en ausencia de momento flector de terminada de acuerdo con la Sección C3.4
- M = Resistencia flexional requerida en el punto de aplicación de la carga concentrada o reacción, P, o inmediatamente adyacente al mismo
- $M_{nxo}$  = Resistencia nominal a la flexión respecto al eje x baricéntrico determinada de acuerdo con la Sección C3.1.1
- w = Ancho plano del ala de la viga que está en contacto con la placa de apoyo
- t = Espesor del alma o del ala
- $\lambda$  = Factor de esbeltez dado en la Sección B2.1

(c) Para el punto de apoyo de dos perfiles Z anidados:

$$\frac{M}{M_{no}} + \frac{P}{P_n} \leq \frac{1,67}{\Omega} \quad (\text{Ec. C3.5.1-3})$$

donde

M = Resistencia flexional requerida en la sección considerada

$M_{no}$  = Resistencia nominal a la flexión para los perfiles Z anidados, es decir, la sumatoria de las dos secciones evaluadas individualmente, determinada de acuerdo con la Sección C3.1.1

P = Resistencia requerida para la carga concentrada o reacción en presencia de momento flector

$P_n$  = Resistencia nominal a la abolladura del alma suponiendo alma simple y carga sobre un ala interior para los perfiles Z, es decir, la sumatoria de las dos almas evaluadas individualmente

$\Omega$  = Factor de seguridad para la combinación de flexión y abolladura del alma = 1,67

La ecuación anterior es válida para perfiles que satisfacen los siguientes límites:

$$h/t \leq 150$$

$$N/t \leq 140$$

$$F_y \leq 70 \text{ ksi (483 MPa)}$$

$$R/t \leq 5,5$$

Se deben satisfacer las siguientes condiciones:

- (1) Los extremos de cada sección deben estar conectados a la otra sección por medio de un mínimo de dos bulones A307 de ½ in. (12,7 mm) de diámetro que atraviesen el del alma.
- (2) La sección combinada debe estar conectada al apoyo por medio de un mínimo de dos bulones A307 de 1/2 in. (12,7 mm) de diámetro que atraviesen de las alas.
- (3) Las almas de las dos secciones deben estar en contacto.
- (4) La relación entre la parte más gruesa y la parte más delgada no debe ser mayor que 1,3.

### C3.5.2 Método LRFD

Las almas planas no reforzadas de perfiles sometidos a una combinación de flexión y carga concentrada o reacción se deben diseñar de manera que cumplan con los siguientes requisitos:

(a) Para perfiles que poseen almas simples no reforzadas:

$$1,07 \left( \frac{P_u}{\phi_w P_n} \right) + \left( \frac{M_u}{\phi_b M_{no}} \right) \leq 1,42 \quad (\text{Ec. C3.5.2-1})$$

Excepción: En los apoyos interiores de tramos continuos, la ecuación anterior no es aplicable para tableros o vigas con dos o más almas simples, siempre que los bordes comprimidos de almas adyacentes estén apoyados lateralmente en la región de momento negativo mediante elementos de las alas conectados de forma continua o intermitente, revestimientos rígidos o arriostramiento lateral, y la separación entre almas adyacentes no sea mayor que 10 pulgadas (254 mm).

(b) Para perfiles que poseen múltiples almas no reforzadas, como los perfiles doble T compuestos por dos perfiles C conectados espalda contra espalda, o perfiles

similares que proporcionan un elevado grado de restricción contra la rotación del alma (tales como las secciones doble T fabricadas soldando dos ángulos a un perfil C):

$$0,82 \left( \frac{P_u}{\phi_w P_n} \right) + \left( \frac{M_u}{\phi_b M_{nxo}} \right) \leq 1,32 \quad (\text{Ec. C3.5.2-2})$$

Excepción: En vez de la ecuación C3.5.2-2, cuando  $h/t \leq 2,33/\sqrt{F_y/E}$  y  $\lambda \leq 0,673$  estará permitido determinar la resistencia de cálculo para una carga concentrada o reacción utilizando  $\phi_w P_n$  de la Sección C3.4.

En las ecuaciones anteriores:

$\phi_b$  = Factor de resistencia para flexión (Ver Sección 3.1.1)

$\phi_w$  = Factor de resistencia para abolladura del alma (Ver Sección C3.4)

$P_u$  = Resistencia requerida para la carga concentrada o reacción en presencia de momento flector

$P_n$  = Resistencia nominal para carga concentrada o reacción en ausencia de momento flector de terminada de acuerdo con la Sección C3.4

$M_u$  = Resistencia flexional requerida en el punto de aplicación de la carga concentrada o reacción,  $P_u$ , o inmediatamente adyacente al mismo

$M_{nxo}$  = Resistencia nominal a la flexión respecto al eje x baricéntrico determinada de acuerdo con la Sección C3.1.1

w = Ancho plano del ala de la viga que está en contacto con la placa de apoyo

t = Espesor del alma o del ala

$\lambda$  = Factor de esbeltez dado en la Sección B2.1

(c) Para dos perfiles Z anidados:

$$\frac{M_u}{M_{no}} + \frac{P_u}{P_n} \leq 1,68\phi \quad (\text{Ec. C3.5.2-3})$$

donde

$M_u$  = Resistencia flexional requerida en la sección considerada

$M_{no}$  = Resistencia nominal a la flexión para los dos perfiles Z anidados, es decir, la sumatoria de los dos perfiles evaluados individualmente, determinada de acuerdo con la Sección C3.1.1

$P_u$  = Resistencia requerida para la carga concentrada o reacción en presencia de momento flector

$P_n$  = Resistencia nominal a la abolladura del alma suponiendo alma simple y carga sobre un ala interior para los perfiles Z, es decir, la sumatoria de las dos almas evaluadas individualmente

$\phi = 0,9$

La ecuación anterior es válida para perfiles que satisfacen los siguientes límites:

$h/t \leq 150$

$N/t \leq 140$

$F_y \leq 70 \text{ ksi (483 MPa)}$

$R/t \leq 5,5$

Se deben satisfacer las siguientes condiciones:

- (1) Los extremos de cada perfil deben estar conectados al otro perfil por un mínimo de dos bulones A307 de ½ in. (12,7 mm) de diámetro que atraviesen el alma.

- (2) La sección combinada debe estar conectada al apoyo por un mínimo de dos bulones A307 de 1/ in. (12,7 mm) de diámetro que atraviesen las alas.
- (3) Las almas de los dos perfiles deben estar en contacto.
- (4) La relación entre la parte más gruesa y la parte más delgada no debe ser mayor que 1,3.

#### C4 Miembros comprimidos con carga concéntrica

Esta sección se aplica a miembros en los cuales la resultante de todas las cargas que actúan sobre el miembro es una carga axial que pasa a través del baricentro de la sección efectiva calculada a la tensión,  $F_n$ , definida en esta sección.

- (a) La resistencia axial nominal,  $P_n$ , se debe calcular de la siguiente manera:

$$P_n = A_e F_n \quad (\text{Ec. C4-1})$$

$$\Omega_c = 1,80 (\text{ASD})$$

$$\phi_c = 0,85 (\text{LRFD})$$

donde

$A_e$  = Superficie efectiva a la tensión  $F_n$ . En el caso de secciones con perforaciones circulares,  $A_e$  se debe determinar de acuerdo con la Sección B2.2a, con sujeción a las limitaciones de dicha sección. Si el número de perforaciones en la región de la longitud efectiva multiplicado por el diámetro de la perforación dividido por la longitud efectiva no es mayor que 0,015;  $A_e$  se puede determinar ignorando las perforaciones

$F_n$  se determina de la siguiente manera:

$$\text{Para } \lambda_c \leq 1,5 \quad F_n = (0,658^{\lambda_c^2}) F_y \quad (\text{Ec. C4-2})$$

$$\text{Para } \lambda_c > 1,5 \quad F_n = \left[ \frac{0,877}{\lambda_c^2} \right] F_y \quad (\text{Ec. C4-3})$$

donde

$$\lambda_c = \sqrt{\frac{F_y}{F_e}} \quad (\text{Ec. C4-4})$$

$F_e$  = la menor de las tensiones de pandeo elástico flexional, torsional y torsional flexional determinadas de acuerdo con las Secciones C4.1 a C4.3.

- (b) Las secciones cargadas de forma concéntrica se deben diseñar para un momento flector adicional según lo especificado en las definiciones de  $M_x$ ,  $M_y$  (ASD) o  $M_{ux}$ ,  $M_{uy}$  (LRFD), Sección C5.2
- (c) Preferentemente la relación de esbeltez,  $KL/r$ , de todos los miembros comprimidos no debe ser mayor que 200, excepto que, exclusivamente durante la construcción,  $KL/r$  preferentemente no debe ser mayor que 300.

##### C4.1 Secciones no sometidas a pandeo torsional ni a pandeo torsional flexional

En el caso de secciones con simetría doble, secciones cerradas y cualquier otra sección que se pueda demostrar que no está sujeta a pandeo torsional ni a pandeo torsional flexional, la tensión de pandeo flexional elástico,  $F_e$ , se debe determinar de la siguiente manera:

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{(KL/r)^2} \quad (\text{Ec. C4.1-1})$$

donde

E = Módulo de elasticidad longitudinal

K = Factor de longitud efectiva\*

L = Longitud no arriostrada del miembro

r = Radio de giro de la sección transversal total no reducida

#### **C4.2 Secciones con simetría doble o simetría simple sometidas a pandeo torsional o a pandeo flexional torsional**

Para las secciones con simetría simple sometidas a pandeo torsional flexional,  $F_e$  se debe tomar como el menor valor entre  $F_e$  calculada de acuerdo con la Sección C4.1 y  $F_e$  calculada de la siguiente manera:

$$F_e = \frac{1}{2\beta} \left[ (\sigma_{ex} + \sigma_t) - \sqrt{(\sigma_{ex} + \sigma_t)^2 - 4\beta\sigma_{ex}\sigma_t} \right] \quad (\text{Ec. C4.2-1})$$

Alternativamente, se puede obtener una estimación conservadora de  $F_e$  utilizando la siguiente ecuación:

$$F_e = \frac{\sigma_t \sigma_{ex}}{\sigma_t + \sigma_{ex}} \quad (\text{Ec. C4.2-2})$$

donde  $\sigma_t$  y  $\sigma_{ex}$  corresponden a lo definido en la Sección C3.1.2:

$$\beta = 1 - (x_o / r_o)^2 \quad (\text{Ec. C4.2-3})$$

En las secciones con simetría simple se supone que el eje x es el eje de simetría.

En las secciones con simetría doble sujetas a pandeo torsional,  $F_e$  se debe tomar como el menor valor entre  $F_e$  calculada de acuerdo con la Sección C4.1 y  $F_e = \sigma_t$ , siendo  $\sigma_t$  como se define en la Sección C3.1.2.

#### **C4.3 Secciones no simétricas**

Para perfiles cuyas secciones transversales no presentan ningún tipo de simetría, ya sea con respecto a un eje o con respecto a un punto,  $F_e$  se debe determinar mediante un análisis racional. Alternativamente, los miembros comprimidos compuestos por este tipo de perfiles se pueden ensayar de acuerdo con el Capítulo F.

#### **C4.4 Miembros comprimidos que tienen un ala unida al tablero o revestimiento mediante sujetadores pasantes**

---

\* En los pórticos en los cuales la estabilidad lateral es provista por arriostramiento diagonal, muros de cortante, unión a una estructura adyacente que posee una estabilidad lateral adecuada, o losas de entrepiso o tableros de cubierta asegurados horizontalmente por medio de muros o sistemas de arriostramiento paralelos al plano del pórtico, y en las cerchas, el factor de longitud efectiva, K, para miembros comprimidos que no dependen de su propia rigidez a la flexión para la estabilidad del pórtico o cercha, se debe tomar igual a la unidad, a menos que un análisis demuestre que se justifica el uso de un valor menor. En un pórtico cuya estabilidad lateral depende de su propia rigidez flexional, la longitud efectiva, KL, de los miembros comprimidos se debe determinar aplicando un método racional y no debe ser menor que la longitud no arriostrada real.

Estos requisitos se aplican a perfiles C o Z con cargas concéntricas a lo largo de su eje longitudinal, con sólo una de las alas unida al tablero o revestimiento mediante sujetadores pasantes.

La resistencia axial nominal de los perfiles C o Z continuos o de un solo tramo se debe calcular de la siguiente manera:

(a) Para la resistencia nominal respecto al eje débil

$$P_n = C_1 C_2 C_3 A E / 29500 \text{ kips (Newtons)} \quad (\text{Ec. C4.4-1})$$

$$\Omega = 1,80 \text{ (ASD)}$$

$$\phi = 0,85 \text{ (LRFD)}$$

donde

$$C_1 = (0,79x + 0,54) \quad (\text{Ec. C4.4-2})$$

$$C_2 = (1,17t + 0,93) \text{ cuando } t \text{ se expresa en pulgadas} \quad (\text{Ec. C4.4-3})$$

$$C_2 = (0,046t + 0,93) \text{ cuando } t \text{ se expresa en milímetros} \quad (\text{Ec. C4.4-4})$$

$$C_3 = (2,5b - 1,63d + 22,8) \text{ cuando } b \text{ y } d \text{ se expresan en pulgadas} \quad (\text{Ec. C4.4-5})$$

$$C_3 = (0,0984b - 0,0642d + 22,8) \text{ cuando } b \text{ y } d \text{ se expresan en milímetros} \quad (\text{Ec. C4.4-6})$$

Para perfiles Z:

$x$  = Distancia entre el sujetador y el borde externo del alma dividido por el ancho del alma, como se ilustra en la Figura C4.4.

Para perfiles C:

$x$  = Ancho del ala menos la distancia entre el sujetador y el borde externo del alma dividido por el ancho del alma, como se ilustra en la Figura C4.4.

$t$  = espesor del perfil C o Z

$b$  = ancho de ala del perfil C o Z

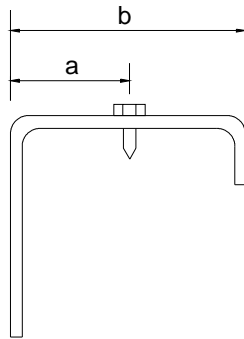
$d$  = profundidad del perfil C o Z

$A$  = Superficie de la sección transversal total, no reducida, del perfil C o Z

$E$  = Módulo de elasticidad longitudinal del acero

= 29.500 ksi en unidades estadounidenses

= 203.000 MPa en unidades del Sistema Internacional



$$\text{Para perfiles Z, } x = \frac{a}{b} \quad (\text{Ec. C4.4-7})$$

$$\text{Para perfiles C, } x = \frac{b-a}{b} \quad (\text{Ec. C4.4-8})$$

**Figura C4.4 Definición de  $x$**

La Ec. C4.4-1 se debe limitar a losas y cubiertas que cumplan las siguientes condiciones:

- (1)  $t$  no es mayor que 0,125 in. (3,22 mm)

- (2) 6 in. (152 mm)  $\leq d \leq$  12 in. (305 mm)
  - (3) Las alas son elementos comprimidos rigidizados en sus bordes
  - (4)  $70 \leq d/t \leq 170$
  - (5)  $2,8 \leq d/b < 5$
  - (6)  $16 \leq$  ancho plano del ala /  $t < 50$
  - (7) Ambas alas están impedidas de moverse lateralmente en los apoyos
  - (8) Cubierta o paneles de tabique de acero con sujetadores separados 12 pulgadas (305 mm) o menos entre sus centros y con una rigidez rotacional lateral mínima igual a 0,0015 k/in/in (10.300N/m/m) (sujetador a la mitad del ancho del ala) según lo determinado siguiendo el procedimiento de ensayo de la AISI\*
  - (9) Los perfiles C y Z tienen un límite de fluencia mínimo igual a 33 ksi (228 MPa)
  - (10) La longitud de los tramos no supera los 33 pies (10 m)
- (b) Para la resistencia nominal respecto al eje resistente se deben utilizar las ecuaciones contenidas en las Secciones C4 y C4.1 de la *Especificación*.

## C5 Combinación de carga axial y flexión

### C5.1 Combinación de tracción axial y flexión

#### C5.1.1 Método ASD

Las resistencias requeridas, T,  $M_x$  y  $M_y$ , deben satisfacer las siguientes ecuaciones de interacción:

$$\frac{\Omega_b M_{mx}}{M_{nxt}} + \frac{\Omega_b M_y}{M_{nyt}} + \frac{\Omega_t T}{T_n} \leq 1,0 \quad (\text{Ec. C5.1.1-1})$$

y

$$\frac{\Omega_b M_x}{M_{nx}} + \frac{\Omega_b M_y}{M_{ny}} - \frac{\Omega_t T}{T_n} \leq 1,0 \quad (\text{Ec. C5.1.1-2})$$

donde

T = Resistencia a la tracción axial requerida

$M_x, M_y$  = Resistencias flexionales requeridas respecto a los ejes baricéntricos de la sección

$T_n$  = Resistencia nominal a la tracción axial determinada de acuerdo con la Sección C2

$M_{nx}, M_{ny}$  = Resistencias nominales a la flexión respecto a los ejes baricéntricos determinadas de acuerdo con la Sección C3

$M_{nxt}, M_{nyt} = S_{ft} F_y$

$S_{ft}$  = Módulo resistente de la sección total para la fibra traccionada extrema respecto al eje correspondiente

$\Omega_b = 1,67$  para resistencia a la flexión (Sección C3.1.1) o para vigas sin arriostamiento lateral (Sección C3.1.2)

$\Omega_t = 1,67$

\* Se puede obtener más información sobre el procedimiento de ensayo en "Rotational-Lateral Stiffness Test Method for Beam-to-Panel Assemblies", Cold-Formed Steel Design Manual, Parte VIII.

### C5.1.2 Método LRFD

Las resistencias requeridas,  $T_u$ ,  $M_{ux}$  y  $M_{uy}$ , deben satisfacer las siguientes ecuaciones de interacción:

$$\frac{\Omega_b M_{ux}}{\phi_b M_{nxt}} + \frac{\Omega_b M_{uy}}{\phi_b M_{nyt}} + \frac{T_u}{\phi_t T_n} \leq 1,0 \quad (\text{Ec. C5.1.2-1})$$

$$\frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}} - \frac{T_u}{\phi_t T_n} \leq 1,0 \quad (\text{Ec. C5.1.2-2})$$

donde

$T_u$  = Resistencia a la tracción axial requerida

$M_{ux}$ ,  $M_{uy}$  = Resistencias flexionales requeridas respecto a los ejes baricéntricos de la sección

$T_n$  = Resistencia axial nominal determinada de acuerdo con la Sección C2

$M_{nx}$ ,  $M_{ny}$  = Resistencias nominales a la flexión respecto a los ejes baricéntricos determinadas de acuerdo con la Sección C3

$M_{nxt}$ ,  $M_{nyt}$  =  $S_{ft} F_y$

$S_{ft}$  = Módulo resistente de la sección total para la fibra traccionada extrema respecto al eje correspondiente

$\phi_b$  = 0,90 ó 0,95 para resistencia a la flexión (Sección C3.1.1) ó 0,90 para vigas sin arriostramiento lateral (Sección C3.1.2)

$\phi_t$  = 0,95

## C5.2 Combinación de compresión axial y flexión

### C5.2.1 Método ASD

Las resistencias requeridas,  $P$ ,  $M_x$  y  $M_y$ , deben satisfacer las siguientes ecuaciones de interacción:

$$\frac{\Omega_c P}{P_n} + \frac{\Omega_b C_{mx} M_x}{M_{nx} \alpha_x} + \frac{\Omega_b C_{my} M_y}{M_{ny} \alpha_y} \leq 1,0 \quad (\text{Ec. C5.2.1-1})$$

$$\frac{\Omega_c P}{P_{no}} + \frac{\Omega_b M_x}{M_{nx}} + \frac{\Omega_b M_y}{M_{ny}} \leq 1,0 \quad (\text{Ec. C5.2.1-2})$$

Cuando  $\Omega_c P/P_n \leq 0,15$  en vez de las dos ecuaciones anteriores se puede utilizar la siguiente ecuación:

$$\frac{\Omega_c P}{P_n} + \frac{\Omega_b M_x}{M_{nx}} + \frac{\Omega_b M_y}{M_{ny}} \leq 1,0 \quad (\text{Ec. C5.2.1-3})$$

donde

$P$  = Resistencia a la compresión axial requerida

$M_x$ ,  $M_y$  = Resistencias flexionales requeridas respecto a los ejes baricéntricos de la sección efectiva determinadas sólo para la resistencia a la compresión axial requerida. Para las secciones en ángulo,  $M_y$  se debe tomar ya sea como la resistencia flexional requerida o como la resistencia flexional requerida más  $PL/1000$ , el valor con el cual se obtenga un menor valor admisible para  $P$ .

- $P_n$  = Resistencia axial nominal determinada de acuerdo con la Sección C4  
 $P_{no}$  = Resistencia axial nominal determinada de acuerdo con la Sección C4,  
 con  $F_n = F_y$   
 $M_{nx}, M_{ny}$  = Resistencias flexionales nominales respecto a los ejes baricéntricos  
 determinadas de acuerdo con la Sección C3

$$\alpha_x = 1 - \frac{\Omega_c P}{P_{Ex}} \quad (\text{Ec. C5.2.1-4})$$

$$\alpha_y = 1 - \frac{\Omega_c P}{P_{Ey}} \quad (\text{Ec. C5.2.1-5})$$

$$P_{Ex} = \frac{\pi^2 EI_x}{(K_x L_x)^2} \quad (\text{Ec. C5.2.1-6})$$

$$P_{Ey} = \frac{\pi^2 EI_y}{(K_y L_y)^2} \quad (\text{Ec. C5.2.1-7})$$

$\Omega_b$  = 1,67 para resistencia a la flexión (Sección C3.1.1) o para vigas sin arriostramiento lateral (Sección C3.1.2)

$\Omega_c$  = 1,80

$I_x$  = Momento de inercia de la sección total, no reducida, respecto al eje x

$I_y$  = Momento de inercia de la sección total, no reducida, respecto al eje y

$L_x$  = Longitud no arriostrada real para flexión respecto al eje x

$L_y$  = Longitud no arriostrada real para flexión respecto al eje y

$K_x$  = Factor de longitud efectiva para pandeo respecto al eje x

$K_y$  = Factor de longitud efectiva para pandeo respecto al eje y

$C_{mx}, C_{my}$  = Coeficientes cuyos valores se deben tomar de la siguiente manera:

1. Para miembros comprimidos en pórticos sujetos a traslación conjunta (desplazamiento lateral)

$$C_m = 0,85$$

2. Para miembros comprimidos restringidos en pórticos arriostrados contra la traslación conjunta y no sujetos a cargas transversales entre sus apoyos en el plano de flexión

$$C_m = 0,6 - 0,4(M_1 / M_2) \quad (\text{Ec. C5.2.1-8})$$

donde

$M_1/M_2$  es la relación entre el menor y el mayor momento en los extremos de la porción de miembro analizado que no está arriostrado en el plano de flexión.  $M_1/M_2$  es positivo cuando el miembro se flexiona con curvatura inversa y negativo cuando se flexiona con curvatura simple.

3. Para miembros comprimidos en pórticos arriostrados contra la traslación conjunta en el plano de carga y sometidos a cargas transversales entre sus apoyos, el valor de  $C_m$  se puede determinar mediante análisis racional. Sin embargo, en vez de efectuar este análisis se pueden utilizar los siguientes valores:

(a) para miembros cuyos extremos están restringidos,  
 $C_m = 0,85$

(b) para miembros cuyos extremos no están restringidos,

$$C_m = 1,0$$

### C5.2.2 Método LRFD

Las resistencias requeridas,  $P_u$ ,  $M_{ux}$  y  $M_{uy}$ , deben satisfacer las siguientes ecuaciones de interacción:

$$\frac{P_u}{\phi_c P_n} + \frac{C_{mx} M_{ux}}{\phi_b M_{nx} \alpha_x} + \frac{C_{my} M_{uy}}{\phi_b M_{ny} \alpha_y} \leq 1,0 \quad (\text{Ec. C5.2.2-1})$$

$$\frac{P_u}{\phi_c P_{no}} + \frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}} \leq 1,0 \quad (\text{Ec. C5.2.2-2})$$

Cuando  $P_u/\phi_c P_n \leq 0,15$  en vez de las dos ecuaciones anteriores se puede utilizar la siguiente ecuación:

$$\frac{P_u}{\phi_c P_n} + \frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}} \leq 1,0 \quad (\text{Ec. C5.2.2-3})$$

donde

$P_u$  = Resistencia a la compresión axial requerida

$M_{ux}$ ,  $M_{uy}$  = Resistencias flexionales requeridas respecto a los ejes baricéntricos de la sección efectiva determinada sólo para la resistencia a la compresión axial requerida. Para las secciones en ángulo,  $M_{uy}$  se debe tomar ya sea como la resistencia flexional requerida o como la resistencia flexional requerida más  $P_u L/1000$ , el valor con el cual se obtenga un menor valor admisible para  $P_u$ .

$P_n$  = Resistencia axial nominal determinada de acuerdo con la Sección C4

$P_{no}$  = Resistencia axial nominal determinada de acuerdo con la Sección C4, con  $F_n = F_y$

$M_{nx}$ ,  $M_{ny}$  = Resistencias flexionales nominales respecto a los ejes baricéntricos determinadas de acuerdo con la Sección C3

$$\alpha_x = 1 - \frac{P_u}{P_{Ex}} \quad (\text{Ec. C5.2.2-4})$$

$$\alpha_y = 1 - \frac{P_u}{P_{Ey}} \quad (\text{Ec. C5.2.2-5})$$

$$P_{Ex} = \frac{\pi^2 EI_x}{(K_x L_x)^2} \quad (\text{Ec. C5.2.2-6})$$

$$P_{Ey} = \frac{\pi^2 EI_y}{(K_y L_y)^2} \quad (\text{Ec. C5.2.2-7})$$

$\phi_b = 0,90$  ó  $0,95$  para resistencia a la flexión (Sección C3.1.1) ó  $0,90$  para vigas sin arriostamiento lateral (Sección C3.1.2)

$\phi_c = 0,85$

$I_x$  = Momento de inercia de la sección total, no reducida, respecto al eje x

$I_y$  = Momento de inercia de la sección total, no reducida, respecto al eje y

- $L_x$  = Longitud no arriostrada real para flexión respecto al eje x  
 $L_y$  = Longitud no arriostrada real para flexión respecto al eje y  
 $K_x$  = Factor de longitud efectiva para pandeo respecto al eje x  
 $K_y$  = Factor de longitud efectiva para pandeo respecto al eje y  
 $C_{mx}, C_{my}$  Coeficientes cuyos valores se deben tomar de la siguiente manera:
1. Para miembros comprimidos en pórticos sujetos a traslación conjunta (desplazamiento lateral)  
 $C_m = 0,85$
  2. Para miembros comprimidos restringidos en pórticos arriostrados contra la traslación conjunta y no sometidos a cargas transversales entre sus apoyos en el plano de flexión (Ec. C5.2.2-8)  
 $C_m = 0,6 - 0,4(M_1/M_2)$   
 donde  
 $M_1/M_2$  es la relación entre el menor y el mayor momento en los extremos de la porción del miembro analizado que no está arriostrado en el plano de flexión.  $M_1/M_2$  es positivo cuando el miembro se flexiona con curvatura inversa y negativo cuando se flexiona con curvatura simple.
  3. Para miembros comprimidos en pórticos arriostrados contra la traslación conjunta en el plano de carga y sometidos a cargas transversales entre sus apoyos, el valor de  $C_m$  se puede determinar mediante análisis racional. Sin embargo, en vez de este análisis se pueden utilizar los siguientes valores:
    - (a) para miembros cuyos extremos están restringidos,  
 $C_m = 0,85$
    - (a) para miembros cuyos extremos no están restringidos,  
 $C_m = 1,0$

## C6 Miembros cilíndricos tubulares

Los requisitos de esta Sección se aplican a miembros cilíndricos tubulares cuya relación diámetro exterior / espesor de pared,  $D/t$ , no es mayor que  $0,441 E/F_y$ .

### C6.1 Flexión

Para los miembros solicitados a flexión, la resistencia nominal a la flexión,  $M_n$ , se debe calcular de la siguiente manera:

$$\text{Para } D/t \leq 0,070 E/F_y$$

$$M_n = 1,25 F_y S_f \quad (\text{Ec. C6.1-1})$$

$$\text{Para } 0,070 E/F_y < D/t \leq 0,319 E/F_y$$

$$M_n = \left[ 0,970 + 0,020 \left( \frac{E/F_y}{D/t} \right) \right] F_y S_f \quad (\text{Ec. C6.1-2})$$

$$\text{Para } 0,319 E/F_y < D/t \leq 0,441 E/F_y$$

$$M_n = [0,328 E / (D/t)] S_f \quad (\text{Ec. C6.1-3})$$

$$\Omega_b = 1,67 \text{ (ASD)}$$

$$\phi_b = 0,95 \text{ (LRFD)}$$

donde

$S_f$  = Módulo elástico de la sección transversal total, no reducida

## C6.2 Compresión

Los requisitos de esta Sección se aplican a miembros en los cuales la resultante de todas las cargas y momentos que actúan sobre el miembro es equivalente a una única fuerza en la dirección del eje del miembro que pasa a través del baricentro de la sección.

La resistencia axial nominal,  $P_n$ , se debe calcular de la siguiente manera:

$$P_n = F_n A_e \quad (\text{Ec. C6.2-1})$$

$$\Omega_c = 1,80 (\text{ASD})$$

$$\phi_c = 0,85 (\text{LRFD})$$

$F_n$  se determina de la siguiente manera:

Para  $\lambda_c \leq 1,5$

$$F_n = (0,658^{\lambda_c^2}) F_y \quad (\text{Ec. C6.2-2})$$

Para  $\lambda_c > 1,5$

$$F_n = \left[ \frac{0,877}{\lambda_c^2} \right] F_y \quad (\text{Ec. C6.2-3})$$

donde

$$\lambda_c = \sqrt{\frac{F_y}{F_e}} \quad (\text{Ec. C6.2-4})$$

En las ecuaciones anteriores:

$F_e$  = Tensión de pandeo flexional elástico determinada de acuerdo con la Sección C4.1

$$A_e = [1 - (1 - R^2)(1 - A_o / A)] A \quad (\text{Ec. C6.2-5})$$

$$R = \sqrt{F_y / 2F_e} \quad (\text{Ec. C6.2-6})$$

$$A_o = \left[ \frac{0,037}{(DF_y) / (tE)} + 0,667 \right] A \leq A \text{ para } \frac{D}{t} \leq 0,441 \frac{E}{F_y} \quad (\text{Ec. C6.2-7})$$

$A_o$  = Superficie de la sección transversal no reducida

## C6.3 Combinación de flexión y compresión

Las combinaciones de flexión y compresión deben satisfacer los requisitos de la Sección C5.

## D. CONJUNTOS ESTRUCTURALES

### D1. Secciones armadas

#### D1.1 Secciones compuestas por dos perfiles C

La máxima separación longitudinal admisible,  $s_{\max}$ , de las soldaduras u otros conectores que unen dos perfiles C para formar una sección doble T es:

(a) Para miembros comprimidos:

$$s_{\max} = \frac{Lr_{cy}}{2r_1} \quad (\text{Ec. D1.1-1})$$

donde

$L$  = Longitud no arriostrada del miembro comprimido

$r_1$  = Radio de giro de la sección doble T respecto al eje perpendicular a la dirección en la cual se produciría pandeo para las condiciones dadas de apoyo y arriostramiento intermedio

$r_{cy}$  = Radio de giro de un perfil C respecto a su eje baricéntrico paralelo al alma

(b) Para miembros flexados:

$$s_{\max} = L/6 \leq \frac{2gT_s}{mq} \quad (\text{Ec. D1.1-2})$$

donde

$L$  = Longitud de la viga

$T_s$  = Resistencia de cálculo de la conexión traccionada (Sección E)

$g$  = Distancia vertical entre las dos filas de conexiones más próximas a las alas superior e inferior

$q$  = Carga de cálculo sobre la viga para separación de los conectores (Usar cargas nominales para ASD, cargas factoreadas para LRFD. Para los métodos de determinación, ver a continuación)

$m$  = Distancia entre el centro de corte de un perfil C y el plano medio de su alma.

Para perfiles C simples sin labios rigidizadores en los bordes exteriores,

$$m = \frac{w_f^2}{2w_f + d/3} \quad (\text{Ec. D1.1-3})$$

Para perfiles C con labios rigidizadores en los bordes exteriores,

$$m = \frac{w_f dt}{4I_x} \left[ w_f d + 2D \left( d - \frac{4D^2}{3d} \right) \right] \quad (\text{Ec. D1.1-4})$$

$w_f$  = Proyección de las alas a partir de la cara interna del alma (para perfiles C con alas de diferentes anchos,  $w_f$  se debe tomar como el ancho del ala más ancha)

$d$  = Profundidad del perfil C o la viga

$D$  = Profundidad total del labio rigidizador

$I_x$  = Momento de inercia de un perfil C respecto a su eje baricéntrico normal al alma

La carga,  $q$ , se obtiene dividiendo las cargas concentradas o reacciones por la longitud de apoyo. Para las vigas diseñadas para una carga uniformemente

distribuida,  $q$  se debe tomar igual a tres veces la carga uniformemente distribuida, en base a las cargas nominales para ASD, cargas factoreadas para LRFD. Si la longitud de apoyo de una carga concentrada o reacción es más pequeña que la separación entre soldaduras,  $s$ , la resistencia de cálculo requerida de las soldaduras o conexiones más próximas a la carga o reacción es:

$$T_s = P_s m / 2g \quad (\text{Ec. D1.1-5})$$

donde  $P_s$  es una carga concentrada o reacción en base a las cargas nominales para ASD, cargas factoreadas para LRFD.

La máxima separación admisible,  $s_{\max}$ , de las conexiones depende de la intensidad de la carga directamente en la conexión. Por lo tanto, si las conexiones están separadas uniformemente en toda la longitud de la viga, ésta se debe determinar en el punto de máxima intensidad de carga localizada. En caso que la separación obtenida mediante este procedimiento resultara inconveniente desde el punto de vista económico se puede adoptar uno de los métodos siguientes: (a) se puede variar la separación de las conexiones a lo largo de la viga de acuerdo con la variación de la intensidad de la carga; o (b) se pueden soldar platabandas a las alas en los puntos donde están aplicadas las cargas concentradas. Luego la resistencia al corte de cálculo de las conexiones que unen estas platabandas a las alas se debe tomar como  $T_s$ , y  $g$  se debe tomar igual a la profundidad de la viga.

## D1.2 Separación de las conexiones en elementos comprimidos

La separación,  $s$ , en la dirección del esfuerzo de soldaduras, remaches o bulones que conectan una platabanda, una plancha de refuerzo o un rigidizador no integral comprimido a otro elemento no debe ser mayor que

- (a) la que se requiere para transmitir el corte entre las partes conectadas, en base a la resistencia de cálculo por cada conexión especificada en otras secciones de la presente; o
- (b)  $1,16\sqrt{E/f_c}$ , siendo  $t$  el espesor de la platabanda o plancha de refuerzo y  $f_c$  la tensión en la platabanda o plancha de refuerzo bajo carga de servicio; o
- (c) tres veces el ancho plano,  $w$ , del elemento comprimido no rigidizado más angosto que tributa a las conexiones, pero no es necesario que sea menor que  $1,11\sqrt{E/F_y}$  si  $w/t < 0,50\sqrt{E/F_y}$ , ó  $1,33t\sqrt{E/F_y}$  si  $w/t \geq 0,50\sqrt{E/F_y}$ , a menos que (a) o (b) requieran una separación menor.

En el caso de soldaduras de filetes no continuos paralelas a la dirección del esfuerzo, la separación se debe tomar como la distancia libre entre soldaduras, más media pulgada. En todos los demás casos la separación se debe tomar como la distancia entre centro y centro de las conexiones.

Excepción: Los requisitos de esta Sección no se aplican a platabandas que actúan exclusivamente como material de revestimiento y no se consideran elementos portantes.

## D2 Sistemas mixtos

El diseño de los miembros de los sistemas mixtos en los cuales se utilizan componentes de acero conformado en frío conjuntamente con otros materiales debe

cumplir con los requisitos de esta *Especificación* y de la especificación aplicable para el otro material.

### **D3 Arriostramiento lateral**

Las riostras se deben diseñar de manera de restringir la flexión o torsión de una viga o columna cargada, y de evitar abolladuras localizadas en los puntos de unión.

#### **D3.1 Vigas y columnas simétricas**

Las riostras y sistemas de arriostramiento, incluyendo sus conexiones, se deben diseñar considerando los requisitos de resistencia y rigidez.

#### **D3.2 Perfiles C y Z utilizados como vigas**

Los siguientes requisitos con respecto al arriostramiento para restringir la torsión de perfiles C y Z utilizados como vigas cargadas en el plano del alma se aplican sólo cuando (a) el ala superior está conectada al tablero o revestimiento de manera que restringe eficazmente la deformación lateral del ala conectada\*, o (b) ninguna de las alas está conectada de esta manera. Cuando ambas alas están conectadas de esta manera no se requiere arriostramiento adicional.

##### **D3.2.1 Anclaje del arriostramiento para cubiertas sometidas a cargas gravitatorias que poseen el ala superior conectada al revestimiento**

Para los perfiles C y Z diseñados de acuerdo con la Sección C3.1.1 y que tienen un tablero o revestimiento sujetado a las alas superiores (sistemas con sujetadores pasantes o juntas de plegado saliente), es necesario restringir las alas de manera que los máximos desplazamientos laterales del ala superior con respecto a los puntos de reacción de la correa no sean mayores que la longitud del tramo dividida por 360. Si las alas superiores de todas las correas están orientadas con sus caras en la misma dirección, el anclaje del sistema de restricción debe ser capaz de satisfacer los requisitos de las Secciones D3.2.1(a) y D3.2.1(b). Si las alas superiores de líneas de correas adyacentes están orientadas con sus caras en direcciones opuestas, no se aplican los requisitos de las Secciones D3.2.1(a) y D3.2.1(b).

Si las fuerzas de otras líneas de correas se transmiten a través del tablero de la cubierta y sus sistema de conexión, sólo es necesario que las riostras ancladas estén conectadas a una línea de correas en cada vano de correas de cada pendiente de la cubierta. Las riostras ancladas deben estar tan cerca como sea posible del ala que está conectada al tablero o revestimiento. Se deben proveer riostras ancladas para cada vano de correas.

Para arriostramientos dispuestos de manera diferente a las tratadas en las Secciones D3.2.1(a) y D3.2.1(b) se deben llevar a cabo ensayos de acuerdo con el Capítulo F para que el tipo y/o separación seleccionada para las riostras sean tales que la resistencia de ensayo del conjunto del perfil Z arriostrado sea mayor o igual que su resistencia flexional nominal, en vez de la requerida por el Capítulo F.

---

\* En los casos para los cuales la *Especificación* no contiene un método de diseño explícito, se debe buscar información adicional en el Comentario.

## (a) Perfiles C:

Para los sistemas de cubierta que utilizan perfiles C como correas con todas las alas comprimidas con sus caras en la misma dirección, se debe proveer un sistema de restricción capaz de resistir  $0,05W$ , además de las otras cargas, siendo  $W$  la carga de diseño (carga nominal para ASD, carga factoreada para LRFD) soportada por todas las líneas de correas restringidas. Cuando en una correa se utiliza más de una riostra, la fuerza de restricción  $0,05W$  se debe dividir en partes iguales entre todas las riostras.

## (b) Perfiles Z:

Para los sistemas de cubierta que poseen entre cuatro y veinte líneas de perfiles Z utilizados como correas con todas las alas superiores con sus caras apuntando en la dirección de la pendiente ascendente de la cubierta, y con riostras de restricción en los apoyos, puntos medios o puntos correspondientes a los tercios de las correas, cada riostra se debe diseñar de manera de resistir una fuerza determinada de la siguiente manera:

## (1) Sistema de un solo tramo con restricciones en los apoyos:

$$P_L = 0,5 \left[ \frac{0,220b^{1,50}}{n_p^{0,72} d^{0,90} t^{0,60}} - \sin \theta \right] W \quad (\text{Ec. D3.2.1-1})$$

## (2) Sistema de un solo tramo con restricciones en los puntos correspondientes a los tercios:

$$P_L = 0,5 \left[ \frac{0,474b^{1,22}}{n_p^{0,57} d^{0,89} t^{0,33}} - \sin \theta \right] W \quad (\text{Ec. D3.2.1-2})$$

## (3) Sistema de un solo tramo con restricción en el punto medio:

$$P_L = \left[ \frac{0,224b^{1,32}}{n_p^{0,65} d^{0,83} t^{0,50}} - \sin \theta \right] W \quad (\text{Ec. D3.2.1-3})$$

## (4) Sistema de múltiples tramos con restricciones en los apoyos:

$$P_L = C_{tr} \left[ \frac{0,053b^{1,88} L^{0,13}}{n_p^{0,95} d^{1,07} t^{0,94}} - \sin \theta \right] W \quad (\text{Ec. D3.2.1-4})$$

donde

$C_{tr} = 0,63$  para riostras en los apoyos extremos de sistemas de múltiples tramos

$C_{tr} = 0,87$  para riostras en los primeros apoyos interiores

$C_{tr} = 0,81$  para todas las demás riostras

## (5) Sistema de múltiples tramos con restricciones en los puntos correspondientes a los tercios:

$$P_L = C_{th} \left[ \frac{0,181b^{1,15} L^{0,25}}{n_p^{0,54} d^{1,11} t^{0,29}} - \sin \theta \right] W \quad (\text{Ec. D3.2.1-5})$$

donde

$C_{th} = 0,57$  para riostras externas en tramos exteriores

$C_{th} = 0,48$  para todas las demás riostras

(6) Sistema de múltiples tramos con restricciones en los puntos medios:

$$P_L = C_{ms} \left[ \frac{0,116b^{1,32}L^{0,18}}{n_p^{0,70}dt^{0,50}} - \sin \theta \right] W \quad (\text{Ec. D3.2.1-6})$$

donde

$C_{ms} = 1,05$  para riostras en tramos exteriores

$C_{ms} = 0,90$  para todas las demás riostras

donde

$b$  = Ancho del ala

$d$  = Profundidad del perfil

$t$  = Espesor

$L$  = Longitud del tramo

$\theta$  = Ángulo entre la vertical y el plano del alma del perfil  $Z$ , grados

$n_p$  = Número de líneas de correas paralelas

$W$  = Carga total soportada por las líneas de correas entre apoyos adyacentes  
(Para ASD utilizar cargas nominales, para LRFD utilizar cargas factoreadas)

La fuerza,  $P_L$ , es positiva cuando la restricción se requiere para impedir el movimiento de las alas de las correas en la dirección ascendente de la pendiente de la cubierta.

Para los sistemas que tienen menos de cuatro líneas de correas, la fuerza de las riostras se debe determinar tomando 1,1 veces la fuerza calculada mediante las Ecuaciones D3.2.1-1 a D3.2.1-6, con  $n_p = 4$ . Para sistemas que tienen más de veinte líneas de correas, la fuerza de las riostras se debe determinar utilizando las Ecuaciones D3.2.1-1 a D3.2.1-6, con  $n_p = 20$  y  $W$  en base al número total de correas.

### D3.2.2 Ninguna de las alas conectadas al revestimiento

Cada una de las riostras intermedias, en las alas superior e inferior, se deben diseñar para resistir una fuerza lateral requerida,  $P_L$ , determinada de la siguiente manera:

- Para cargas uniformes,  $P_L = 1,5K'$  por la carga de diseño (cargas nominales para ASD, cargas factoreadas para LRFD) en una distancia de  $0,5a$  a cada lado de la riostra.
- Para cargas concentradas,  $P_L = 1,0K'$  por cada carga concentrada de diseño ubicada a una distancia de  $0,3a$  o menos a cada lado de la riostra, más  $1,4K'(1-x/a)$  por cada carga concentrada de diseño ubicada a más de  $0,3a$  pero a no más de  $1,0a$  de la riostra. Para ASD la carga concentrada de diseño es la carga nominal y para LRFD es la carga factoreada.

En las ecuaciones anteriores:

Para perfiles C y perfiles Z:

$x$  = Distancia desde la carga concentrada hasta la riostra

$a$  = Distancia entre los ejes de las riostras

Para perfiles C:

$K' = m/d$

(Ec. D3.2.2-1)

donde

$m$  = Distancia entre el centro de corte y el plano medio del alma, según lo especificado en la Sección D1.1

$d$  = Profundidad del perfil C

Para perfiles Z:

$$K' = I_{xy} / I_x \quad (\text{Ec. D3.2.2-2})$$

donde

$I_{xy}$  = Producto de inercia de la sección total respecto a los ejes baricéntricos paralelo y perpendicular al alma

$I_x$  = Momento de inercia de la sección total respecto al eje baricéntrico perpendicular al alma

Las riostras se deben diseñar de manera de evitar la abolladura localizada en los puntos donde se unen al miembro.

Cuando se proveen riostras, éstas deben estar unidas de manera de restringir eficazmente la sección contra la deflexión lateral de ambas alas en los extremos y en cualquier punto de arriostramiento intermedio.

Cuando todas las cargas y reacciones que actúan sobre una viga se transmiten a través de miembros que se unen a la sección de manera tal que restringen eficazmente la sección contra su rotación torsional y desplazamiento lateral, no se requieren riostras adicionales a excepción de las requeridas por motivos de resistencia de acuerdo con la Sección C3.1.2.

### D3.3 Vigas tipo cajón sin arriostramiento lateral

Para las secciones tipo cajón cerrado utilizadas como vigas sometidas a flexión respecto al eje mayor, la relación entre la longitud sin apoyo lateral y la distancia entre las almas de la sección no debe ser mayor que  $0,086 E/F_y$ .

## D4 Montantes y conjuntos de montantes que integran un tabique

Los montantes para tabiques se deben diseñar en base a un sistema todo de acero de acuerdo con la Sección C, o bien en base al revestimiento de acuerdo con las Secciones D4.1 a D4.3. Están permitidas tanto las almas macizas como las perforadas. Ambos extremos del montante deben estar conectados para restringir la rotación respecto al eje longitudinal del montante y el desplazamiento horizontal perpendicular al eje del montante.

(a) Diseño todo de acero:

Los conjuntos de montantes para tabiques que utilizan un diseño todo de acero se deben diseñar despreciando la contribución estructural de los revestimientos a los cuales están unidos y deben cumplir con los requisitos de la Sección C. En el caso de perforaciones circulares en el alma ver la Sección B2.2, y en el caso de perforaciones no circulares en el alma la superficie efectiva se debe determinar de la siguiente manera:

La superficie efectiva,  $A_e$ , a una tensión  $F_n$ , se debe determinar de acuerdo con la Sección B, suponiendo que el alma consiste en dos elementos no rigidizados, uno a cada lado de la perforación, o bien la superficie efectiva,  $A_e$ , se debe determinar mediante ensayos de columna corta.

Cuando  $A_e$  se determina de acuerdo con la Sección B se aplican las siguientes limitaciones referidas al tamaño y separación de las perforaciones y a la profundidad del montante:

- (1) La separación entre centro y centro de las perforaciones del alma no debe ser menor que 24 pulgadas (610 mm).
- (2) El máximo ancho de las perforaciones del alma debe ser el menor valor seleccionado entre 0,5 por la profundidad de la sección,  $d$ , ó 2-½ pulgadas (63,5 mm).
- (3) La longitud de las perforaciones del alma no debe ser mayor que 4-½ pulgadas (114 mm).
- (4) La relación profundidad-espesor de la sección,  $d/t$ , no debe ser menor que 20.
- (5) La distancia entre el extremo del montante y el extremo más próximo de una perforación no debe ser menor que 10 pulgadas (254 mm).

(b) Diseño arriostrado por el revestimiento

Los conjuntos de montantes para tabiques que utilizan un diseño arriostrado por el revestimiento se deben diseñar de acuerdo con las Secciones D4.1 a D4.3 y además deben cumplir con los siguientes requisitos:

En el caso de almas perforadas la superficie efectiva,  $A_e$ , se debe determinar como en el caso (a) anterior.

Debe haber revestimientos unidos a ambos lados del montante y conectados a los miembros horizontales superior e inferior del tabique para proveerle al montante apoyo lateral y torsional en el plano del tabique.

El revestimiento debe satisfacer las limitaciones especificadas en la Tabla D4. Si fuera necesario se debe proveer arriostramiento adicional durante la construcción.

Las ecuaciones dadas son aplicables dentro de las siguientes limitaciones:

Resistencia a la fluencia,  $F_y \leq 50$  ksi (345 MPa)

Profundidad de la sección,  $d \leq 6,0$  in. (152 mm)

Espesor de la sección,  $t \leq 0,075$  in. (1,91 mm)

Longitud total,  $L \leq 16$  ft. (4,88 m)

Separación de los montantes, mínimo 12 in. (305 mm), máximo 24 in. (610 mm)

#### D4.1 Montantes de tabiques comprimidos

Para los montantes que tienen revestimientos idénticos unidos a ambas alas, y despreciando cualquier restricción rotacional provista por el revestimiento, la resistencia axial nominal,  $P_n$ , se debe calcular de la siguiente manera:

$$P_n = A_e F_n$$

(Ec. D4.1-1)

$$\Omega_c = 1,80 \text{ (ASD)}$$

$$\phi_c = 0,85 \text{ (LRFD)}$$

donde

$A_e$  = Superficie efectiva determinada a  $F_n$

$F_n$  = Menor valor determinado mediante las tres condiciones siguientes:

- (a) Para impedir el pandeo de columna entre sujetadores en el plano del tabique,  $F_n$  se debe calcular de acuerdo con la Sección C4 con  $KL$  igual al doble de la distancia entre sujetadores.
- (b) Para impedir el pandeo flexional y/o torsional de columna generalizado,  $F_n$  se debe calcular de acuerdo con la Sección C4, tomando  $F_e$  como el menor de los

dos valores de  $\sigma_{CR}$  especificados para los siguientes tipos de secciones, siendo  $\sigma_{CR}$  la tensión teórica de pandeo elástico bajo cargas concéntricas:

(1) Perfiles C con simetría simple

$$\sigma_{CR} = \sigma_{ey} + \bar{Q}_a \quad (Ec. D4.1-2)$$

$$\sigma_{CR} = \frac{1}{2\beta} \left[ (\sigma_{ex} + \sigma_{tQ}) - \sqrt{(\sigma_{ex} + \sigma_{tQ})^2 - 4\beta\sigma_{ex}\sigma_{tQ}} \right] \quad (Ec. D4.1-3)$$

(2) Perfiles Z

$$\sigma_{CR} = \sigma_t + \bar{Q}_t \quad (Ec. D4.1-4)$$

$$\sigma_{CR} = \frac{1}{2} \left\{ (\sigma_{ex} + \sigma_{ey} + \bar{Q}_a) - \sqrt{[(\sigma_{ex} + \sigma_{ey} + \bar{Q}_a)^2 - 4(\sigma_{ex}\sigma_{ey} + \sigma_{ex}\bar{Q}_a - \sigma_{exy}^2)]} \right\} \quad (Ec. D4.1-5)$$

(3) Perfiles doble T (simetría doble)

$$\sigma_{CR} = \sigma_{ey} + \bar{Q}_a \quad (Ec. D4.1-6)$$

$$\sigma_{CR} = \sigma_{ex} \quad (Ec. D4.1-7)$$

En las ecuaciones anteriores:

$$\sigma_{ex} = \frac{\pi^2 E}{(L/r_x)^2} \quad (Ec. D4.1-8)$$

$$\sigma_{exy} = (\pi^2 EI_{xy}) / (AL^2) \quad (Ec. D4.1-9)$$

$$\sigma_{ey} = \frac{\pi^2 E}{(L/r_y)^2} \quad (Ec. D4.1-10)$$

$$\sigma_t = \frac{1}{Ar_0^2} \left[ GJ + \frac{\pi^2 EC_w}{L^2} \right] \quad (Ec. D4.1-11)$$

$$\sigma_{tQ} = \sigma_t + \bar{Q}_t \quad (Ec. D4.1-12)$$

$$\bar{Q} = \bar{Q}_o (2 - s/s') \quad (Ec. D4.1-13)$$

donde:

$s$  = separación de los sujetadores, in. (mm); 6 in. (152 mm)  $\leq s \leq$  12 in. (305 mm)

$s'$  = 12 in. (305 mm);

$\bar{Q}_o$  = Ver Tabla D4

$$\bar{Q}_a = \bar{Q} / A \quad (Ec. D4.1-14)$$

$A$  = Superficie de la sección transversal total, no reducida

$L$  = Longitud del montante

$$\bar{Q}_t = (\bar{Q}d^2) / (4Ar_0^2) \quad (Ec. D4.1-15)$$

$d$  = Profundidad de la sección

$I_{xy}$  = Producto de inercia

(c) Para impedir que el revestimiento falle por corte, en las siguientes ecuaciones se debe utilizar un valor de  $F_n$  tal que la deformación por corte del

revestimiento,  $\gamma$ , no supere la deformación por corte admisible,  $\bar{\gamma}$ . La deformación por corte,  $\gamma$ , se debe determinar de la siguiente manera:

$$\gamma = (\pi/L) [C_1 + (E_1 d/2)] \quad (Ec. D4.1-16)$$

donde

$C_1$  y  $E_1$  son los valores absolutos de  $C_1$  y  $E_1$  especificados a continuación para cada tipo de sección:

(1) Perfiles C con simetría simple

$$C_1 = (F_n C_o) / (\sigma_{ey} - F_n + \bar{Q}_a) \quad (Ec. D4.1-17)$$

$$E_1 = \frac{F_n \left[ (\sigma_{ex} - F_n) (r_o^2 E_o - x_o D_o) - F_n x_o (D_o - x_o E_o) \right]}{(\sigma_{ex} - F_n) r_o^2 (\sigma_{tQ} - F_n) - (F_n x_o)^2} \quad (Ec. D4.1-18)$$

(2) Perfiles Z

$$C_1 = \frac{F_n \left[ C_o (\sigma_{ex} - F_n) - D_o \sigma_{exy} \right]}{(\sigma_{ey} - F_n + \bar{Q}_a) (\sigma_{ex} - F_n) - \sigma_{exy}^2} \quad (Ec. D4.1-19)$$

$$E_1 = (F_n E_o) / (\sigma_{tQ} - F_n) \quad (Ec. D4.1-20)$$

(3) Perfiles doble T

$$C_1 = (F_n C_o) / (\sigma_{ey} - F_n + \bar{Q}_a) \quad (Ec. D4.1-21)$$

$$E_1 = 0$$

donde

$x_o$  = distancia entre el centro de corte y el baricentro a lo largo del eje principal x (valor absoluto)

$C_o$ ,  $E_o$  y  $D_o$  son las imperfecciones iniciales de la columna, las cuales se deben suponer de al menos:

$$C_o = L/350 \text{ en dirección paralela al tabique} \quad (Ec. D4.1-22)$$

$$D_o = L/700 \text{ en dirección perpendicular al tabique} \quad (Ec. D4.1-23)$$

$$E_o = L/(d \times 10.000), \text{ radianes, medida de la torsión inicial del montante con respecto a la forma inicial, ideal, no pandeada} \quad (Ec. D4.1-24)$$

Si  $F_n > 0,5 F_y$  en las definiciones de  $\sigma_{ey}$ ,  $\sigma_{ex}$ ,  $\sigma_{exy}$  y  $\sigma_{tQ}$  los parámetros E y G se deben reemplazar por E' y G', respectivamente, como se define a continuación:

$$E' = 4EF_n (F_y - F_n) / F_y^2 \quad (Ec. D4.1-25)$$

$$G' = G(E'/E) \quad (Ec. D4.1-26)$$

Está permitido determinar los parámetros del revestimiento  $\bar{Q}_o$  y  $\bar{\gamma}$  mediante ensayos representativos a escala real, realizados y evaluados como se describe en los métodos publicados documentados (ver Comentario), o mediante los valores correspondientes a ensayos a pequeña escala dados en la Tabla D4.

**TABLA D4**  
**Parámetros del revestimiento<sup>(1)</sup>**

Revestimiento <sup>(2)</sup>	$\bar{Q}_o$		$\bar{\gamma}$
	k	kN	longitud/longitud
Yeso de 3/8 in. (9,5 mm) a 5/8 in. (15,9 mm) de espesor	24,0	107,0	0,008
Material lignocelulósico	12,0	53,4	0,009
Tablero de fibra (regular o impregnado)	7,2	32,0	0,007
Tablero de fibra (fuertemente impregnado)	14,4	64,1	0,010

- (1) Los valores dados están sujetos a las siguientes limitaciones:  
 Todos los valores corresponden a revestimiento a ambos lados del conjunto del tabique.  
 Todos los sujetadores son tornillos autoperforantes para construcción en seco, tipo S-12, No. 6, o sus equivalentes.
- (2) Todos los revestimientos son de 1/2 in. (12,7 mm) de espesor, a menos que se especifique lo contrario.  
 Para otros tipos de revestimientos  $\bar{Q}_o$  y  $\bar{\gamma}$  se pueden determinar de manera conservadora a partir de ensayos efectuados sobre probetas representativas a menor escala de acuerdo con lo descrito en los métodos publicados documentados (ver Comentario).

#### D4.2 Montantes de tabiques flexados

Para los montantes con idéntico revestimiento unido a ambas alas, y despreciando cualquier restricción rotacional proporcionada por el revestimiento, las resistencias nominales a la flexión son  $M_{nxo}$  y  $M_{nyo}$ , donde

Para secciones con alas comprimidas rigidizadas o parcialmente rigidizadas:

$$\Omega_b = 1,67 \text{ (ASD)}$$

$$\phi_b = 0,95 \text{ (LRFD)}$$

Para secciones con alas comprimidas no rigidizadas:

$$\Omega_b = 1,67 \text{ (ASD)}$$

$$\phi_b = 0,90 \text{ (LRFD)}$$

$M_{nxo}$  y  $M_{nyo}$  = Resistencias nominales a la flexión respecto a los ejes baricéntricos determinadas de acuerdo con la Sección C3.1, excluyendo los requisitos de la Sección C3.1.2 (pandeo lateral)

#### D4.3 Montantes de tabiques sometidos a carga axial y flexión

La resistencia axial requerida y la resistencia a la flexión requerida deben satisfacer las ecuaciones de interacción de la Sección C5, redefiniendo los siguientes términos de la siguiente manera:

$P_n$  = Resistencia axial nominal determinada de acuerdo con la Sección D4.1

En las Ecuaciones C5.2.1-1, C5.2.1-2 y C5.2.1-3 para ASD o C5.2.2-1, C5.2.2-2 y C5.2.2-3  $M_{nx}$  y  $M_{ny}$  se deben reemplazar por las resistencias nominales a la flexión,  $M_{nxo}$  y  $M_{nyo}$ , respectivamente.

### D5 Construcción de diafragmas de acero para losas, cubiertas o tabiques

La resistencia nominal al corte en el plano de un diafragma,  $S_n$ , se debe establecer mediante cálculos o ensayos.

$\Omega_d$  = Según lo especificado en la Tabla D5 (ASD)

$\phi_d$  = Según lo especificado en la Tabla D5 (LRFD)

**TABLA D5**  
**Factores de seguridad y factores de resistencia para diafragmas**

$\Omega_d$	$\phi_d$	Condiciones del diafragma
2,65	0,60	para diafragmas en los cuales el modo de falla es el de pandeo, caso contrario;
3,0	0,50	para diafragmas soldados a la estructura sometidos a cargas sísmicas, o sometidos a combinaciones de cargas que incluyen cargas sísmicas.
2,35	0,55	para diafragmas soldados a la estructura sometidos a cargas de viento, o sometidos a combinaciones de cargas que incluyen cargas de viento
2,5	0,60	para diafragmas conectados a la estructura mediante uniones mecánicas sometidos a cargas sísmicas, o sometidos a combinaciones de cargas que incluyen cargas sísmicas.
2,0	0,65	para diafragmas conectados a la estructura mediante uniones mecánicas sometidos a cargas de viento, o sometidos a combinaciones de cargas que incluyen cargas de viento
2,45	0,65	para diafragmas conectados a la estructura ya sea por medios mecánicos o soldadura sometidos a combinaciones de cargas que no incluyen cargas de viento o cargas sísmicas.

## E. UNIONES Y CONEXIONES

### E1 Requisitos generales

Las conexiones se deben diseñar para transmitir las máximas fuerzas de cálculo que actúan sobre los miembros conectados. Las excentricidades se deben analizar cuidadosamente.

### E2 Uniones soldadas

Los siguientes criterios de diseño determinan las uniones soldadas utilizadas para miembros estructurales de acero conformado en frío en las cuales el espesor de la pieza conectada más delgada es de 0,18 in. (4,57 mm) o menos. Para las uniones soldadas en las cuales el espesor de la pieza conectada más delgada es superior a 0,18 in. (4,57 mm), ver la publicación "*Specification for Structural Steel Buildings, Allowable Stress Design and Plastic Design*" de AISC o la publicación "*Load and Resistance Factor Design for Structural Steel Buildings*".

Con las excepciones que aquí se indican, las soldaduras por arco sobre acero donde al menos una de las partes conectadas tiene un espesor de 0,18 in. (4,57 mm) o menos se deben efectuar de acuerdo con AWS D1.3 y su Comentario. Las soldadoras y los procedimientos de soldadura deben calificar según lo especificado en AWS D1.3. La intención de estos requisitos es cubrir las posiciones de soldadura indicadas en la Tabla E2.

Las soldaduras de resistencia se deben efectuar de acuerdo con los procedimientos dados en AWS C1.1 ó AWS C1.3.

**TABLA E2**  
**Posiciones de soldadura cubiertas**

Unión	Posición de soldadura					
	Soldadura a tope de ranura cuadrada	Puntos de soldadura por arco	Cordones de soldadura por arco	Soldadura de filete, a solapa o en T	Soldadura de ranura biselada	Soldadura de ranura en V acampanada
Plancha a plancha	F	--	F	F	F	F
	H	--	H	H	H	H
	V	--	--	V	V	V
	OH	--	--	OH	OH	OH
Plancha a miembro de apoyo	--	F	F	F	F	--
	--	--	--	H	H	--
	--	--	--	V	V	--
	--	--	--	OH	OH	--

(F = plana, H = horizontal, V = vertical, OH = desde la cara inferior)

#### E2.1 Soldaduras de ranura en uniones a tope

La resistencia nominal,  $P_n$ , de una soldadura de ranura en una unión a tope, soldada desde uno o ambos lados, se debe determinar de la siguiente manera:

- (a) Tracción o compresión normal a la superficie efectiva o paralela al eje de la soldadura

$$P_n = L_t F_y$$

(Ec. E2.1-1)

$$\Omega = 2,50(\text{ASD})$$

$$\phi = 0,90(\text{LRFD})$$

- (b) Corte en la superficie efectiva, el menor valor entre las ecuaciones E2.1-2 ó E2.1-3

$$P_n = L t_e 0,6 F_{xx} \quad (\text{Ec. E2.1-2})$$

$$\Omega = 2,50(\text{ASD})$$

$$\phi = 0,80(\text{LRFD})$$

$$P_n = L t_e F_y / \sqrt{3} \quad (\text{Ec. E2.1-3})$$

$$\Omega = 2,50(\text{ASD})$$

$$\phi = 0,90(\text{LRFD})$$

donde

$P_n$  = Resistencia nominal de una soldadura de ranura

$F_{xx}$  = Denominación de la resistencia del metal de relleno en la clasificación de electrodos AWS

$F_y$  = Límite de fluencia mínimo especificado del acero base de menor resistencia

$L$  = Longitud de la soldadura

$t_e$  = Dimensión efectiva de la garganta de una soldadura de ranura

## E2.2 Puntos de soldadura por arco

Los puntos de soldadura por arco permitidos por esta *Especificación* son para soldar una plancha de acero a miembros de apoyo de mayor espesor ubicados en posición plana. No se deben realizar puntos de soldadura por arco si la parte de acero más delgada conectada tiene más de 0,15 in. (3,81 mm) de espesor, ni a través de una combinación de planchas de acero cuyo espesor total sea superior a 0,15 in. (3,81 mm).

Cuando el espesor de la lámina es menor que 0,028 in. (0,711 mm) se deben utilizar arandelas para soldaduras, Figuras E2.2A y E2.2B. Las arandelas para soldaduras deben tener un espesor comprendido entre 0,05 in. (1,27 mm) y 0,08 in. (2,03 mm) y un orificio preperforado con un diámetro mínimo de 3/8 in. (9,53 mm).

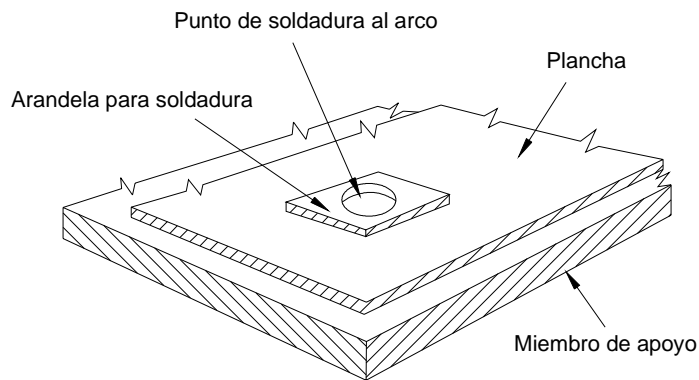
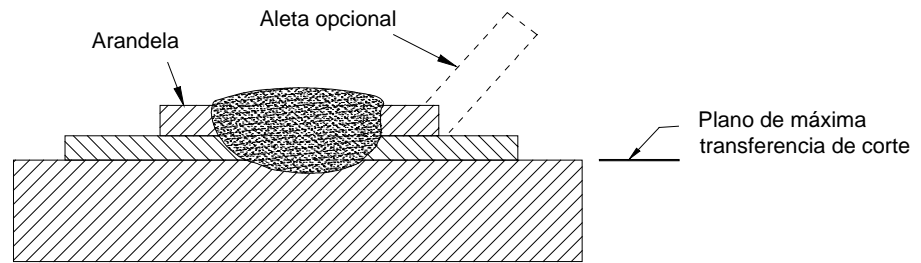


Figura E2.2A Típica arandela para soldaduras



**Figura E2.2B Punto de soldadura por arco utilizando una arandela**

Los puntos de soldadura por arco se deben especificar mediante el diámetro efectivo mínimo de la superficie fundida,  $d_e$ . El mínimo diámetro efectivo admisible es 3/8 in. (9,5 mm).

### E2.2.1 Corte

La resistencia nominal al corte,  $P_n$ , de cada punto de soldadura por arco que une una o más chapas y un miembro de apoyo se debe determinar utilizando el menor valor entre

$$(a) \quad P_n = \frac{\pi d_e^2}{4} 0,75 F_{xx} \quad (Ec. E2.2.1-1)$$

$$\Omega = 2,50 \text{ (ASD)}$$

$$\phi = 0,60 \text{ (LRFD)}$$

$$(b) \quad \text{Para } (d_a / t) \leq 0,815 \sqrt{(E / F_u)}$$

$$P_n = 2,20 t d_a F_u \quad (Ec. E2.2.1-2)$$

$$\Omega = 2,50 \text{ (ASD)}$$

$$\phi = 0,60 \text{ (LRFD)}$$

$$\text{Para } 0,815 \sqrt{(E / F_u)} < (d_a / t) < 1,397 \sqrt{(E / F_u)}$$

$$P_n = 0,280 \left[ 1 + 5,59 \frac{\sqrt{E / F_u}}{d_a / t} \right] t d_a F_u \quad (Ec. E2.2.1-3)$$

$$\Omega = 2,50 \text{ (ASD)}$$

$$\phi = 0,50 \text{ (LRFD)}$$

$$\text{Para } (d_a / t) \geq 1,397 \sqrt{(E / F_u)} \quad (Ec. E2.2.1-4)$$

$$P_n = 1,40 t d_a F_u$$

$$\Omega = 2,50 \text{ (ASD)}$$

$$\phi = 0,50 \text{ (LRFD)}$$

donde

$P_n$  = Resistencia nominal al corte de un punto de soldadura por arco

$d$  = Diámetro visible de la superficie exterior del punto de soldadura por arco

- $d_a$  = Diámetro promedio del punto de soldadura por arco a la mitad del espesor de  $t$ , donde  $d_a = (d - t)$  para una sola plancha, y  $(d - 2t)$  para múltiples planchas (no más de cuatro planchas superpuestas sobre un miembro de apoyo)
- $d_e$  = Diámetro efectivo de la superficie fundida en el plano de máxima transferencia de corte  
 $= 0,7d - 1,5t$  pero  $\leq 0,55d$  (Ec. E2.2.1-5)
- $t$  = Espesor total combinado del acero base (excluyendo los revestimientos) de las planchas que participan en la transferencia de corte sobre el plano de máxima transferencia de corte
- $F_{xx}$  = Denominación de la resistencia del metal de relleno en la clasificación de electrodos AWS
- $F_u$  = Resistencia a la tracción según lo especificado en las Secciones A3.1 ó A3.2.

**Nota:** Ver Figuras E2.2C y E2.2D para las definiciones de los diámetros.

La distancia medida en la línea de fuerza desde el eje de una soldadura hasta el borde más cercano de una soldadura adyacente o hasta el extremo de la parte conectada hacia la cual se dirige la fuerza no debe ser menor que el valor de  $e_{min}$  dado a continuación:

$$e_{min} = \frac{P\Omega}{F_u t} \quad (\text{ASD}) \quad (\text{Ec. E2.2.1-6a})$$

$$e_{min} = \frac{P_u}{\phi F_u t} \quad (\text{LRFD}) \quad (\text{Ec. E2.2.1-6b})$$

Cuando  $F_u/F_{sy} \geq 1,08$

$$\Omega = 2,0 \quad (\text{ASD})$$

$$\phi = 0,70 \quad (\text{LRFD})$$

Cuando  $F_u/F_{sy} < 1,08$

$$\Omega = 2,22 \quad (\text{ASD})$$

$$\phi = 0,60 \quad (\text{LRFD})$$

donde

$P$  = Resistencia requerida (fuerza nominal) transmitida por la soldadura (ASD)

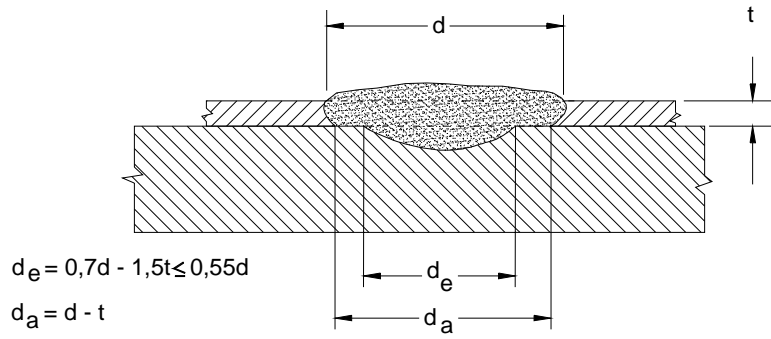
$P_u$  = Resistencia requerida (fuerza factoreada) transmitida por la soldadura (LRFD)

$t$  = Espesor de la plancha conectada más delgada

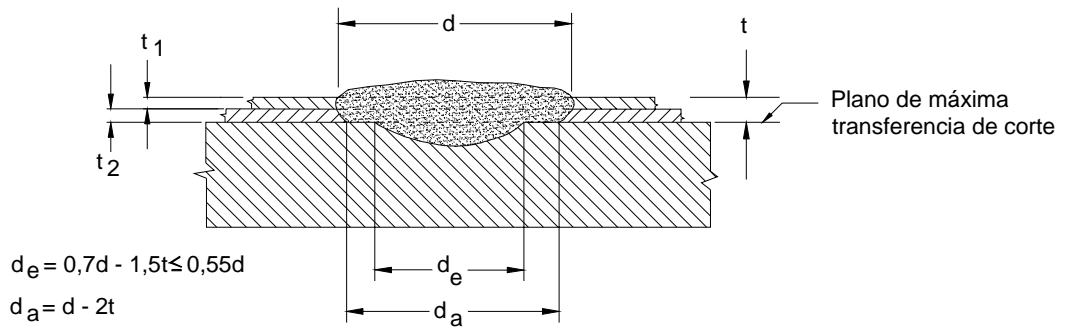
$F_{sy}$  = Límite de fluencia de acuerdo con lo especificado en las Secciones A3.1 ó A3.2

**Nota:** Ver Figuras E2.2E y E2.2F para las definiciones de los diámetros.

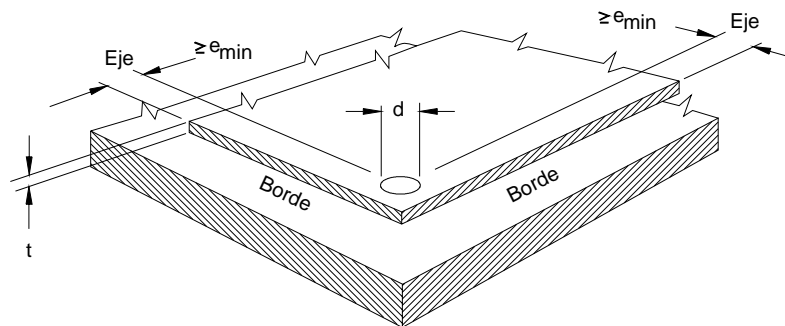
Además, la distancia entre el eje de cualquier soldadura hasta el extremo o borde del miembro conectado no debe ser menor que  $1,5d$ . En ningún caso la distancia libre entre las soldaduras y el extremo del miembro debe ser menor que  $1,0d$ .



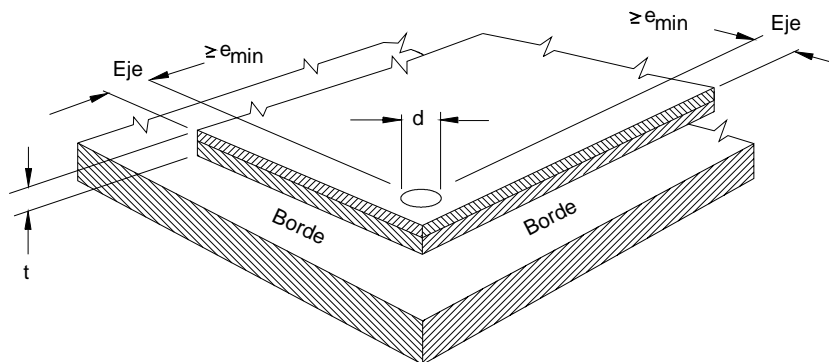
**Figura E2.2C Punto de soldadura por arco - Un solo espesor de plancha**



**Figura E2.2D Punto de soldadura por arco - Doble espesor de plancha**



**Figura E2.2E Distancias a los bordes para puntos de soldadura por arco - Una sola plancha**



**Figura E2.2F Distancias a los bordes para puntos de soldadura por arco - Doble plancha**

### E2.2.2 Tracción

La resistencia nominal a la tracción de levantamiento,  $P_n$ , de cada punto de soldadura por arco con carga concéntrica que conecta planchas y un miembro de apoyo se debe calcular como el menor valor entre:

$$P_n = \frac{\pi d_e^2}{4} F_{xx} \quad (\text{Ec. E2.2.2-1})$$

o ya sea:

Para  $F_u / E < 0,00187$

$$P_n = [6,59 - 3150(F_u / E)] t_d F_u \leq 1,46 t_d F_u \quad (\text{Ec. E2.2.2-2})$$

Para  $F_u / E \geq 0,00187$

$$P_n = 0,70 t_d F_u \quad (\text{Ec. E2.2.2-3})$$

$$\Omega = 2,50 \quad (\text{ASD})$$

$$\phi = 0,60 \quad (\text{LRFD})$$

También se aplican las siguientes limitaciones adicionales:

$$e_{\min} \geq d$$

$$F_{xx} \geq 60 \text{ ksi (414 MPa)}$$

$$F_u \leq 82 \text{ ksi (565 MPa) (de las planchas conectadas)}$$

$$F_{xx} > F_u$$

donde todos los demás parámetros corresponden a lo definido en la Sección E2.2.1

Para puntos de soldadura por arco con carga excéntrica sometidos a una tracción de levantamiento, la resistencia nominal a la tracción se debe tomar como el cincuenta por ciento del valor anterior.

Para conexiones con múltiples planchas, la resistencia se debe determinar utilizando la sumatoria de los espesores de las planchas como se indica en las Ecuaciones E2.2.2-2 y E2.2.2-3.

Dentro de los sistemas de tableros, en las conexiones solapadas de los laterales, la resistencia nominal a la tracción de la unión soldada debe ser igual al 70 por ciento de los valores anteriores.

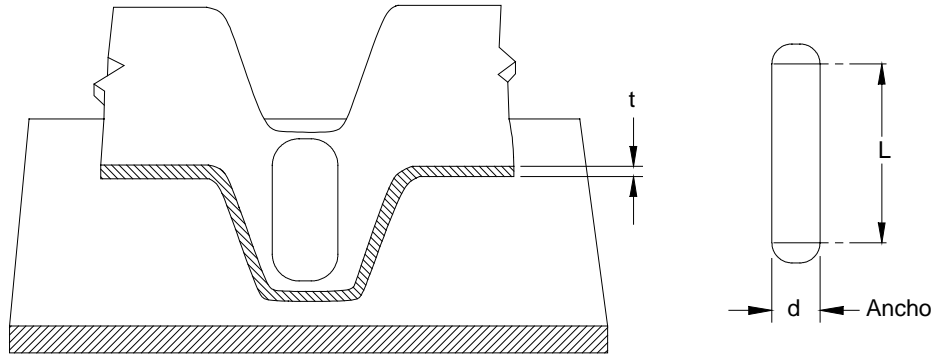
Si mediante mediciones se puede demostrar que utilizando un procedimiento de soldadura dado se obtendrá un mayor diámetro efectivo,  $d_e$ , o un mayor diámetro medio,  $d_a$ , según corresponda, este mayor diámetro se puede utilizar siempre que se siga el procedimiento de soldadura utilizado para las mismas.

### E2.3 Cordones de soldadura por arco

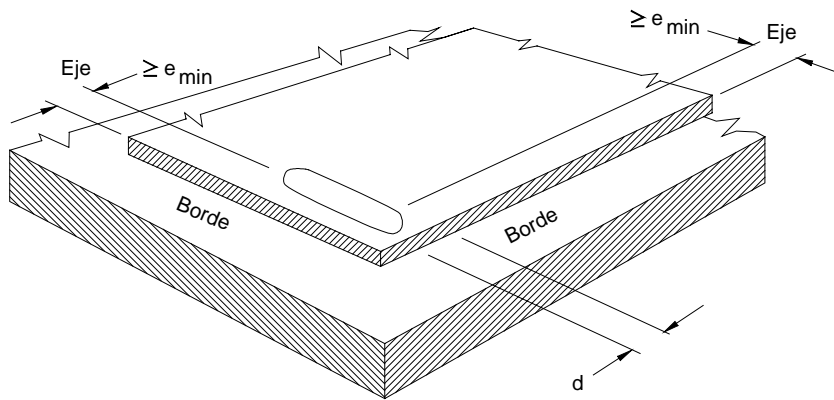
Los cordones de soldadura por arco (Figura E2.3A) cubiertos por esta *Especificación* se aplican sólo a las siguientes uniones:

- Plancha a miembro de apoyo de mayor espesor en posición plana.
- Plancha a plancha en posición horizontal o plana.

La resistencia nominal al corte,  $P_n$ , de los cordones de soldadura por arco se deben determinar utilizando el menor valor de:



**Figura E2.3A** Cordón de soldadura por arco - Plancha a miembro de apoyo en posición plana



**Figura E2.3B** Distancias a los bordes para cordones de soldadura por arco

$$(a) P_n = \left[ \frac{\pi d_e^2}{4} + L d_c \right] 0,75 F_{xx} \quad (Ec. E2.3-1)$$

$$(b) P_n = 2,5 t F_u (0,25L + 0,96d_a) \quad (Ec. E2.3-2)$$

$$\Omega = 2,50 (\text{ASD})$$

$$\phi = 0,60 (\text{LRFD})$$

donde

$P_n$  = Resistencia nominal al corte de un cordón de soldadura por arco

$d$  = Ancho del cordón de soldadura por arco

$L$  = Longitud del cordón de soldadura por arco excluyendo los extremos redondeados

(A los fines del cálculo,  $L$  no debe ser mayor que  $3d$ )

$d_a$  = Ancho promedio del cordón de soldadura por arco

donde

$$d_a = (d - t) \text{ para una sola plancha, y} \quad (Ec. E2.3-3)$$

$$(d - 2t) \text{ para plancha doble} \quad (Ec. E2.3-4)$$

$d_c$  = Ancho efectivo del cordón de soldadura por arco en las superficies fundidas

$$d_c = 0,7d - 1,5t \quad (Ec. E2.3-5)$$

y  $F_u$  y  $F_{xx}$  se definen en la Sección E2.2.1. La mínima distancia al borde debe ser igual a la determinada para el punto de soldadura por arco, Sección E2.2.1. Ver Figura E2.3B.

## E2.4 Soldaduras de filete

Las soldaduras de filete cubiertas por esta *Especificaciones* se aplican a la soldadura de uniones en cualquier posición, ya sea:

- (a) Plancha a plancha, o
- (b) Plancha a un miembro de acero de mayor espesor.

La resistencia nominal al corte,  $P_n$ , de una soldadura de filete se debe determinar de la siguiente manera:

- (a) Para carga longitudinal:

Para  $L/t < 25$ :

$$P_n = \left(1 - \frac{0,01L}{t}\right) tLF_u \quad (\text{Ec. E2.4-1})$$

$$\Omega = 2,50(\text{ASD})$$

$$\phi = 0,60(\text{LRFD})$$

Para  $L/t \geq 25$ :

$$P_n = 0,75 tLF_u \quad (\text{Ec. E2.4-2})$$

$$\Omega = 2,50(\text{ASD})$$

$$\phi = 0,55(\text{LRFD})$$

- (b) Para carga transversal:

$$P_n = tLF_u \quad (\text{Ec. E2.4-3})$$

$$\Omega = 2,50(\text{ASD})$$

$$\phi = 0,60(\text{LRFD})$$

donde  $t$  = valor menor entre  $t_1$  ó  $t_2$ , Figuras E2.4A y E2.4B

Además, para  $t > 0,150$  in. (3,81 mm) la resistencia nominal determinada anteriormente no debe superar el siguiente valor de  $P_n$ :

$$P_n = 0,75 t_w LF_{xx} \quad (\text{Ec. E2.4-4})$$

$$\Omega = 2,50(\text{ASD})$$

$$\phi = 0,60(\text{LRFD})$$

donde

$P_n$  = Resistencia nominal al corte de una soldadura de filete

$L$  = Longitud de la soldadura de filete

$t_w$  = Garganta efectiva =  $0,707w_1$  ó  $0,707w_2$ , cualquiera sea el que resulte menor. Estará permitida una mayor garganta efectiva si las mediciones muestran que con el procedimiento de soldadura a utilizar se obtienen mayores valores de  $t_w$  de manera consistente.

$w_1$  y  $w_2$  = cantos de la soldadura (ver Figuras E2.4 y E2.4B). En las uniones solapadas  $w_1 \leq t_1$ .

$F_u$  y  $F_{xx}$  se definen en la Sección E2.2.1.

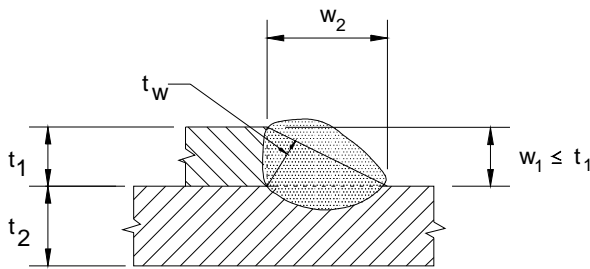


Figura E2.4A Soldaduras de filete - Unión solapada

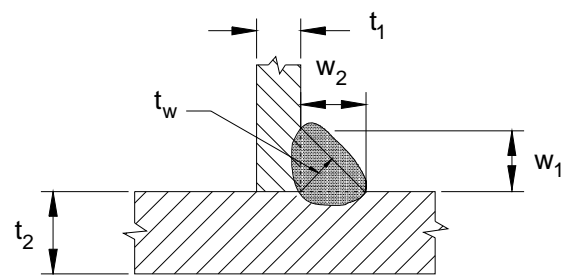


Figura E2.4B Soldaduras de filete - Unión en T

## E2.5 Soldaduras de ranura biselada

Las soldaduras de ranura biselada cubiertas por esta *Especificación* se aplican a la soldadura de uniones en cualquier posición, ya sea:

- Plancha a plancha para soldaduras de ranura biselada en V, o
- Plancha a plancha para soldaduras de ranura biselada, o
- Plancha a miembro de acero de mayor espesor para soldaduras de ranura biselada.

La resistencia nominal al corte,  $P_n$ , de una soldadura de ranura biselada se debe determinar de la siguiente manera:

- Para soldaduras de ranura biselada, carga transversal (ver Figura E2.5A):

$$P_n = 0,833tL F_u \quad (\text{Ec. E2.5-1})$$

$$\Omega = 2,50 (\text{ASD})$$

$$\phi = 0,55 (\text{LRFD})$$

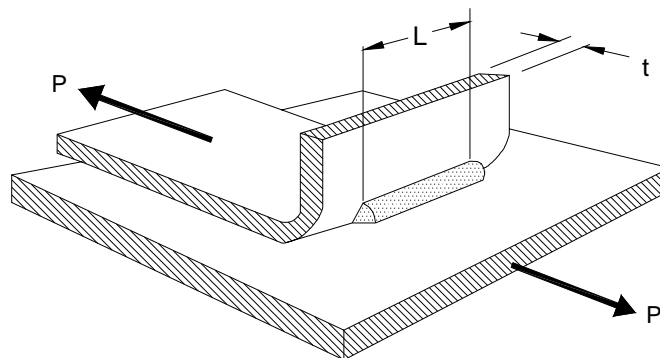


Figura E2.5A Soldadura de ranura biselada

- Para soldaduras de ranura biselada, carga longitudinal (ver Figuras E2.5B a E2.5G):

- Para  $t \leq t_w < 2t$  o si la altura del labio rigidizador,  $h$ , es menor que la longitud de la soldadura,  $L$ :

$$P_n = 0,75tL F_u \quad (\text{Ec. E2.5-2})$$

$$\Omega = 2,50 (\text{ASD})$$

$$\phi = 0,55 (\text{LRFD})$$

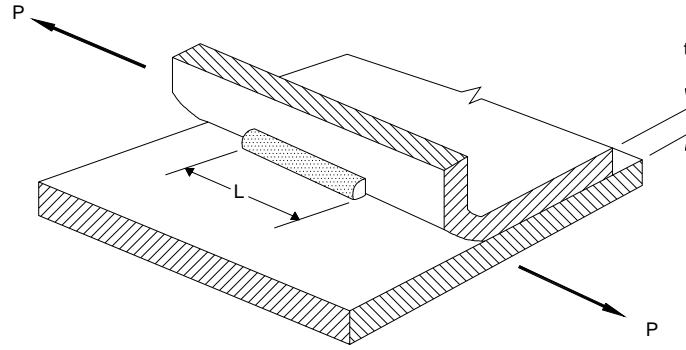


Figura E2.5AB Corte en una soldadura de ranura biselada

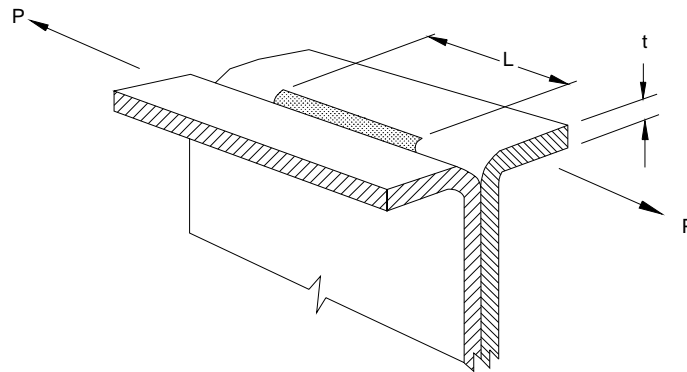


Figura E2.5C Corte en una soldadura de ranura biselada en V

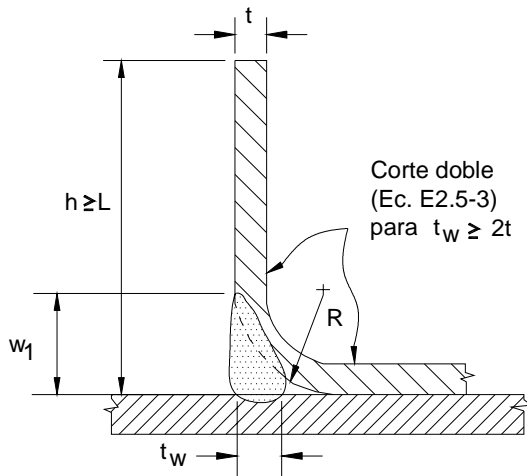


Figura E2.5D Soldadura de ranura biselada  
(Emparejada al nivel de la superficie,  $w_1 = R$ )

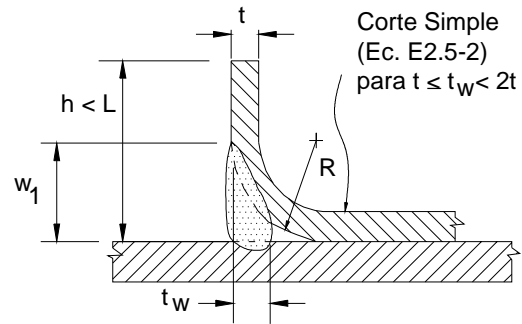


Figura E2.5E Soldadura de ranura biselada  
(Emparejada al nivel de la superficie,  $w_1 = R$ )

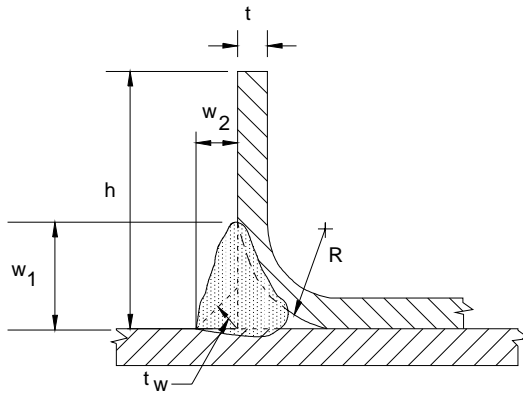
- (2) Para  $t_w \geq 2t$  y la altura del labio rigidizador,  $h$ , es mayor o igual que la longitud de soldadura,  $L$ :

$$P_n = 1,50tL F_u$$

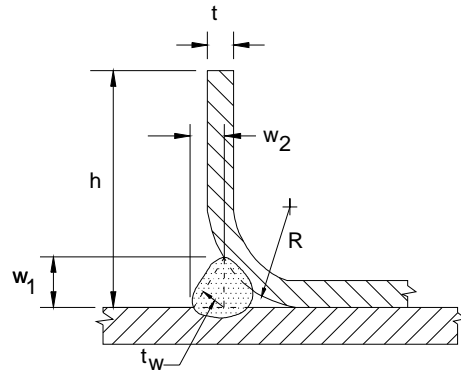
$$\Omega = 2,50 \text{ (ASD)}$$

$$\phi = 0,55 \text{ (LRFD)}$$

(Ec. E2.5-3)



**Figura E2.5F Soldadura de ranura biselada  
(No emparejada al nivel de la superficie,  $w_1 > R$ )**



**Figura E2.5G Soldadura de ranura biselada  
(No emparejada al nivel de la superficie,  $w_1 < R$ )**

Además, si  $t > 0,15$  in. (3,81 mm), la resistencia nominal determinada anteriormente no debe superar el siguiente valor de  $P_n$ :

$$P_n = 0,75t_w L F_{xx} \quad (\text{Ec. E2.5-4})$$

$$\Omega = 2,50(\text{ASD})$$

$$\phi = 0,60(\text{LRFD})$$

donde

$P_n$  = Resistencia nominal limitante de la soldadura

$h$  = Altura del labio rigidizador

$L$  = Longitud de la soldadura

$t_w$  = Garganta efectiva de una soldadura de ranura biselada emparejada al nivel de la superficie (Ver Figuras E2.5D y E2.5E):

Para soldadura de ranura biselada =  $5/16R$

Para soldadura de ranura biselada en V =  $1/2R$  ( $3/8R$  cuando  $R > 1/2$  in. (12,7 mm))

= Garganta efectiva de una soldadura de ranura biselada no emparejada al nivel de la superficie =  $0,707w_1$  ó  $0,707w_2$  - cualquiera sea el que resulte menor (Ver Figuras E2.5F y E2.5G)

= Estará permitida una garganta efectiva mayor que las anteriores si las mediciones muestran que con el procedimiento de soldadura a utilizar se obtienen mayores valores de  $t_w$  de manera consistente.

$R$  = Radio de la superficie curva exterior

$w_1$  y  $w_2$  = Cantos de la soldadura (Ver Figuras E2.5F y E2.5G)

$F_u$  y  $F_{xx}$  se definen en la Sección E2.2.1.

## E2.6 Soldaduras de resistencia

La resistencia nominal al corte,  $P_n$ , de las soldaduras de punto se deben determinar de la siguiente manera:

$P_n$  = Valor tabulado dado en la Tabla E2.6

$$\Omega = 2,50(\text{ASD})$$

$$\phi = 0,65(\text{LRFD})$$

**TABLA E2.6**  
**Resistencia nominal al corte de las soldaduras de punto**

Espesor de la plancha exterior más delgada		Resistencia nominal al corte por cada punto		Espesor de la plancha exterior más delgada		Resistencia nominal al corte por punto	
in.	mm	kips	kN	in.	mm	kips	kN
0,010	0,25	0,13	0,58	0,080	2,03	3,33	14,81
0,020	0,51	0,48	2,14	0,090	2,29	4,00	17,79
0,030	0,76	1,00	4,45	0,100	2,54	4,99	22,20
0,040	1,02	1,42	6,32	0,110	2,79	6,07	27,00
0,050	1,27	1,65	7,34	0,125	3,17	7,29	32,43
0,060	1,52	2,28	10,14	0,190	4,83	10,16	45,19
0,070	1,78	2,83	12,59	0,250	6,35	15,00	66,72

### E3 Uniones abulonadas

Los siguientes criterios de diseño determinan las uniones abulonadas utilizadas para miembros de acero estructural conformado en frío en las cuales el espesor de la parte conectada más delgada es menor que 3/16 in. (4,76 mm). Para uniones abulonadas en las cuales el espesor de la parte conectada más delgada es mayor o igual que 3/16 in. (4,76 mm), ver la publicación "*Specification for Structural Steel Buildings, Allowable Stress Design and Plastic Design*" de AISC o la publicación "*Load and Resistance Factor Design Specification for Structural Steel Buildings*".

Los bulones, las tuercas y las arandelas generalmente cumplen con una de las siguientes especificaciones:

- ASTM A194/A194M, Carbon and Alloy Steel Nuts for Bolts for High-Pressure and High-Temperature Service
- ASTM A307(Type A), Carbon Steel Bolts and Studs, 60 000 PSI Tensile Strength
- ASTM A325, Structural Bolts, Steel, Heat Treated, 120/105 ksi Minimum Tensile Strength
- ASTM A325M, High Strength Bolts for Structural Steel Joints [Metric]
- ASTM A354 (Grade BD), Quenched and Tempered Alloy Steel Bolts, Studs, and Other Externally Threaded Fasteners (for diameter of bolt smaller than ½ inch)
- ASTM A449, Quenched and Tempered Steel Bolts and Studs (for diameter of bolt smaller than ½ inch)
- ASTM A490, Heat-Treated Steel Structural Bolts, 150 ksi Minimum Tensile Strength
- ASTM A490M, High Strength Steel bolts, Classes 10.9 and 10.9.3, for Structural Steel Joints [Metric]
- ASTM A563, Carbon and Alloy Steel Nuts
- ASTM A563M, Carbon and Alloy Steel Nuts [Metric]
- ASTM F436, Hardened Steel Washers
- ASTM F436M, Hardened Steel Washers [Metric]
- ASTM F844, Washers, Steel, Plain (Flat), Unhardened for General Use
- ASTM F959, Compressible Washer-Type Direct Tension Indicators for Use with Structural Fasteners

### ASTM F959M, Compressible Washer-Type Direct Tension Indicators for Use with Structural Fasteners [Metric]

Cuando se utilizan elementos diferentes a los anteriores, los planos deben indicar claramente el tipo y tamaño de los sujetadores a utilizar y la resistencia nominal supuesta para el diseño.

Los bulones se deben instalar y ajustar para lograr un comportamiento satisfactorio de las uniones.

Las perforaciones para los bulones no deben ser mayores que los tamaños especificados en la Tabla E3, excepto que está permitido utilizar perforaciones de mayor tamaño en los detalles de las bases de las columnas o en los sistemas estructurales unidos a muros de hormigón.

En las uniones abulonadas se deben utilizar perforaciones estándares, excepto que si el diseñador lo autoriza se pueden utilizar perforaciones sobredimensionadas y ranuradas. La longitud de las perforaciones ranuradas debe ser normal a la dirección de la carga de corte. Se deben colocar arandelas o placas de refuerzo sobre las perforaciones sobredimensionadas o ranuradas ubicadas en una plancha exterior, a menos que ensayos de carga demuestren un comportamiento adecuado de acuerdo con el Capítulo F.

**TABLA E3**  
**Máximo tamaño de las perforaciones para bulones, pulgadas**

Diámetro nominal del bulón, d, in.	Diámetro de la perforación estándar, $d_h$ , in.	Diámetro de la perforación sobredimensionada, $d_h$ , in.	Dimensiones de la perforación con ranura corta, in.	Dimensiones de la perforación con ranura larga, in.
$< \frac{1}{2}$	$d + 1/32$	$d + 1/16$	( $d + 1/32$ ) por ( $d + 1/4$ )	( $d + 1/32$ ) por ( $2\frac{1}{2} d$ )
$\geq \frac{1}{2}$	$d + 1/16$	$d + 1/8$	( $d + 1/16$ ) por ( $d + 1/4$ )	( $d + 1/16$ ) por ( $2\frac{1}{2} d$ )

**TABLA E3**  
**Máximo tamaño de las perforaciones para bulones, milímetros**

Diámetro nominal del bulón, d, mm	Diámetro de la perforación estándar, $d_h$ , mm	Diámetro de la perforación sobredimensionada, $d_h$ , mm	Dimensiones de la perforación con ranura corta, mm	Dimensiones de la perforación con ranura larga, mm
$< 12,7$	$d + 0,8$	$d + 1,6$	( $d + 0,8$ ) por ( $d + 6,4$ )	( $d + 0,8$ ) por ( $2\frac{1}{2} d$ )
$\geq 12,7$	$d + 1,6$	$d + 3,2$	( $d + 1,6$ ) por ( $d + 6,4$ )	( $d + 1,6$ ) por ( $2\frac{1}{2} d$ )

#### E3.1 Corte, separación y distancia a los bordes

La resistencia nominal al corte,  $P_n$ , de la parte conectada afectada por la separación y la distancia al borde en la dirección de la fuerza aplicada se debe calcular de la siguiente manera:

$$P_n = t e F_u \quad (\text{Ec. E3.1-1})$$

(a) Cuando  $F_u / F_{sy} \geq 1,08$ :

$$\Omega = 2,0 \text{ (ASD)}$$

$$\phi = 0,70 \text{ (LRFD)}$$

(b) Cuando  $F_u / F_{sy} < 1,08$ :

$$\Omega = 2,22 \text{ (ASD)}$$

$$\phi = 0,60 \text{ (LRFD)}$$

donde

$P_n$  = Resistencia nominal por bulón

$e$  = Distancia medida en la dirección de la fuerza entre el centro de una perforación estándar y el borde más cercano de una perforación adyacente o hasta el extremo de la parte conectada

$t$  = Espesor de la parte conectada más delgada

$F_u$  = Resistencia a la tracción de la parte conectada de acuerdo con lo especificado en la Sección A3.1 ó A3.2

$F_{sy}$  = Límite de fluencia de la parte conectada de acuerdo con lo especificado en la Sección A3.1 ó A3.2

Además, la distancia mínima entre los centros de las perforaciones para bulones debe permitir una luz libre suficiente para las cabezas de los bulones, tuercas, arandelas y la llave, y no debe ser menor que tres veces el diámetro nominal del bulón,  $d$ . Además, la distancia entre el centro de cualquier perforación estándar y el extremo u otro borde del miembro conectado no debe ser menor que  $1\frac{1}{2}d$ .

Para perforaciones sobredimensionadas y ranuradas, la distancia entre los bordes de dos perforaciones adyacentes y la distancia medida desde el borde de la perforación y el extremo o el otro borde del miembro conectado en la línea del esfuerzo no debe ser menor que el valor de  $e - (d_h/2)$ , siendo  $e$  la distancia requerida calculada utilizando la ecuación correspondiente dada anteriormente y  $d_h$  el diámetro de una perforación estándar definido en la Tabla E3. En ningún caso la distancia libre entre los bordes de dos perforaciones adyacentes debe ser menor que  $2d$  ni la distancia entre el borde de la perforación y el extremo del miembro menor que  $d$ .

### E3.2 Tracción en cada una de las partes conectadas

La resistencia nominal a la tracción,  $P_n$ , en la sección neta de cada una de las partes conectadas se debe calcular de la siguiente manera:

(a) Hay arandelas tanto debajo de la cabeza del bulón como debajo de la tuerca

$$P_n = (1,0 - 0,9r + 3rd/s) F_u A_n \leq F_u A_n \quad (\text{Ec. E3.2-1})$$

Para corte doble:

$$\Omega = 2,0 \text{ (ASD)}$$

$$\phi = 0,65 \text{ (LRFD)}$$

Para corte simple:

$$\Omega = 2,22 \text{ (ASD)}$$

$$\phi = 0,55 \text{ (LRFD)}$$

(b) No hay arandelas debajo de la cabeza del bulón y de la tuerca, o bien hay una sola arandela ya sea debajo de la cabeza del bulón o de la tuerca

$$P_n = (1,0 - r + 2,5rd/s) F_u A_n \leq F_u A_n \quad (\text{Ec. E3.2-2})$$

$$\Omega = 2,22 \text{ (ASD)}$$

$$\phi = 0,65 \text{ (LRFD)}$$

Además, la resistencia nominal a la tracción no debe superar los siguientes valores:

$$P_n = F_y A_n$$

(Ec. E3.2-3)

$$\Omega = 1,67 \text{ (ASD)}$$

$$\phi = 0,95 \text{ (LRFD)}$$

donde

$A_n$  = Superficie neta de la parte conectada

$r$  = Fuerza transmitida por el bulón o los bulones en la sección considerada, dividida por la fuerza de tracción en el miembro en dicha sección. Si  $r$  es menor que 0,2 está permitido adoptar  $r = 0$

$s$  = Separación de los bulones perpendicular a la línea del esfuerzo.

En el caso de un solo bulón,  $s$  = Ancho total de la plancha

$F_u$  = Resistencia a la tracción de la parte conectada de acuerdo con lo especificado en la Sección E3.1 ó E3.2

$F_y$  = Límite de fluencia de la parte conectada

$d$  y  $t$  se definen en la Sección E3.1

### E3.3 Apoyos

La resistencia nominal de apoyo,  $P_n$ , y los factores  $\Omega$  y  $\phi$  aplicables deben ser como se indica en las Tablas E3.3-1 y E3.3-2 para el espesor aplicable y relación  $F_u/F_{sy}$  de la parte conectada y el tipo de unión utilizada en la conexión.

Los símbolos  $\Omega$ ,  $\phi$ ,  $P_n$ ,  $d$ ,  $F_u$  y  $t$  utilizados en las Tablas E3.3-1 y E3.3-2 ya fueron definidos anteriormente. Para condiciones no indicadas, la resistencia de cálculo en los apoyos de las conexiones abulonadas se debe determinar mediante ensayos.

**TABLA E3.3-1**  
**Resistencia nominal de apoyo para conexiones abulonadas**  
**con arandelas tanto debajo de la cabeza del bulón como de la tuerca**

Espesor de la parte conectada, $t$ in. (mm)	Tipo de unión	Relación $F_u/F_{sy}$ de la parte conectada	$\Omega$ ASD	$\phi$ LRFD	Resistencia nominal $P_n$
$0,024 \leq t < 0,1875$ ( $0,61 \leq t < (4,76)$ )	Plancha interior de una conexión con doble corte	$\geq 1,08$	2,22	0,55	$3,33 F_u dt$
		$< 1,08$	2,22	0,65	$3,00 F_u dt$
	Corte simple y planchas exteriores de una conexión con corte doble	Sin límite	2,22	0,60	$3,00 F_u dt$
$t \geq 3/16$ $t \geq (4,76)$	Ver las Especificaciones para ASD o LRFD de AISC				

**TABLA E3.3-2**  
**Resistencia nominal de apoyo para conexiones abulonadas**  
**sin arandelas debajo de la cabeza del bulón y de la tuerca, o con una sola arandela**

Espesor de la parte conectada, t in. (mm)	Tipo de unión	Relación $F_u/F_{sy}$ de la parte conectada	$\Omega$ ASD	$\phi$ LRFD	Resistencia nominal $P_n$
$0,024 \leq t < 0,1875$ ( $0,61 \leq t < (4,76)$ )	Plancha interior de una conexión con doble corte	$\geq 1,08$	2,22	0,65	$3,00 F_u dt$
	Corte simple y planchas exteriores de una conexión con corte doble	$\geq 1,08$	2,22	0,70	$2,22 F_u dt$
$t \geq 3/16$ $t \geq (4,76)$	Ver las Especificaciones para ASD o LRFD de AISC				

### E3.4 Corte y tracción en los bulones

La resistencia nominal del bulón,  $P_n$ , que resulta del corte, tracción o de una combinación de corte y tracción se debe calcular de la siguiente manera:

$$P_n = A_b F \quad (\text{Ec. E3.4-1})$$

donde

$A_b$  = Superficie bruta de la sección transversal del bulón

Cuando los bulones están sometidos a corte o tracción:

$F$  está dada por  $F_{nv}$  o  $F_{nt}$  en la Tabla E3.4-1

$\Omega$  está dado en la Tabla E3.4-1

$\phi$  está dado en la Tabla E3.4-1

Cuando hay tracción en los bulones es necesario considerar el aplastamiento de la plancha conectada en la cabeza del bulón, tuerca o arandela, ver Sección E6.2.

Cuando los bulones están sometidos a una combinación de corte y tracción:

Para ASD

$F$  está dada por  $F'_{nt}$  en las Tablas E3.4-2 ó E3.4-4 (sistema métrico)

$\Omega$  está dado en las Tablas E3.4-2 ó E3.4-4 (sistema métrico)

Para LRFD

$F$  está dada por  $F'_{nt}$  en las Tablas E3.4-3 ó E3.4-5 (sistema métrico)

$\Omega$  está dado en las Tablas E3.4-3 ó E3.4-5 (sistema métrico)

**TABLA E3.4-1**  
**Resistencias nominales a la tracción y al corte para bulones**

Descripción de los bulones	Resistencia a la tracción			Resistencia al corte*		
	Factor de seguridad $\Omega$ (ASD)	Factor de Resistencia $\phi$ (LRFD)	Tensión nominal, $F_{nt}$ , ksi (MPa)	Factor de seguridad $\Omega$ (ASD)	Factor de Resistencia $\phi$ (LRFD)	Tensión nominal, $F_{nv}$ , ksi (MPa)
Bulones A307, Grado A $\frac{1}{4}$ in. (6,4mm) $\leq d$ $< \frac{1}{2}$ in. (12,7mm)	2,25	0,75	40,5 (279)	2,4	0,65	24,0 (165)
Bulones A307, Grado A $d \geq \frac{1}{2}$ in.	2.25		45,0 (310)			27,0 (186)
Bulones A325, cuando los filetes no se excluyen de los planos de corte	2,0		90,0 (621)			54,0 (372)
Bulones A325, cuando los filetes se excluyen de los planos de corte			90,0 (621)			72,0 (496)
Bulones A354 Grado BD $\frac{1}{4}$ in. $\leq d < \frac{1}{2}$ in. cuando los filetes no se excluyen de los planos de corte			101,0 (696)			59,0 (407)
Bulones A354 Grado BD $\frac{1}{4}$ in. $\leq d < \frac{1}{2}$ in. cuando los filetes se excluyen de los planos de corte			101,0 (696)			90,0 (621)
Bulones A449 $\frac{1}{4}$ in. $\leq d < \frac{1}{2}$ in. cuando los filetes no se excluyen de los planos de corte			81,0 (558)			47,0 (324)
Bulones A449 $\frac{1}{4}$ in. $\leq d < \frac{1}{2}$ in. cuando los filetes se excluyen de los planos de corte			81,0 (558)			72,0 (496)
Bulones A490, cuando los filetes no se excluyen de los planos de corte			112,5 (776)			67,5 (465)
Bulones A490, cuando los filetes se excluyen de los planos de corte			112,5 (776)			90,0 (621)

\* Se aplica para bulones en perforaciones que satisfacen las limitaciones de la Tabla E3. Se deben colocar arandelas o placas de refuerzo sobre las perforaciones de ranura larga y la capacidad de las conexiones en las cuales se utilizan perforaciones de ranura larga se debe determinar mediante ensayos de carga de acuerdo con el Capítulo F.

**TABLA E3.4-2 (ASD)**  
**Tensión de tracción nominal,  $F'_{nt}$  (ksi), para bulones**  
**sometidos a la combinación de corte y tracción**

Descripción de los bulones	Filetes no excluidos de los planos de corte	Filetes excluidos de los planos de corte	Factor de Seguridad $\Omega$
Bulones A325 Bulones A354 Grado BD Bulones A449 Bulones A490	110 – 3,6 $f_v \leq 90$ 122 – 3,6 $f_v \leq 101$ 100 – 3,6 $f_v \leq 81$ 136 – 3,6 $f_v \leq 112,5$	110 – 2,8 $f_v \leq 90$ 122 – 2,8 $f_v \leq 101$ 100 – 2,8 $f_v \leq 81$ 136 – 2,8 $f_v \leq 112,5$	2,0
Bulones A307, Grado A Cuando $\frac{1}{4}$ in. $\leq d < \frac{1}{2}$ in. Cuando $d \geq \frac{1}{2}$ in.	52 - 4 $f_v \leq 276$ 58,5 - 4 $f_v \leq 310$		2,25

La tensión de corte,  $f_v$ , también debe satisfacer la Tabla E3.4-1.

**TABLA E3.4-3 (LRFD)**  
**Tensión de tracción nominal,  $F'_{nt}$  (ksi), para bulones**  
**sometidos a la combinación de corte y tracción**

Descripción de los bulones	Filetes no excluidos de los planos de corte	Filetes excluidos de los planos de corte	Factor de Resistencia $\phi$
Bulones A325 Bulones A354 Grado BD Bulones A449 Bulones A490	113 – 2,4 $f_v \leq 90$ 127 – 2,4 $f_v \leq 101$ 101 – 2,4 $f_v \leq 81$ 141 – 2,4 $f_v \leq 112,5$	113 – 1,9 $f_v \leq 90$ 127 – 1,9 $f_v \leq 101$ 101 – 1,9 $f_v \leq 81$ 141 – 1,9 $f_v \leq 112,5$	0,75
Bulones A307, Grado A Cuando $\frac{1}{4}$ in. $\leq d < \frac{1}{2}$ in. Cuando $d \geq \frac{1}{2}$ in.	47 – 2,4 $f_v \leq 40,5$ 52 – 2,4 $f_v \leq 45$		0,75

La tensión de corte,  $f_v$ , también debe satisfacer la Tabla E3.4-1.

**TABLA E3.4-4 (ASD)**  
**Tensión de tracción nominal,  $F'_{nt}$  (MPa), para bulones**  
**sometidos a la combinación de corte y tracción**

Descripción de los bulones	Filetes no excluidos de los planos de corte	Filetes excluidos de los planos de corte	Factor de Seguridad $\Omega$
Bulones A325 Bulones A354 Grado BD Bulones A449 Bulones A490	758 – 25 $f_v \leq 607$ 841 – 25 $f_v \leq 676$ 690 – 25 $f_v \leq 552$ 938 – 25 $f_v \leq 745$	758 – 19 $f_v \leq 607$ 841 – 19 $f_v \leq 676$ 690 – 19 $f_v \leq 552$ 938 – 19 $f_v \leq 745$	2,0
Bulones A307, Grado A Cuando $\frac{1}{4}$ in. $\leq d < \frac{1}{2}$ in. Cuando $d \geq \frac{1}{2}$ in.	324 - 28 $f_v \leq 276$ 359 - 28 $f_v \leq 310$		2,25

**TABLA E3.4-5 (LRFD)**  
**Tensión de tracción nominal,  $F'_{nt}$  (MPa), para bulones**  
**sometidos a la combinación de corte y tracción**

Descripción de los bulones	Filetes no excluidos de los planos de corte	Filetes excluidos de los planos de corte	Factor de Resistencia $\phi$
Bulones A325 Bulones A354 Grado BD Bulones A449 Bulones A490	779 – 17 $f_v \leq 621$ 972 – 17 $f_v \leq 696$ 696 – 17 $f_v \leq 558$ 972 – 17 $f_v \leq 776$	779 – 13 $f_v \leq 621$ 972 – 13 $f_v \leq 696$ 696 – 13 $f_v \leq 558$ 972 – 13 $f_v \leq 776$	0,75
Bulones A307, Grado A Cuando $\frac{1}{4}$ in. $\leq d < \frac{1}{2}$ in. Cuando $d \geq \frac{1}{2}$ in.	324 - 28 $f_v \leq 276$ 359 - 28 $f_v \leq 310$		0,75

#### E4 Uniones atornilladas

En la siguiente sección se utiliza la siguiente notación:

$d$  = Diámetro nominal del tornillo

$\Omega$  = 3,0 (ASD)

$\phi$  = 0,5 (LRFD)

$P_{ns}$  = Resistencia nominal al corte por tornillo

$P_{not}$  = Resistencia nominal al arrancamiento por tornillo

$P_{nov}$  = Resistencia nominal al aplastamiento por tornillo

$t_1$  = Espesor del miembro que está en contacto con la cabeza del tornillo

$t_2$  = Espesor del miembro que no está en contacto con la cabeza del tornillo

$F_{u1}$  = Resistencia a la tracción del miembro que está en contacto con la cabeza del tornillo

$F_{u2}$  = Resistencia a la tracción del miembro que no está en contacto con la cabeza del tornillo

Todos los requisitos de E4 se aplican para tornillos autorroscante donde  $0,08 \text{ in. (2,03 mm)} \leq d \leq 0,25 \text{ in. (6,35 mm)}$ . Los tornillos deben formar o cortar la rosca, con o sin una punta autoperforante. Alternativamente, está permitido que los valores de cálculo para una aplicación determinada se basen en ensayos de acuerdo con la Sección F. Para las aplicaciones en diafragmas se debe utilizar la Sección D5.

Los tornillos se deben instalar y ajustar de acuerdo con las recomendaciones del fabricante.

La resistencia nominal a la tracción en la sección neta de cada uno de los miembros unidos mediante tornillos no debe ser mayor que la resistencia nominal a la tracción del miembro determinada de acuerdo con la Sección C2 ni que la resistencia nominal a la tracción de la conexión determinada de acuerdo con la Sección E3.2.

#### E4.1 Separación mínima

La distancia entre los centros de los sujetadores no debe ser menor que  $3d$ .

#### E4.2 Distancias mínimas a los bordes y a los extremos

La distancia desde el centro de un sujetador hasta el borde de cualquiera de las partes no debe ser menor que  $3d$ . Si la conexión está sometida a esfuerzo de corte solamente en una dirección, la distancia mínima al borde en la dirección perpendicular a la fuerza debe ser de  $1,5d$ .

#### E4.3 Corte

##### E4.3.1 Conexiones sometidas a corte

La resistencia nominal al corte por tornillo,  $P_{ns}$ , se debe determinar de la siguiente manera:

Para  $t_2/t_1 \leq 1,0$   $P_{ns}$  se debe tomar como el menor valor entre

$$P_{ns} = 4,2(t_2^3 d)^{1/2} F_{u2} \quad (\text{Ec. E4.3.1-1})$$

$$P_{ns} = 2,7t_1 d F_{u1} \quad (\text{Ec. E4.3.1-2})$$

$$P_{ns} = 2,7t_2 d F_{u2} \quad (\text{Ec. E4.3.1-3})$$

Para  $t_2/t_1 \geq 2,5$   $P_{ns}$  se debe tomar como el menor valor entre

$$P_{ns} = 2,7t_1 d F_{u1} \quad (\text{Ec. E4.3.1-4})$$

$$P_{ns} = 2,7t_2 d F_{u2} \quad (\text{Ec. E4.3.1-5})$$

Para  $1,0 < t_2/t_1 < 2,5$   $P_{ns}$  se debe determinar interpolando linealmente entre los dos casos anteriores.

##### E4.3.2 Tornillos sometidos a corte

La resistencia nominal al corte del tornillo se debe determinar mediante ensayos de acuerdo con la Sección F1(a). La resistencia nominal al corte del tornillo no debe ser menor que  $1,25P_{ns}$ . El factor de seguridad,  $\Omega$ , para el diseño por ASD y el factor de resistencia,  $\phi$ , para el diseño por LRFD se deben determinar de acuerdo con la Sección F1(a).

## E4.4 Tracción

En el caso de los tornillos que soportan tracción, la cabeza del tornillo o la arandela (si se coloca arandela) debe tener un diámetro  $d_w$  mayor o igual que 5/16 in. (7,94 mm). Las arandelas deben tener un espesor de al menos 0,050 in. (1,27 mm).

### E4.4.1 Arrancamiento

La resistencia nominal al arrancamiento,  $P_{not}$ , se debe calcular de la siguiente manera:

$$P_{not} = 0,85 t_c d F_{u2} \quad (Ec. E4.4.1.1)$$

donde  $t_c$  es el menor valor entre la profundidad de penetración y el espesor,  $t_2$ .

### E4.4.2 Aplastamiento

La resistencia nominal al aplastamiento,  $P_{nov}$ , se debe calcular de la siguiente manera:

$$P_{nov} = 1,5 t_1 d_w F_{u1} \quad (Ec. E4.4.2.1)$$

donde  $d_w$  es el mayor valor entre el diámetro de la cabeza del tornillo y el diámetro de la arandela, y no se debe tomar superior a 1/2 in. (12,7 mm).

### E4.4.3 Tornillos traccionados

La resistencia nominal a la tracción,  $P_{nt}$ , por tornillo se debe determinar mediante ensayos de acuerdo con la Sección F1(a). La resistencia nominal a la tracción de los tornillos no debe ser menor que 1,25 por el menor entre  $P_{not}$  y  $P_{nov}$ .

$\Omega$  y  $\phi$  se deben determinar de acuerdo con la Sección F1.

## E5 Falla por corte

En las uniones en los extremos de las vigas, donde una o más alas están rebajadas y existe la posibilidad de falla a lo largo de un plano que atraviesa los sujetadores, la resistencia nominal al corte,  $V_n$ , se debe calcular de la siguiente manera:

$$V_n = 0,6 F_u A_{wn} \quad (Ec. E5-1)$$

$$\Omega = 2,0 \text{ (ASD)}$$

$$\phi = 0,75 \text{ (LRFD)}$$

donde

$$A_{wn} = (d_{wc} - n d_h) t \quad (Ec. E5-2)$$

$d_{wc}$  = Profundidad del alma rebajada

$n$  = Número de perforaciones en el plano crítico

$d_h$  = Diámetro de la perforación

$F_u$  = Resistencia a la tracción de acuerdo con lo especificado en la Sección A3.1 ó A3.2

$t$  = Espesor del alma rebajada

## E6 Conexiones a otros materiales

### E6.1 Apoyos

Se deben tomar medidas adecuadas para transferir las fuerzas de apoyo que resultan de las cargas axiales y momentos desde los componentes de acero cubiertos por la *Especificación* hacia los componentes estructurales adyacentes fabricados de diferentes materiales. En ausencia de reglamentaciones codificadas, la resistencia de apoyo nominal en la superficie de contacto se debe determinar de la siguiente manera:

Sobre la superficie total de un apoyo de hormigón:

$$P_p = 0,85f'_c A_1 \quad (\text{Ec. E6.1-1})$$

Sobre menos que la superficie total de un apoyo de hormigón:

$$P_p = 0,85f'_c A_1 \sqrt{A_2 / A_1} \quad (\text{Ec. E6.1-2})$$

donde

$$\Omega_c = 2,50 \text{ (ASD)}$$

$$\phi_c = 0,60 \text{ (LRFD)}$$

$f'_c$  = Resistencia a la compresión del hormigón especificada

$A_1$  = Superficie de apoyo

$A_2$  = Superficie total del apoyo de hormigón

El valor de  $\sqrt{A_2 / A_1}$  no debe ser mayor que 2.

### E6.2 Tracción

Se deben considerar tanto las fuerzas de aplastamiento por corte o tracción en la plancha de acero alrededor de la cabeza del sujetador como la fuerza de arrancamiento debida a las cargas axiales y momentos flectores transmitidos al sujetador desde los diferentes componentes estructurales adyacentes del conjunto.

La resistencia nominal a la tracción del sujetador y la longitud nominal de empotramiento del componente estructural adyacente se deben determinar de acuerdo con los códigos de producto aplicables, con las especificaciones de los productos y/o con la bibliografía sobre el producto.

### E6.3 Corte

Se deben tomar medidas adecuadas para transferir las fuerzas de corte de los componentes de acero cubiertos por esta *Especificación* hacia los componentes estructurales adyacentes fabricados de diferentes materiales. La resistencia al corte requerida y/o la resistencia de apoyo requerida para los componentes de acero no debe ser mayor que la permitida por esta *Especificación*. Se deben cumplir los requisitos sobre empotramiento. También se deben considerar adecuadamente las fuerzas de corte combinadas con otras fuerzas.

## F. ENSAYOS PARA CASOS ESPECIALES

- (a) Los ensayos los debe efectuar un laboratorio de ensayos independiente o un laboratorio de ensayos de un fabricante.
- (b) Los requisitos del Capítulo F no se aplican a los diafragmas de acero conformado en frío. Ver la Sección D5.

### F1 Ensayos para determinar el comportamiento estructural

#### F1.1 Diseño por factores de carga y resistencia

Cuando la composición o configuración de los elementos, conjuntos de elementos, uniones o detalles de los miembros estructurales de acero conformado en frío son tales que no es posible calcular su resistencia de acuerdo con los requisitos de esta *Especificación*, su comportamiento estructural se debe establecer a partir de ensayos y se debe evaluar de acuerdo con el siguiente procedimiento.

- (a) La evaluación de los resultados de los ensayos se debe efectuar en base a los valores promedio de los datos obtenidos del ensayo de no menos de tres muestras idénticas, siempre que ninguna de las desviaciones de los resultados de los ensayos con respecto al valor promedio obtenido de todos los ensayos supere  $\pm 15$  por ciento. Si dicha desviación del valor promedio es superior a  $\pm 15$  por ciento, se deben efectuar más ensayos del mismo tipo hasta que ninguna de las desviaciones de los ensayos individuales con respecto al valor promedio obtenido de todos los ensayos supere  $\pm 15$  por ciento, o hasta que se hayan efectuado al menos tres ensayos adicionales. No se debe eliminar ningún resultado de ensayo a menos que sea posible justificar racionalmente su exclusión. Entonces el valor medio de todos los ensayos realizados será considerado como la resistencia nominal,  $R_n$ , para la serie de ensayos.  $R_n$  y el coeficiente de variación  $V_p$  de los resultados de ensayo se deben determinar mediante análisis estadístico.
- (b) La resistencia de los elementos, conjuntos, uniones o miembros ensayados debe satisfacer la Ec. F1.1-1.

$$\sum \gamma_i Q_i \leq \phi R_n \quad (\text{Ec. F1.1-1})$$

donde

$\sum \gamma_i Q_i$  = Resistencia requerida en base a la combinación de cargas más crítica determinada de acuerdo con la Sección A6.1.2.  $\gamma_i$  y  $Q_i$  son factores de carga y efectos de las cargas, respectivamente

$R_n$  = Valor promedio de todos los resultados de ensayo

$\phi$  = Factor de resistencia

$$= 1,5(M_m F_m P_m) e^{-\beta_o} \sqrt{V_M^2 + V_F^2 + C_P V_P^2 + V_Q^2} \quad (\text{Ec. F1.1-2})$$

$M_m$  = Valor promedio del factor de material, M, listado en la Tabla F1 para el tipo de componente involucrado

$F_m$  = Valor promedio del factor de fabricación, F, listado en la Tabla F1 para el tipo de componente involucrado

$P_m$  = Valor promedio del factor profesional, P, para el componente ensayado  
= 1,0

$\beta_o$  = Índice de confiabilidad meta

\* Para vigas con el ala traccionada unida mediante sujetadores pasantes a un tablero o revestimiento y con el ala comprimida sin arriostramiento lateral,  $\phi$  se debe determinar con un coeficiente de 1,6 en vez de 1,5;  $\beta_o = 1,5$  y  $V_Q = 0,43$ .

- = 2,5 para los miembros estructurales y 3,5 para las conexiones
- $V_M$  = Coeficiente de variación del factor de material listado en la Tabla F1 para el tipo de componente involucrado
- $V_F$  = Coeficiente de variación del factor de fabricación listado en la Tabla F1 para el tipo de componente involucrado
- $C_p$  = Factor de corrección
- =  $(1+1/n)m/(m-2)$  para  $n \geq 4$ ; y 5, 7 para  $n = 3$  (Ec. F1.1-3)
- $V_p$  = Coeficiente de variación de los resultados de ensayo, pero nunca menor que 6,5%
- $m$  = Grados de libertad
- =  $n - 1$
- $n$  = Número de ensayos
- $V_Q$  = Coeficiente de variación del efecto de carga
- = 0,21
- $e$  = Base de los logaritmos naturales
- = 2,718...

El listado de la Tabla F1 no excluye el empleo de otros datos estadísticos documentados siempre que hayan sido establecidos a partir de resultados suficientes de las propiedades de los materiales y la fabricación.

Para aceros que no están listados en la Sección A3.1, los valores de  $M_m$  y  $V_M$  se deben determinar mediante análisis estadístico de los materiales utilizados.

Cuando las distorsiones interfieren con el correcto funcionamiento de la muestra al ponerla en uso real, los efectos de carga basados en la combinación de cargas crítica correspondiente a la ocurrencia de la distorsión aceptable también debe satisfacer la Ecuación F1.1-1, excepto que el factor de resistencia  $\phi$  se toma igual a la unidad y el factor de carga para carga gravitatoria permanente se toma igual a 1,0.

- (c) Si el límite de fluencia del acero con el cual se formaron las secciones de ensayo es mayor que el valor especificado, los resultados de ensayo se deben ajustar para reducirlos hasta el límite de fluencia mínimo especificado del acero que utilizará el fabricante. Los resultados de ensayo no se deben ajustar a un valor mayor si el límite de fluencia de la muestra de ensayo es menor que el límite de fluencia mínimo especificado. Si el factor crítico es la resistencia a la tracción, se deben realizar ajustes similares en base a la resistencia a la tracción en vez del límite de fluencia.

También se debe considerar cualquier variación o diferencia que pudiera existir entre el espesor de cálculo y el espesor de las muestras ensayadas.

**TABLA F1**  
**Datos estadísticos para la determinación del factor de resistencia**

Tipo de componente	$M_m$	$V_M$	$F_m$	$V_F$
Rigidizadores transversales	1,10	0,10	1,00	0,05
Rigidizadores de corte	1,00	0,06	1,00	0,05
Miembros traccionados	1,10	0,10	1,00	0,05
Miembros flexionados				
Resistencia a la flexión	1,10	0,10	1,00	0,05
Resistencia al pandeo lateral	1,00	0,06	1,00	0,05
Un ala unida mediante sujetadores pasantes a tablero o revestimiento	1,10	0,10	1,00	0,05
Resistencia al corte	1,10	0,10	1,00	0,05
Combinación de flexión y corte	1,10	0,10	1,00	0,05
Resistencia a la abolladura del alma	1,10	0,10	1,00	0,05
Combinación de flexión y abolladura del alma	1,10	0,10	1,00	0,05
Miembros comprimidos con carga concéntrica	1,10	0,10	1,00	0,05
Combinación de carga axial y flexión	1,05	0,10	1,00	0,05
Miembros tubulares cilíndricos				
Resistencia a la flexión	1,10	0,10	1,00	0,05
Compresión axial	1,10	0,10	1,00	0,05
Montantes para tabiques y conjuntos de montantes para tabiques				
Montantes en tabiques comprimidos	1,10	0,10	1,00	0,05
Montantes en tabiques flexados	1,10	0,10	1,00	0,05
Montantes en tabiques sometidos a carga axial y flexión	1,05	0,10	1,00	0,05
Uniones soldadas				
Puntos de soldadura por arco				
Resistencia al corte de las soldaduras	1,10	0,10	1,00	0,10

Tipo de componente	M <sub>m</sub>	V <sub>M</sub>	F <sub>m</sub>	V <sub>F</sub>
Falla de placa	1,10	0,10	1,00	0,15
Cordones de soldaduras por arco				
Resistencia al corte de las soldaduras	1,10	0,10	1,00	0,10
Desgarramiento de placa	1,10	0,20	1,00	0,10
Soldaduras de filete				
Resistencia al corte de las soldaduras	1,10	0,10	1,00	0,10
Falla de placa	1,10	0,08	1,00	0,15
Soldaduras de ranura biselada				
Resistencia al corte de las soldaduras	1,10	0,10	1,00	0,10
Falla de placa	1,10	0,10	1,00	0,10
Soldaduras de resistencia	1,10	0,10	1,00	0,10
Uniones abulonadas				
Separación mínima y distancia a los bordes	1,10	0,08	1,00	0,05
Resistencia a la tracción sobre la sección neta	1,10	0,08	1,00	0,05
Resistencia de apoyo	1,10	0,08	1,00	0,05
Uniones atornilladas				
Separación mínima y distancia a los bordes	1,10	0,10	1,00	0,10
Resistencia a la tracción sobre la sección neta	1,10	0,10	1,00	0,10
Resistencia de apoyo	1,10	0,10	1,00	0,10

## F1.2 Diseño por tensiones admisibles

Cuando la composición o configuración de los elementos, conjuntos de elementos, uniones o detalles de los miembros estructurales de acero conformado en frío son tales que no es posible calcular su resistencia de acuerdo con los requisitos de esta *Especificación*, su comportamiento estructural se debe establecer a partir de ensayos y se debe evaluar de acuerdo con la Sección F1.1, a excepción de las modificaciones listadas en esta sección sobre diseño por tensiones admisibles.

La resistencia de cálculo admisible se debe calcular como:

$$R_a = R_n / \Omega \quad (\text{Ec. F1.2-1})$$

donde

$R_n$  = Valor promedio de todos los resultados de ensayo

$\Omega$  = Factor de seguridad que se debe calcular de la siguiente manera:

$$\Omega = \frac{1,6}{\phi} \quad (\text{Ec. F1.2-2})$$

donde  $\phi$  se evalúa de acuerdo con la Sección F1.1.

La resistencia requerida se debe determinar a partir de las cargas nominales y combinaciones de cargas como se describe en A5.

## F2 Ensayos para confirmar el comportamiento estructural

En el caso de los miembros, uniones y conjuntos estructurales para los cuales la resistencia nominal se puede calcular de acuerdo con esta *Especificación* o de acuerdo con sus referencias específicas, es posible llevar a cabo ensayos de confirmación para demostrar que la resistencia no es menor que la resistencia nominal,  $R_n$ , especificada en esta *Especificación* o en sus referencias específicas para el tipo de comportamiento involucrado.

## F3 Ensayos para determinar las propiedades mecánicas

### F3.1 Sección completa

Los ensayos para determinar las propiedades mecánicas de las secciones completas a utilizar en la Sección A7.2 se deben efectuar como se especifica a continuación:

- (a) Los procedimientos de ensayo para determinar la resistencia a la tracción deben estar de acuerdo con la norma ASTM A370, Ensayos Mecánicos de Productos de Acero. Las determinaciones del límite de fluencia a compresión se deben efectuar por medio de ensayos de compresión de muestras reducidas de la sección.
- (b) La tensión de fluencia a compresión se debe tomar como el menor valor entre la máxima resistencia a la compresión de las secciones dividida por la superficie de la sección transversal, y la tensión definida mediante uno de los métodos siguientes:
  - (1) En el caso de acero de fluencia brusca, el límite de fluencia se debe determinar mediante el método del diagrama autográfico o mediante el método de la deformación total bajo carga.
  - (2) En el caso de acero de fluencia gradual, el límite de fluencia se debe determinar mediante el método de deformación bajo carga o mediante el método del corrimiento del 0,2 por ciento.
- (c) Si el efecto principal de las cargas a las cuales estará sometida el edificio cuando esté en servicio será el de producir flexión, el límite de fluencia se debe determinar sólo para las alas. Para determinar estos puntos de fluencia cada muestra debe consistir de un ala completa más una porción del alma de una relación de ancho plano tal que el valor de  $\rho$  para la muestra sea igual a la unidad.
- (d) A los efectos del control y la aceptación, se deben efectuar dos ensayos de sección completa de cada lote de no más de 50 toneladas (45.000 kg) ni menos de 30 toneladas (27.000 kg) de cada sección, o un ensayo de cada lote de

menos de 30 toneladas (27.000 kg) de cada sección. Con este objetivo un lote se puede definir como el tonelaje de una sección que se forma en un único ciclo de producción de material de una hornada.

- (e) A opción del fabricante, a los efectos del control y la aceptación se pueden utilizar ensayos de tracción o de compresión, siempre que el fabricante demuestre de manera confiable que dichos ensayos indican el límite de fluencia de la sección cuando está sometida al tipo de tensiones bajo las cuales se utilizará el miembro.

### **F3.2 Elementos planos de secciones formadas**

Los ensayos para determinar las propiedades de los elementos planos de las secciones formadas y representativas de las propiedades mecánicas del acero virgen a utilizar en la Sección A7.2 se deben efectuar conforme a los siguientes requisitos:

El límite de fluencia de las planchas,  $F_{yf}$ , se debe establecer mediante un promedio ponderado de los límites de fluencia de muestras de acero normalizadas para ensayo de tracción tomadas longitudinalmente de las porciones planas de un miembro conformado en frío representativo. El promedio ponderado será la sumatoria de los productos del límite de fluencia promedio para cada porción plana por su sección transversal, dividido por la superficie total de elementos planos en la sección transversal. La cantidad exacta de estas muestras de acero dependerá de la forma del miembro, es decir, del número de planchas en la sección transversal. Se debe tomar al menos una muestra de acero para ensayo a tracción del medio de cada elemento plano. Si el límite de fluencia real del acero virgen es mayor que el límite de fluencia mínimo especificado, el límite de fluencia de las planchas,  $F_{yf}$ , se deberá ajustar multiplicando el valor obtenido mediante ensayo por la relación entre el límite de fluencia mínimo especificado y el límite de fluencia real del acero virgen.

### **F3.3 Acero virgen**

Los siguientes requisitos se aplican al acero producido utilizando normas diferentes a las Especificaciones ASTM listadas en la Sección A3.1 cuando se las utiliza en secciones para las cuales el límite de fluencia incrementado del acero luego del conformado en frío se debe calcular a partir de las propiedades del acero virgen conforme a la Sección A7.2. A los efectos del control y la aceptación, se deben tomar al menos cuatro muestras para ensayar a la tracción de cada lote según lo definido en la Sección F3.1(d) para establecer los valores representativos del límite de fluencia a tracción y la resistencia última del acero. Las muestras se deben tomar longitudinalmente de los puntos correspondientes al cuarto del ancho cerca del extremo exterior de la bobina.