



ICHA
CORPORACIÓN
INSTITUTO CHILENO
DEL ACERO

DISEÑO DE ESTRUCTURAS CON PERFILES CONFORMADOS EN FRIO





Leiva & Asociados
ingeniería estructural

1



**INSTITUTO NACIONAL
DE NORMALIZACIÓN**



INN SISTEMA DE CONSULTAS PÚBLICAS

Normas en consulta pública

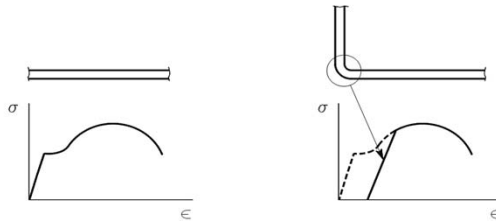
| Participar | Norma | Título | Fecha de inicio | Fecha de término |
|---|------------|--|-----------------|------------------|
|  | prNCh427/2 | Construcción - Estructuras de acero - Parte 2: Diseño de miembros estructurales de acero conformados en frío | 10/08/2018 | 13/10/2018 |

Curso ICHA 2018
Diseño de Estructuras con Perfiles Conformados en Frío
Luis Leiva

2

• PRINCIPALES CARACTERISTICAS DE LOS PERFILES DE ACERO CONFORMADO EN FRIO

- 1) Las **propiedades mecánicas originales** del acero **cambian** en ciertas zonas de la sección debido al conformado en frío



Curso ICHA 2018
Diseño de Estructuras con Perfiles Conformados en Frío
Luis Leiva

3

PRINCIPALES CARACTERISTICAS DE LOS PERFILES DE ACERO CONFORMADO EN FRIO

- 2) El modo de falla predominante está influenciado por el **pandeo local** y el **aumento de la resistencia post-pandeo**

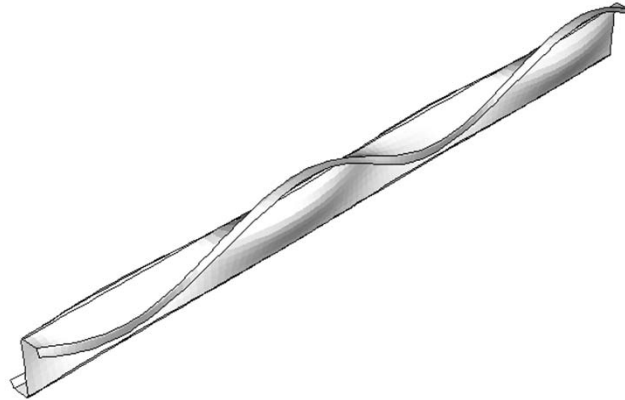


Curso ICHA 2018
Diseño de Estructuras con Perfiles Conformados en Frío
Luis Leiva

4

- PRINCIPALES CARACTERISTICAS DE LOS PERFILES DE ACERO CONFORMADO EN FRIO

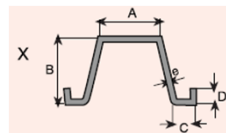
3) Pueden sufrir **pandeo distorsional**



- PRINCIPALES CARACTERISTICAS DE LOS PERFILES DE ACERO CONFORMADO EN FRIO

- Las secciones muchas veces no son de doble simetría

4) Son propensas a sufrir **pandeo por torsión** o **flexo-torsión**



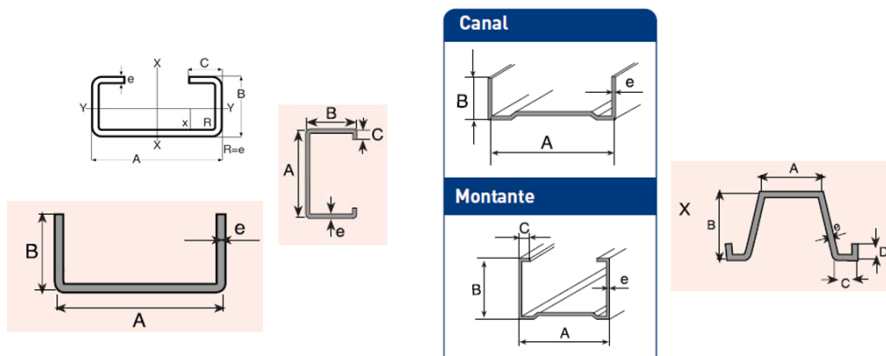
- [PRINCIPALES CARACTERISTICAS DE LOS PERFILES DE ACERO CONFORMADO EN FRIO](#)

5) Tienen **sistemas de fijación distintos** a los perfiles soldados o laminados

- E2. Conexiones Soldadas
- E3 Conexiones Apernadas
- E4 **Conexiones Atornilladas**
- + **otros....**

- [PRINCIPALES CARACTERISTICAS DE LOS PERFILES DE ACERO CONFORMADO EN FRIO](#)

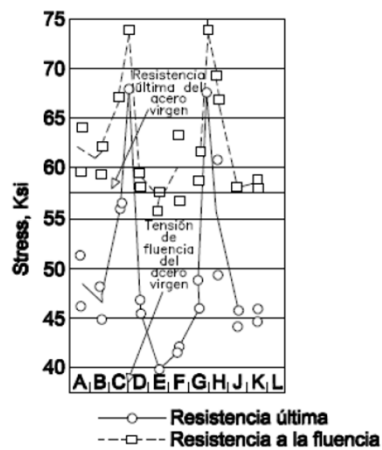
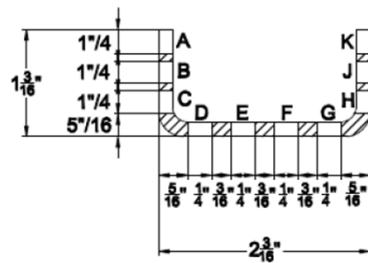
6) Mucho **menor estandarización de perfiles** en comparación con los perfiles laminados



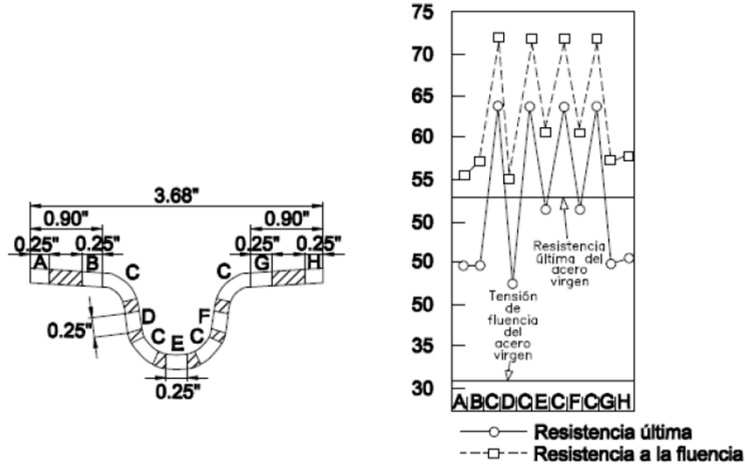
• **Incremento de la Tensión de Fluencia y la Tensión de rotura a la tracción debido al Conformado en Frío**

Apartado A7 de la NCh 427 – parte 2

Incremento de las propiedades mecánicas en las zonas de los pliegues



Incremento de las propiedades mecánicas en las zonas de los pliegues



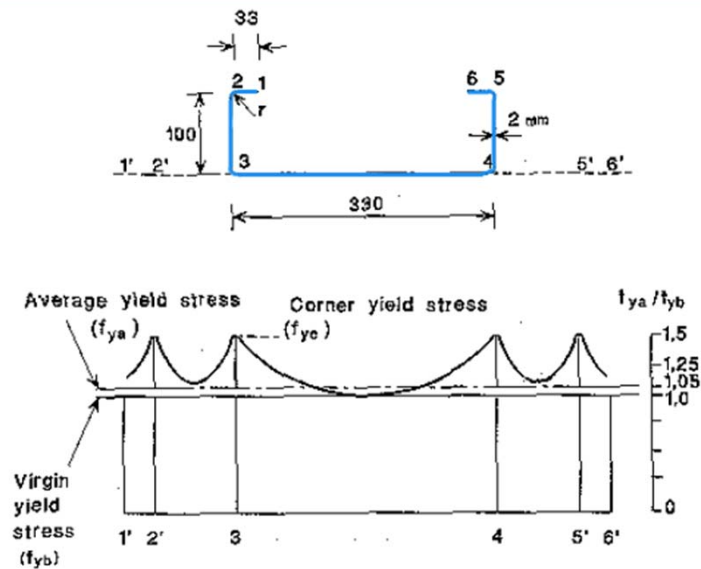
Curso ICHA 2018

Diseño de Estructuras con Perfiles Conformados en Frío

11

Luis Lelva

Incremento de las propiedades mecánicas en las zonas de los pliegues



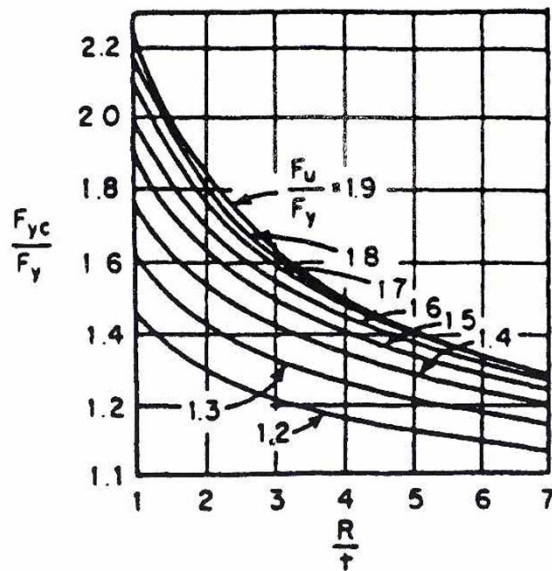
Luis Lelva

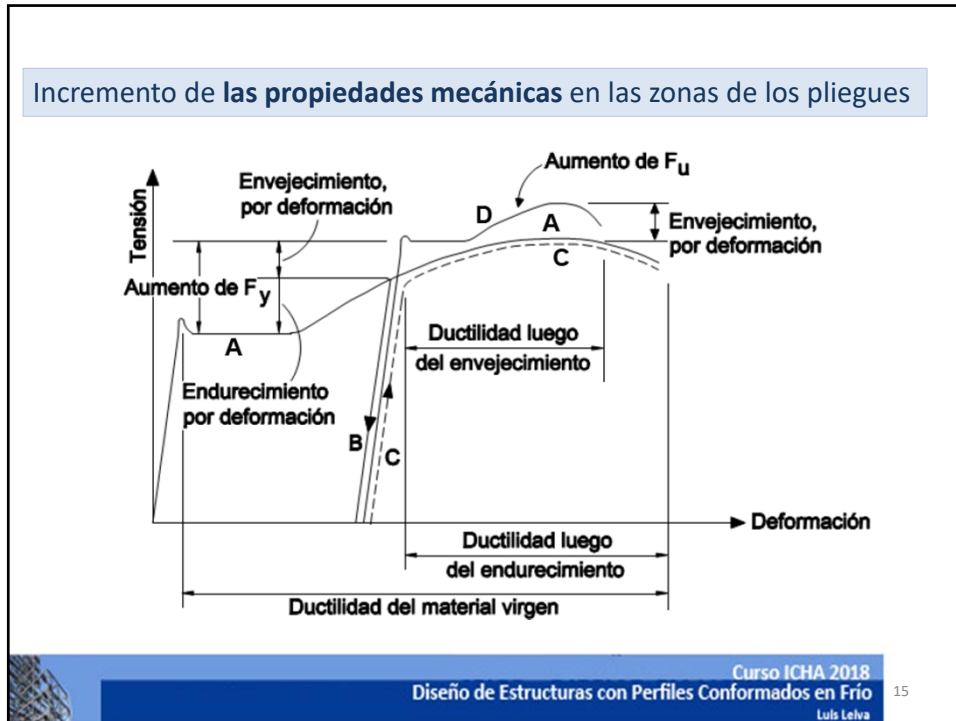
12

Incremento de la resistencia debido al conformado en frío

Factores que determinan este incremento

- (1) el tipo de acero
- (2) el tipo de esfuerzo (compresión o tracción)
- (3) la dirección del esfuerzo con respecto a la dirección del trabajo de conformación en frío (transversal o longitudinal)
- (4) la razón F_u/F_y
- (5) la razón entre el radio interior de doblado o plegado y el espesor (R/t)
- (6) la cantidad de trabajo en frío





“Envejecimiento” del acero ?

Depende de tiempo y temperatura:

- A temperatura ambiente: toma días o semanas
- de 145° a 260° : horas
- a 425° : es inmediato

Tensión de Fluencia de Diseño

- Usar la tensión de fluencia del acero virgen

$$F_y$$

o usar la tensión de fluencia promedio de la sección

$$F_{ya}$$

- F_{ya} se puede obtener de:
 - a) Ensayo a tracción de la sección completa
 - b) Cálculo de F_{ya}

Incremento de la resistencia debido al conformado en frío

$$F_{ya} = CF_{yc} + (1-C)F_{yf}$$

F_{ya} = Tensión de fluencia promedio en la sección total

C = razón entre el área de las esquinas y el área total de la sección transversal

F_{yf} = tensión de fluencia del acero virgen

F_{yc} = tensión de fluencia a tracción promedio de las esquinas

Factores: (F_{uw}/F_{yv}) F_{yv} = tensión de fluencia del material virgen
 (R/t) F_{uv} = resistencia última a la tracción del material virgen
 R = Radio de plegado interior
 t = *Espesor* de la sección

$$F_{yc} = B_c F_{yv} / (R/t)^m$$

F_{yv} = Tensión de fluencia a tracción del acero virgen

$$B_c = 3.69 (F_{uw}/F_{yv}) - 0.819 (F_{uw}/F_{yv})^2 - 1.79$$

$$m = 0.192 (F_{uw}/F_{yv}) - 0.068$$

Incremento de la resistencia debido al conformado en frío

$$F_{ya} = CF_{yc} + (1-C)F_{yf}$$

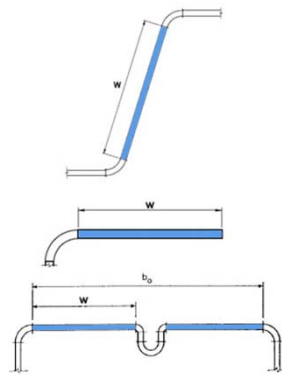
Condiciones: $F_{uw}/F_{yv} \geq 1.2$

$$R/t \leq 7$$

ángulo comprendido $\leq 120^\circ$

LIMITES DIMENSIONALES

| Límites para la razón ancho-espesor | | w/t |
|---|----------------|-----|
| <i>Elemento no atiesado en compresión</i> | | 60 |
| <i>Elemento atiesado en compresión con un borde longitudinal conectado a un alma o ala, y el otro rigidizado por:</i> | | |
| Pestaña simple | | 60 |
| Otro tipo de atiesador con | $I_s < I_a$ | 60 |
| | $I_s \geq I_a$ | 90 |
| <i>Elemento atiesado en compresión con ambos bordes longitudinales conectados a otros elementos atiesados</i> | | 500 |



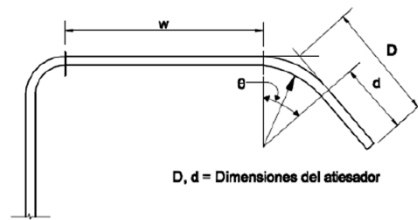
I_s = Momento de inercia de la sección completa del atiesador en torno a su propio eje centroidal paralelo al elemento que es atiesado

I_a = Momento de inercia requerido del atiesador, de forma tal que cada elemento componente se comporte como un elemento atiesado

I_a = Momento de inercia requerido del atiesador, de forma tal que cada elemento componente se comporte como un elemento atiesado

$$I_a = 399t^4 \left[\frac{w/t}{S} - 0.328 \right]^3 \leq t^4 \left[115 \frac{w/t}{S} + 5 \right]$$

$$S = 1.28\sqrt{E/f}$$



Razón máxima altura - espesor del alma miembros en flexión

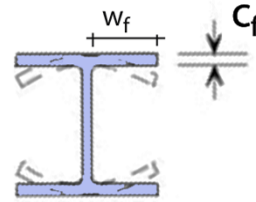
| (h/t) max | |
|-----------|---|
| 200 | almas no reforzadas |
| 260 | si se usan solamente atiesadores de carga |
| 300 | si se usan atiesadores de carga y atiesadores intermedios |

h = altura de la porción plana del alma

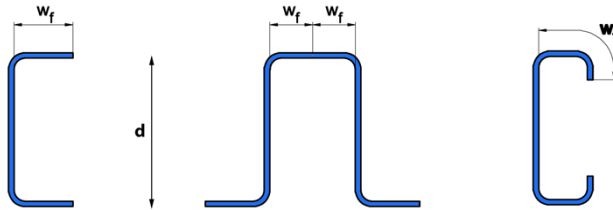
Ondulación del ala

(FLANGE CURLING)

$$w_f = \sqrt{0.061tdE/f_{av}} \sqrt[4]{100c_f/d}$$



f_{av} = Tensión promedio en el ancho total del ala no reducida



Efectos del corte diferido (SHEAR LAG)

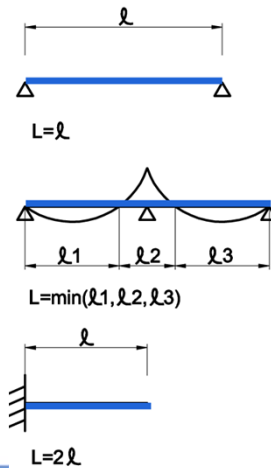
Luces pequeñas soportando cargas concentradas

una carga concentrada, o varias cargas espaciadas a más de $2w_f$

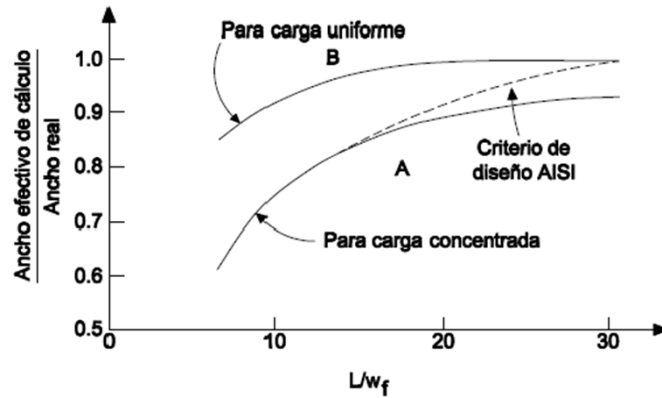
Tabla B1.1 (c)

Luces Cortas, Alas Anchas - Razón Máxima Admisible entre Ancho Efectivo de Diseño (b) y Ancho Real (w)

| L/w_f | Razón b/w | L/w_f | Razón b/w |
|---------|-------------|---------|-------------|
| 30 | 1.00 | 14 | 0.82 |
| 25 | 0.96 | 12 | 0.78 |
| 20 | 0.91 | 10 | 0.73 |
| 18 | 0.89 | 8 | 0.67 |
| 16 | 0.86 | 6 | 0.55 |



Efectos del corte diferido (SHEAR LAG)



- PANDEO LOCAL

- RESISTENCIA POST-PANDEO

Curso ICHA 2018
Diseño de Estructuras con Perfiles Conformados en Frío
Luis Leiva

Pandeo de placas

$$f_{cr} = \frac{k\pi^2 E}{12(1 - \mu^2)(w/t)^2}$$

Pandeo de columnas

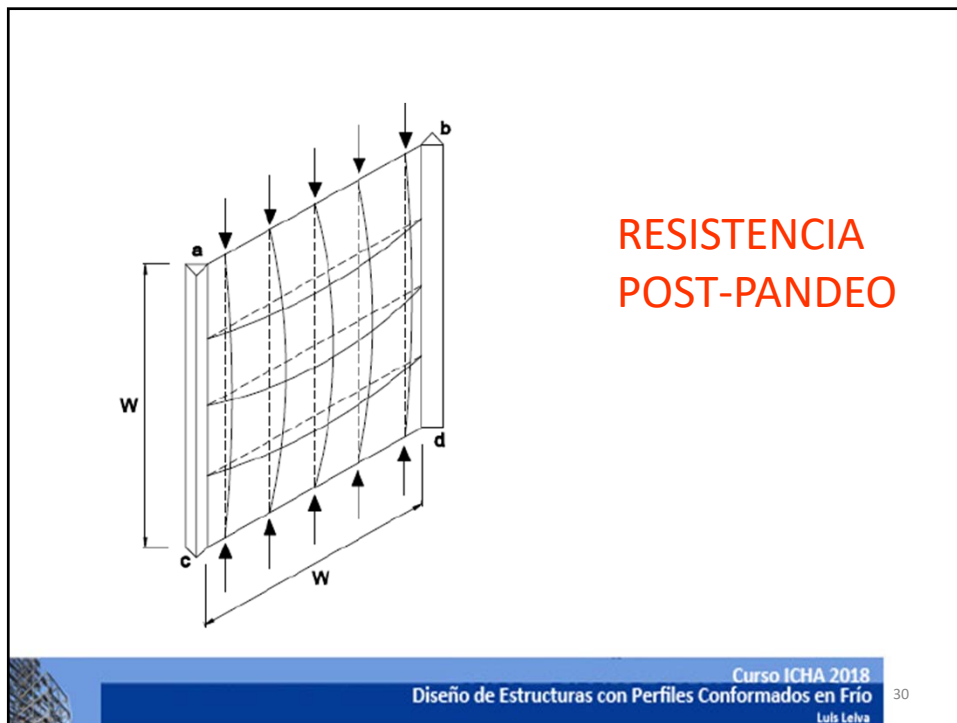
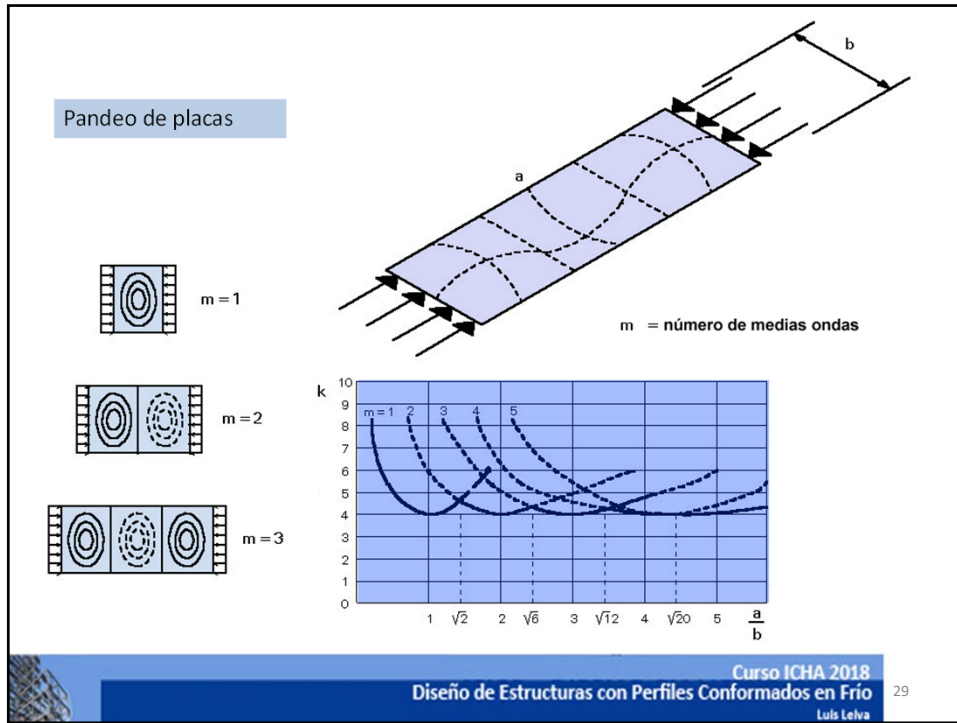
Elastic Buckling (Euler Formula)

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{(KL/r)^2}$$

| Caso | Condiciones de borde | Tipo de tensión | Valor de k para placa larga |
|------|----------------------|-----------------|-----------------------------|
| (a) | | Compresión | 4.0 |
| (b) | | Compresión | 6.97 |
| (c) | | Compresión | 0.425 |
| (d) | | Compresión | 1.277 |
| (e) | | Compresión | 5.42 |
| (f) | | Corte | 5.34 |
| (g) | | Corte | 8.98 |
| (h) | | Flexión | 23.9 |
| (i) | | Flexión | 41.8 |

a.s. = apoyo simple, a.f. = apoyo fijo

Curso ICHA 2018
Diseño de Estructuras con Perfiles Conformados en Frío
Luis Leiva



Diseño de Perfiles de Acero Conformados en Frío ICHA 2009

(a) Pre-buckling

(b) Post-buckling
 $P \leq P_{cr}$

(c) Post-buckling
 $P > P_{cr}$

RESISTENCIA POST-PANDEO

Ancho efectivo b_e

Curso ICHA 2018

31

Diseño de Estructuras con Perfiles Conformados en Frío Luis Leiva

Diseño de Perfiles de Acero Conformados en Frío ICHA 2009

$f_1 < f_{cr}$

$F_y > f_2 > f_{cr}$

$f_3 = F_y$

RESISTENCIA POST-PANDEO

Ancho efectivo b_e

Curso ICHA 2018

32

Diseño de Estructuras con Perfiles Conformados en Frío Luis Leiva

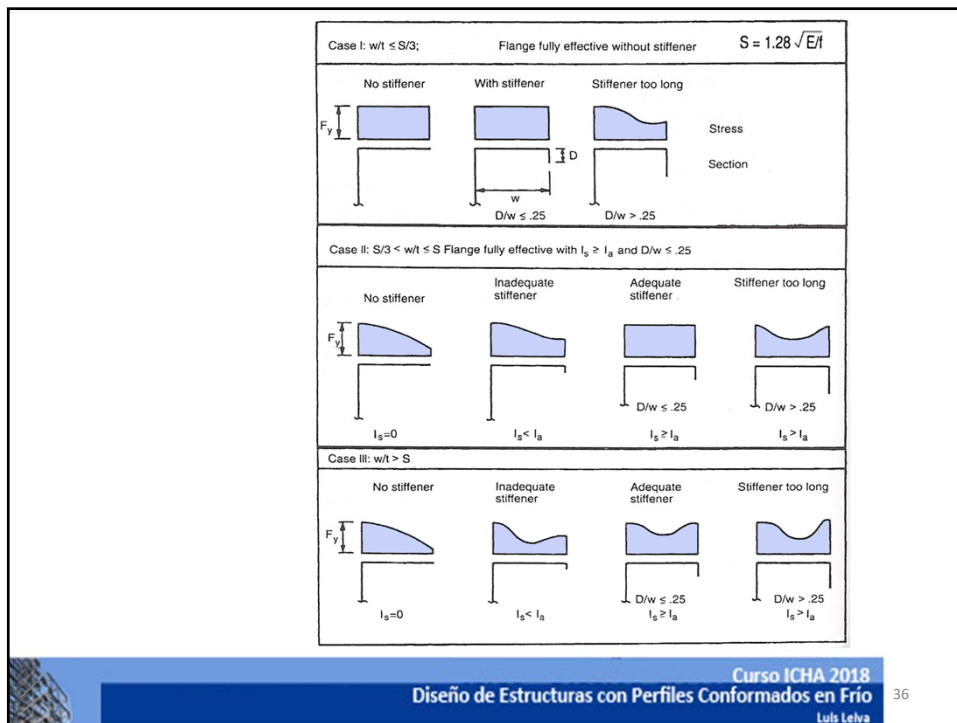
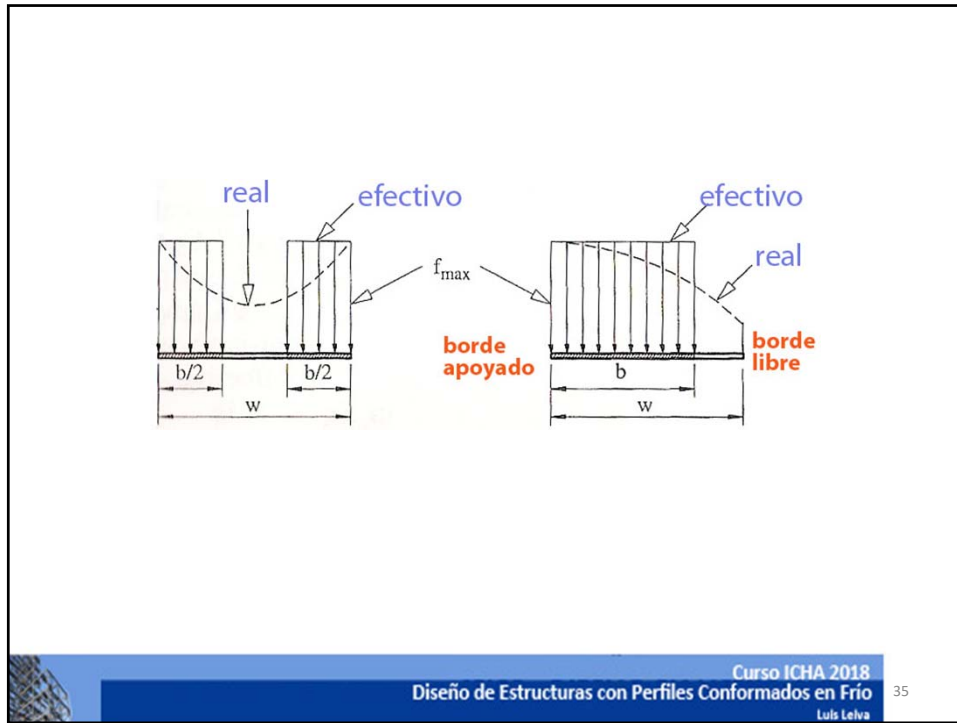
Elemento atiesado ancho efectivo

The diagram illustrates a stiffened element with a central stiffener. Two lines, LINE 1 and LINE 2, represent different stress distributions across the width. LINE 1 is a lower curve, and LINE 2 is a higher curve. The width of the element is denoted as w . The distance from the centerline to the edge of the stiffener is $b/2$. The effective width for stress f_y is indicated by the width of the upper curve (LINE 2), and the effective width for stress f is indicated by the width of the lower curve (LINE 1).

Curso ICHA 2018
Diseño de Estructuras con Perfiles Conformados en Frío
Luis Leiva 33

The diagram compares two types of elements under a uniform load: (i) a stiffened element and (ii) an unstiffened element. The stiffened element is supported by stiffeners (S.S.) at both ends, while the unstiffened element is supported at one end and free at the other. Below these 3D views are 2D cross-sections showing the distribution of longitudinal stresses. For the stiffened element, stresses are shown at the center and at the ends. For the unstiffened element, stresses are shown at the center and at the ends, with a higher concentration at the free end.

Curso ICHA 2018
Diseño de Estructuras con Perfiles Conformados en Frío
Luis Leiva 34



ELEMENTO ATIESADO O PARCIALMENTE ATIESADO

ELEMENTO NO ATIESADO

Curso ICHA 2018
Diseño de Estructuras con Perfiles Conformados en Frío
Luis Leiva 37

w

$b/2$ $b/2$

w

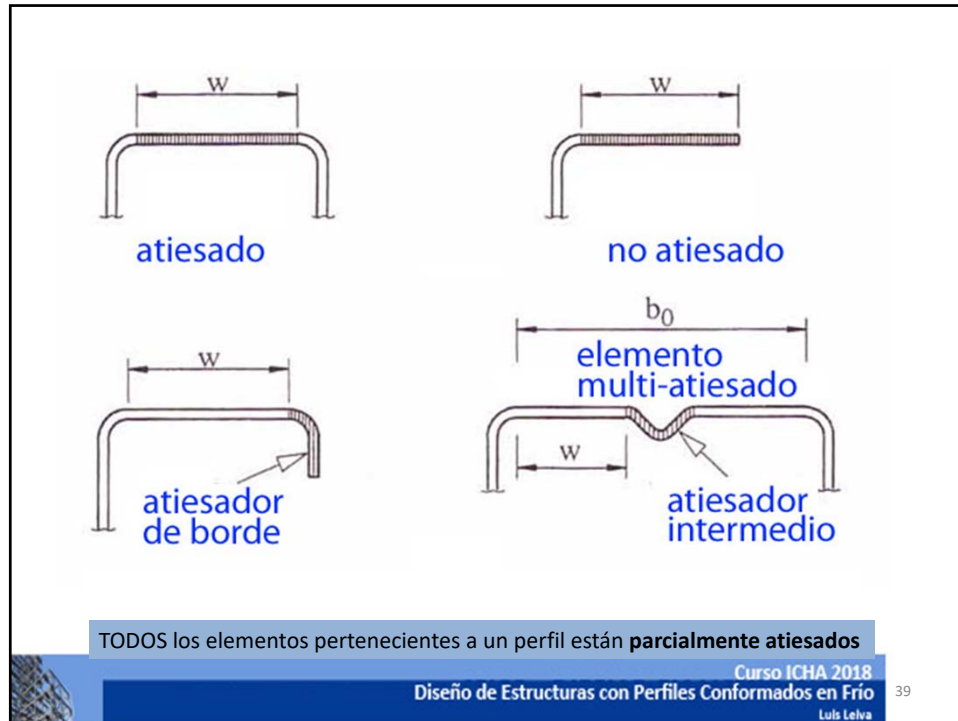
b

w

$\frac{C_1 b}{2}$ $\frac{C_2 b}{2}$

$C_1 + C_2 = 1$

Curso ICHA 2018
Diseño de Estructuras con Perfiles Conformados en Frío
Luis Leiva 38



Diseño a la Compresión **AISC**

Sección con elementos esbeltos

La resistencia nominal a la compresión P_n es el mínimo correspondiente a los siguientes estados límites:

- Pandeo por flexión
- Pandeo por torsión
- Pandeo por flexo-torsión

$$P_n = F_{cr} A_g$$

Diseño a la Compresión **AISC**

(a) When $\frac{KL}{r} \leq 4.71 \sqrt{\frac{E}{QF_y}}$ (or $F_e \geq 0.44QF_y$)

$$F_{cr} = Q \left[0.658 \frac{QF_y}{F_e} \right] F_y$$

(b) When $\frac{KL}{r} > 4.71 \sqrt{\frac{E}{QF_y}}$ (or $F_e < 0.44QF_y$)

$$F_{cr} = 0.877 F_e$$

Sección con elementos esbeltos:

Factor de reducción **Q** **AISC**

Q = 1 para secciones compactas y no compactas

Sección con elementos esbeltos atiesados y no atiesados:

$$Q = Q_a Q_s$$

Sección con solo elementos esbeltos atiesados:

$$Q = Q_a (Q_s = 1)$$

Sección con solo elementos esbeltos no atiesados:

$$Q = Q_s (Q_a = 1)$$

Elementos no atiesados: AISC factor de reducción Q_s

(b) For flanges, angles, and plates projecting from built-up columns or other compression members:

(i) When $\frac{b}{t} \leq 0.64 \sqrt{\frac{Ek_c}{F_y}}$

$$Q_s = 1.0$$

(E7-7)

(ii) When $0.64 \sqrt{\frac{Ek_c}{F_y}} < b/t \leq 1.17 \sqrt{\frac{Ek_c}{F_y}}$

$$Q_s = 1.415 - 0.65 \left(\frac{b}{t} \right) \sqrt{\frac{F_y}{Ek_c}}$$

(E7-8)

(iii) When $b/t > 1.17 \sqrt{\frac{Ek_c}{F_y}}$

$$Q_s = \frac{0.90Ek_c}{F_y \left(\frac{b}{t} \right)^2}$$

(E7-9)

Curso ICHA 2018

Diseño de Estructuras con Perfiles Conformados en Frío

43

Luis Leiva

Elementos no atiesados: AISC factor de reducción Q_a

- $Q_a = \frac{\text{área efectiva}}{\text{área real}}$

$$Q_a = \frac{A_{eff}}{A}$$

el área efectiva se calcula en base al ancho efectivo b_e

Curso ICHA 2018

Diseño de Estructuras con Perfiles Conformados en Frío

44

Luis Leiva

Elementos no atiesados: AISC factor de reducción Q_a

(a) For uniformly compressed slender elements, with $\frac{b}{t} \geq 1.49 \sqrt{\frac{E}{f}}$, except flanges of square and rectangular sections of uniform thickness:

$$b_e = 1.92t \sqrt{\frac{E}{f}} \left[1 - \frac{0.34}{(b/t)} \sqrt{\frac{E}{f}} \right] \leq b \quad (E7-17)$$

where

f is taken as F_{cr} with F_{cr} calculated based on $Q = 1.0$.

NCh 427 Parte 1 – (AISC):

Q_a, Q_s perfiles laminados y soldados

NCh 427 Parte 2 – (AISI):

**Q_a, Q_s , ancho efectivo, propiedades
geométricas efectivas
perfiles conformados en frío**

Resistencia a compresión

- pandeo por flexión, pandeo por flexo torsión y pandeo torsional

$$P_n = A_e F_n$$

A_e = Área efectiva calculada para la tensión F_n

resistencia a flexión

$$M_n = S_e F_y$$

S_e = Módulo elástico de la sección efectiva calculado en relación a la fibra extrema en tracción o compresión que primero alcance la tensión F_y

Cálculo del ancho efectivo NCh 427/2 - AISI

ELEMENTOS ATIESADOS

COLUMNAS

(6) Sección canal atiesada

(7) Sección tipo cajón

(8) Viga doble - T formada por 2 secciones canal atiesadas espalda con espalda

(9) Sección ángulo atiesada

Miembros en compresión, tipo columnas.

Curso ICHA 2018
Diseño de Estructuras con Perfiles Conformados en Frío

ELEMENTOS ATIESADOS

VIGAS

(1) Sección canal atiesada

(2) Viga doble - T formada por 2 secciones canal atiesadas espalda con espalda.

(3) Sección tipo sombrero

(4) Sección tipo cajón

(5) Sección tipo U invertida

Miembros en flexión, tipo vigas (ala superior en compresión)

Curso ICHA 2018
Diseño de Estructuras con Perfiles Conformados en Frío

VIGA

(1) Sección canal

(2) Sección Z

(3) Viga doble - T formada por dos secciones canal espaldas con espaldas

(4) Sección ángulo

ELEMENTOS NO ATIESADOS

Miembros en flexión, tipo vigas.

COLUMNA

(5) Sección canal

(6) Sección Z

(7) Viga doble - T formada por dos secciones canal espaldas con espaldas

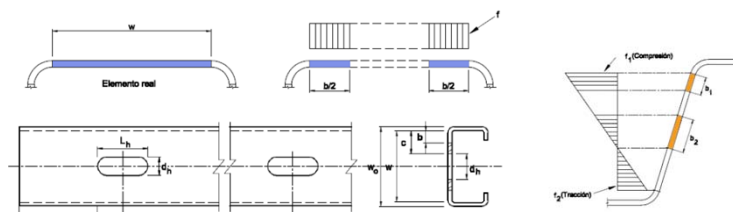
(8) Sección ángulo

Miembros en compresión, tipo columnas.

Curso ICHA 2018
Diseño de Estructuras con Perfiles Conformados en Frío
Luis Leiva 51

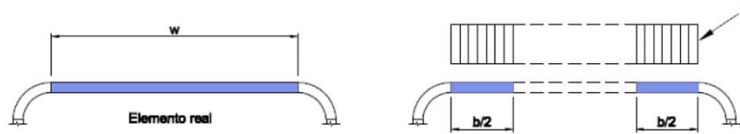
B2 Anchos Efectivos de Elementos Atiesados

- B2.1 Elementos atiesados en compresión uniforme
- B2.2 Elementos Atiesados con Perforaciones Circulares y Ovaladas Uniformemente Comprimidos
- B2.3 Almas y otros elementos atiesados bajo gradiente de tensiones
- B2.4 Almas de secciones C con perforaciones bajo gradientes de tensiones



Curso ICHA 2018
Diseño de Estructuras con Perfiles Conformados en Frío
Luis Leiva 52

B2.1 Elementos atesados en compresión uniforme



$$b = w \quad \text{cuando } \lambda \leq 0.673$$

$$b = \rho w \quad \text{cuando } \lambda > 0.673$$

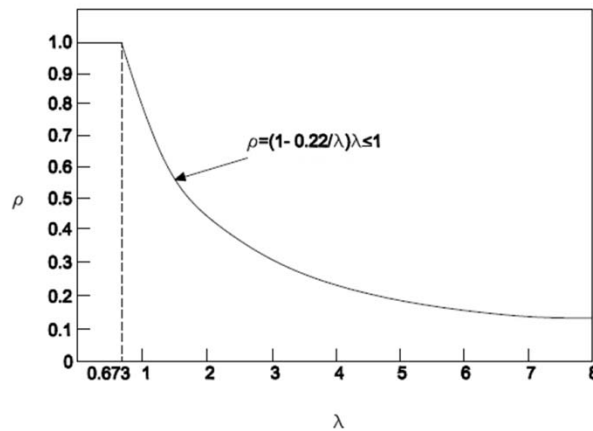
ρ = Factor de reducción local

$$= (1 - 0.22/\lambda) / \lambda$$

λ = Factor de esbeltez

$$= \sqrt{\frac{f}{F_{cr}}}$$

f = Tensión en compresión del elemento



B2.1 Elementos atiesados en compresión uniforme

λ = Factor de esbeltez

$$= \sqrt{\frac{f}{F_{cr}}}$$

$$F_{cr} = k \frac{\pi^2 E}{12(1-\mu^2)} \left(\frac{t}{w} \right)^2$$

k = Coeficiente de *pandeo* de placa

= 4 para elementos atiesados por un alma en cada borde longitudinal

B2.1 Elementos atiesados en compresión uniforme

λ = Factor de esbeltez

$$= \sqrt{\frac{f}{F_{cr}}}$$

$$F_{cr} = k \frac{\pi^2 E}{12(1-\mu^2)} \left(\frac{t}{w} \right)^2$$

k = Coeficiente de *pandeo* de placa

= 4 para elementos atiesados por un alma en cada borde longitudinal

f = Tensión en compresión del elemento

Elementos en **compresión**: $f = F_n \rightarrow \mathbf{C4}$

Elementos en **flexión**: $f \rightarrow$ depende

B2.1 Elementos atiesados en compresión uniforme

f = Tensión en compresión del elemento

Elementos en **flexión**: $f \rightarrow$ depende

(1) Si se usa el Procedimiento I

Cuando la *fluencia* inicial se produce en compresión $f = F_y$

Cuando la *fluencia* inicial se produce en tracción

la tensión de compresión, f , al alcanzar M_y

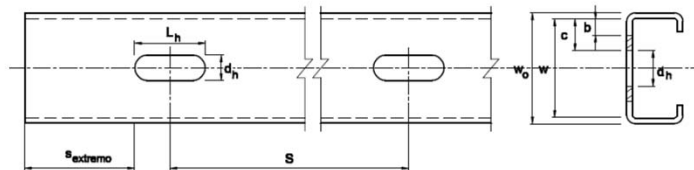
(2) Si se usa el Procedimiento II

la tensión de compresión, f , al alcanzar M_n

(3) Resistencia al pandeo lateral Torsional

$f = F_c$ Sección C3.1.2.1

B2.2 Elementos Atiesados con Perforaciones Circulares y Ovaladas Uniformemente Comprimidos



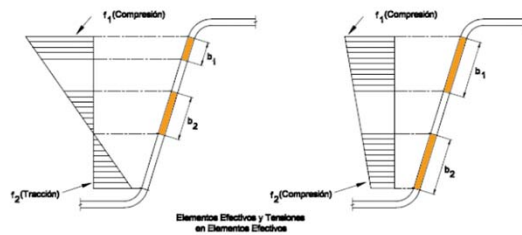
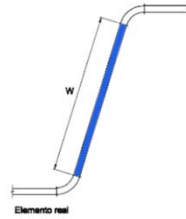
Para $0.50 \geq \frac{d_h}{w} \geq 0$, $\frac{w}{t} \leq 70$

distancia entre centro de perforaciones $\geq 0.50w$ y $\geq 3d_h$

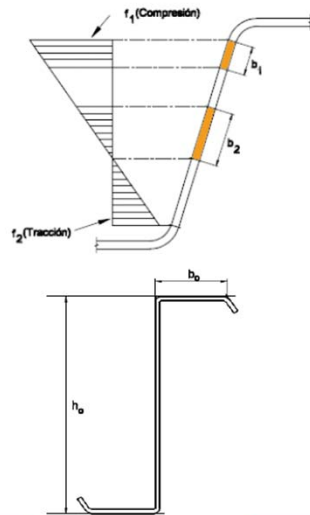
si $\lambda \leq 0.673$ $b = w - d_h$

si $\lambda > 0.673$ $b = \frac{w \left[1 - \frac{(0.22)}{\lambda} - \frac{(0.8d_h)}{w} + \frac{(0.085d_h)}{w\lambda} \right]}{\lambda}$

B.2.3 Almas y otros elementos atiesados bajo gradiente de tensiones



B.2.3 Almas y otros elementos atiesados bajo gradiente de tensiones



Para $h_o/b_o \leq 4$

$$b_1 = b_e / (3 + \psi)$$

$$b_2 = b_e / 2 \quad \text{si } \psi > 0.236$$

$$b_2 = b_e - b_1 \quad \text{si } \psi \leq 0.236$$

Para $h_o/b_o > 4$

$$b_1 = b_e / (3 + \Psi)$$

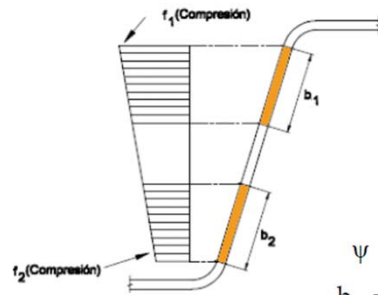
$$b_2 = b_e / (1 + \psi) - b_1$$

$$\psi = |f_2 / f_1| \quad (\text{valor absoluto})$$

b_e = Ancho efectivo, b, determinado de acuerdo con la sección B2.1 utilizando $k = 4 + 2(1 + \psi)^3 + 2(1 + \psi)$
k Coeficiente de pandeo de placa

B2 Anchos Efectivos de Elementos Atiesados

B.2.3 Almas y otros elementos atiesados bajo gradiente de tensiones



$$b_1 = b_e / (3 - \psi)$$

$$b_2 = b_e - b_1$$

$$\psi = |f_2 / f_1| \text{ (valor absoluto)}$$

b_e = Ancho efectivo, b , determinado de acuerdo con la sección B2.1

utilizando $k = 4 + 2(1 - \psi)^3 + 2(1 - \psi)$

Coefficiente de *pandeo* de placa

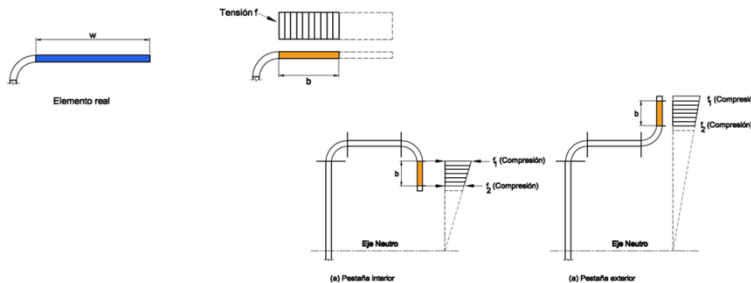
B3

B3 Anchos Efectivos de Elementos No Atiesados

B3.1 Elementos no atiesados uniformemente comprimidos

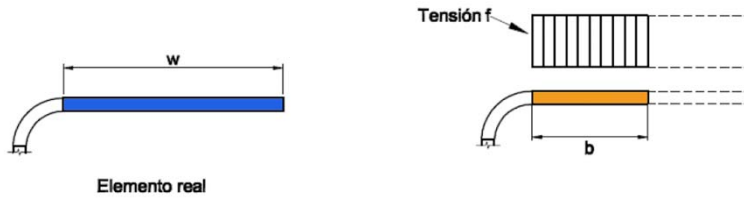
B3.2 Elementos no atiesados y atiesadores de borde con gradiente de tensiones

B4 Anchos efectivos de elementos atiesados con una pestaña simple de borde en compresión uniforme



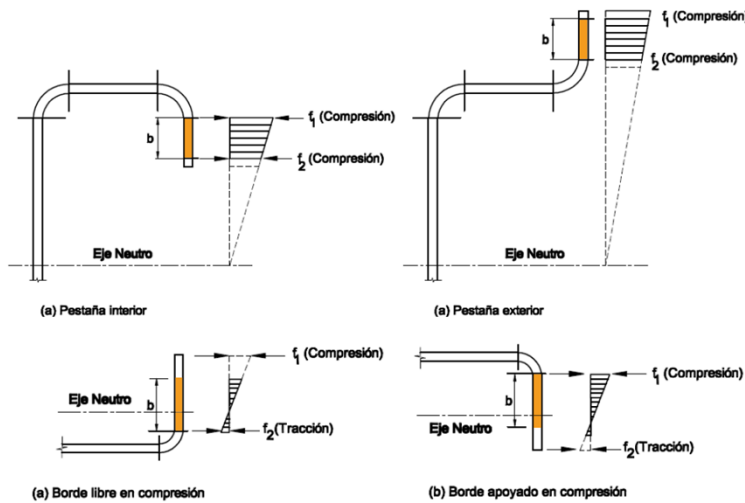
Curso ICHA 2018

B3.1 Elementos no atiesados uniformemente comprimidos



b_e = Ancho efectivo, b , determinado de acuerdo con la sección B2.1 utilizando $k=0.43$

B3.2 Elementos no atiesados y atiesadores de borde con gradiente de tensiones

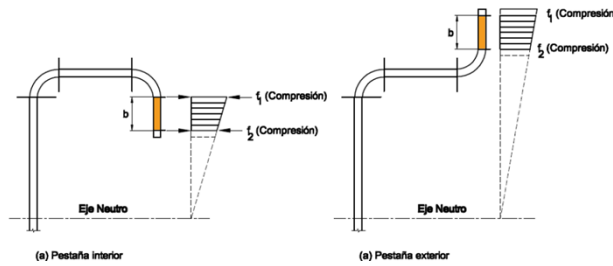


f_1 y f_2 son tensiones de compresión, con $f_1 \geq f_2$

B3 Anchos Efectivos de Elementos No Atiesados

B3.2 Elementos no atiesados y atiesadores de borde con gradiente de tensiones

b_e = Ancho efectivo, b , determinado de acuerdo con la sección B2.1 con f igual f_1



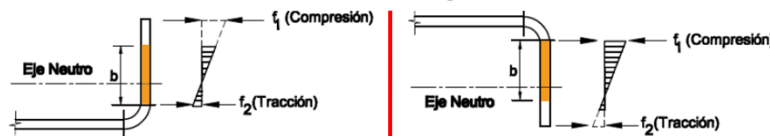
con $k = \frac{0.578}{\psi + 0.34}$

$k = 0.57 - 0.21\psi + 0.07\psi^2$

f_1 y f_2 son tensiones de compresión, con $f_1 \geq f_2$

B3.2 Elementos no atiesados y atiesadores de borde con gradiente de tensiones

b_e = Ancho efectivo, b , determinado de acuerdo con la sección B2.1 con f igual f_1



$\rho = 1$ si $\lambda \leq 0.673(1 + \psi)$

$\rho = (1 + \psi) \frac{1 - \frac{0.22(1 + \psi)}{\lambda}}{\lambda}$ si $\lambda > 0.673(1 + \psi)$

Para $\psi < 1$

$\rho = 1$ si $\lambda \leq 0.673$

$\rho = (1 - \psi) \frac{1 - \frac{0.22}{\lambda}}{\lambda} + \psi$ si $\lambda > 0.673$

Para $\psi \geq 1$

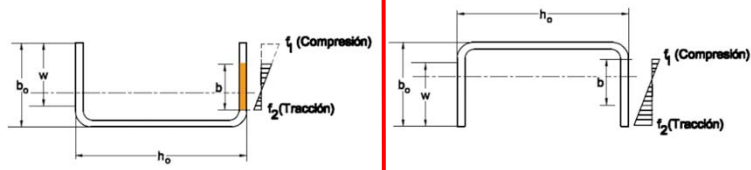
$\rho = 1$

$k = 1.70 + 5\psi + 17.1\psi^2$

$k = 0.57 + 0.21\psi + 0.07\psi^2$

B3.2 Elementos no atiesados y atiesadores de borde con gradiente de tensiones

Método alternativo para secciones canal



$b=w$ Si $\lambda \leq 0.856$
 $b=\rho w$ Si $\lambda > 0.856$

Donde

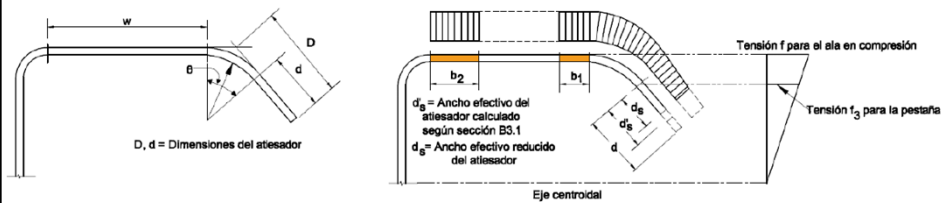
$\rho=0.925/\sqrt{\lambda}$

$k=0.145(b_o/h_o)+1.256$

$0.1 \leq b_o/h_o \leq 1.0$

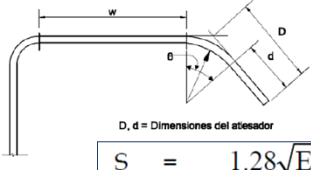
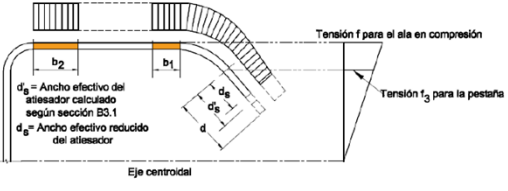
b_e = Ancho efectivo, b, determinado de acuerdo con la sección B2.3

B4 Anchos efectivos de elementos atiesados con una pestaña simple de borde en compresión uniforme



I_a = Momento de inercia requerido del atiesador, para que cada elemento se comporte como un elemento atiesado.

B4 Anchos efectivos de elementos atiesados con una pestaña simple de borde en compresión uniforme

$S = 1.28\sqrt{E/f}$

Para $w/t \leq 0.328S$

$b = w$
 $b_1 = b_2 = w/2$
 $d_s = d'_s$

$I_a = 0$ (no se requiere atiesador de borde)

Para $w/t > 0.328S$

$b =$ Ancho efectivo de diseño

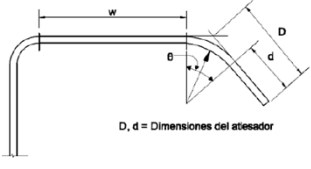
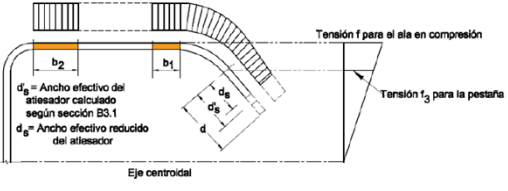
$b_1 = (b/2) (R_1)$
 $b_2 = b - b_1$
 $d_s = d'_s (R_1)$

$I_a = 399t^4 \left[\frac{w/t}{S} - 0.328 \right]^3 \leq t^4 \left[115 \frac{w/t}{S} + 5 \right]$

$I_s = (d^3 t \sin^2 \theta) / 12$

Curso ICHA 2018
 Diseño de Estructuras con Perfiles Conformados en Frío
 Luis Leiva 69

B4 Anchos efectivos de elementos atiesados con una pestaña simple de borde en compresión uniforme

$b =$ Ancho efectivo de diseño de acuerdo con la sección B2.1 con el coeficiente de pandeo de placa, k, dado en la tabla B4-1:

Tabla B4-1
 Determinación del coeficiente del pandeo de placa k

| | |
|---|--|
| Pestaña simple de borde ($140^\circ \geq \theta \geq 40^\circ$) | |
| $D/w \leq 0.25$ | $0.25 < D/w \leq 0.8$ |
| $3.57 (R_1)^n + 0.43 \leq 4$ | $\left(4.82 - \frac{5D}{w} \right) (R_1)^n + 0.43 \leq 4$ |

donde
 $n = \left(0.582 - \frac{w/t}{4S} \right) \geq \frac{1}{3}$
 $S = 1.28\sqrt{E/f}$

Curso ICHA 2018
 Diseño de Estructuras con Perfiles Conformados en Frío
 Luis Leiva 70

B5 Ancho efectivo de elementos con un atiesador o multiples atiesadores intermedios o elementos atiesados en los bordes con atiesadores intermedios

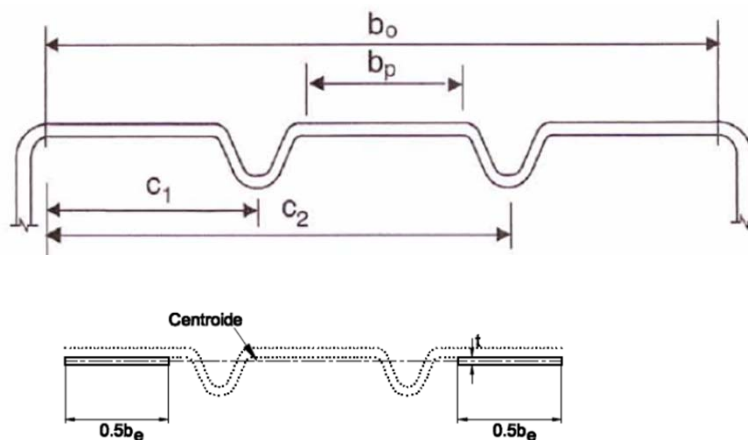
B5.1 Ancho efectivo de elementos uniformemente comprimidos con un atiesador o multiples atiesadores intermedios

B5.1-1 Caso específico: Atiesador simple o n atiesadores idénticos, igualmente espaciados

B5.1.2 Caso general: Número, ubicación y tamaño arbitrario del atiesador

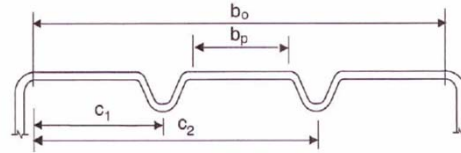
B5.2 Elementos con atiesadores de borde e intermedios

B5.1 Ancho efectivo de elementos uniformemente comprimidos con un atiesador o multiples atiesadores intermedios



B5.1 Ancho efectivo de elementos uniformemente comprimidos con un atiesador o múltiples atiesadores intermedios

$$b_e = \rho \left(\frac{A_g}{t} \right)$$



donde

$$\rho = 1 \quad \text{Si } \lambda \leq 0.673$$

$$\rho = (1 - 0.22/\lambda) / \lambda \quad \text{Si } \lambda > 0.673$$

$$\lambda = \sqrt{\frac{f}{F_{cr}}}$$

$$F_{cr} = k \frac{\pi^2 E}{12(1 - \mu^2)} \left(\frac{t}{b_0} \right)^2$$

A_g = Área bruta del elemento incluyendo atiesadores
 A_s = Área bruta del atiesador.

k depende de:

- n = Número de atiesadores en el elemento
- I_{sp} = Momento de inercia del atiesador en torno al eje central de la parte plana del elemento
- h = Ancho del atiesador de borde del elemento atiesado
ejemplo, la altura del alma de una sección sombrero

Diseño a compresión

Diseño a Compresión

Condición de diseño

• LRFD

- $P_u \leq \Phi_c P_n$

-

• ASD

- $P_a \leq P_n / \Omega_c$

Resistencia nominal a compresión: P_n

C4 Miembros en compresión cargados concéntricamente

Pandeo por
flexión
Torsión
Flexo-torsión

$$P_n = A_e F_n$$

A_e = Área efectiva calculada para la tensión F_n

Pandeo
distorsional

$$P_n = \left(1 - 0.25 \left(\frac{P_{crd}}{P_y} \right)^{0.6} \right) \left(\frac{P_{crd}}{P_y} \right)^{0.6} P_y$$

- Pandeo por flexión, pandeo por flexo torsión y pandeo torsional

C4 Miembros en compresión cargados concéntricamente

$$P_n = A_e F_n$$

A_e = Área efectiva calculada para la tensión F_n

Para $\lambda_c \leq 1.5$

$$F_n = \left(0.658^{\lambda_c^2}\right) F_y$$

Para $\lambda_c > 1.5$

$$F_n = \left[\frac{0.877}{\lambda_c^2}\right] F_y$$

$$\lambda_c = \sqrt{\frac{F_y}{F_e}}$$

Curso ICHA 2018

Diseño de Estructuras con Perfiles Conformados en Frío

77

Luis Leiva

DISEÑO A
COMPRESION

NCh427
Parte 1

$$\frac{KL}{r} \leq 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (\text{or } F_e \geq 0.44 F_y)$$

$$F_{cr} = \left[0.658 \frac{F_y}{F_e}\right] F_y$$

$$\frac{KL}{r} > 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (\text{or } F_e < 0.44 F_y)$$

$$F_{cr} = 0.877 F_e$$

NCh427
Parte 2

$$F_n = \left(0.658^{\lambda_c^2}\right) F_y$$

$$F_n = \left[\frac{0.877}{\lambda_c^2}\right] F_y$$

$$\lambda_c = \sqrt{\frac{F_y}{F_e}}$$

Curso ICHA 2018

Diseño de Estructuras con Perfiles Conformados en Frío

78

Luis Leiva

C4 Miembros en compresión cargados concéntricamente

Cálculo de F_e , la tensión crítica de pandeo elástico

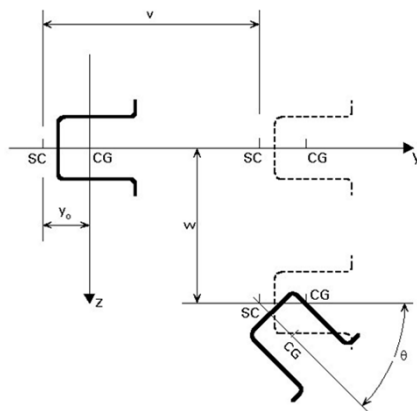
Secciones no sujetas a pandeo torsional o flexo-torsional

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{(KL/r)^2}$$

r = Radio de giro de la sección total no reducida

C4 Miembros en compresión cargados concéntricamente

Secciones de simetría simple, sujetas a pandeo flexo-torsional

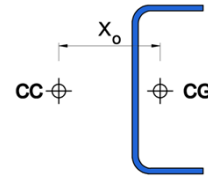


C4 Miembros en compresión cargados concéntricamente

Cálculo de F_e , la tensión crítica de pandeo elástico

Secciones de simetría simple, sujetas a pandeo flexo-torsional

$$F_e = \min \left\{ \begin{array}{l} F_e = \frac{\pi^2 E}{(KL/r)^2} \\ F_e = \frac{1}{2\beta} \left[(\sigma_{ex} + \sigma_t) - \sqrt{(\sigma_{ex} + \sigma_t)^2 - 4\beta \sigma_{ex} \sigma_t} \right] \end{array} \right.$$



Alternativa: $F_e = \frac{\sigma_t \sigma_{ex}}{\sigma_t + \sigma_{ex}}$ (estimación conservadora)

$$\beta = 1 - (x_0/r_0)^2$$

r_0 = Radio de giro polar de la sección en torno al centro de corte.
 $= \sqrt{r_x^2 + r_y^2 + x_0^2}$
 r_x, r_y = Radios de giro de la sección
 x_0 = Distancia entre el centro de corte y el centroide a lo largo del eje x-principal, tomada como negativa.

C4 Miembros en compresión cargados concéntricamente

Cálculo de F_e , la tensión crítica de pandeo elástico

Secciones de doble simetría, sujetas a pandeo torsional

$$F_e = \min \left\{ \begin{array}{l} F_e = \frac{\pi^2 E}{(KL/r)^2} \\ \sigma_t = \frac{1}{Ar_0^2} \left[GJ + \frac{\pi^2 EC_w}{(K_t L_t)^2} \right] \end{array} \right.$$

C4 Miembros en compresión cargados concéntricamente

Cálculo de F_e , la tensión crítica de pandeo elástico

Secciones de doble simetría y de simetría simple, sujetas a pandeo torsional o flexo-torsional

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

$$F_e = \frac{\sigma_t \sigma_{ex}}{\sigma_t + \sigma_{ex}}$$

(estimación conservadora)

$$\sigma_{ex} = \frac{\pi^2 E}{(K_x L_x / r_x)^2}$$

$$\sigma_{ey} = \frac{\pi^2 E}{(K_y l_y / r_y)^2}$$

$$\sigma_t = \frac{1}{A r_0^2} \left[GJ + \frac{\pi^2 E C_w}{(K_t L_t)^2} \right]$$

- G = Módulo de corte
- J = Constante de torsión de Saint-Venant
- C_w = Constante de alabeo de la sección
- K_t = Factor de longitud efectiva para la torsión
- L_t = Longitud no arriestrada en torsión del elemento

Diseño de Estructuras con Perfiles Conformados en Frío

83

Curso ICHA 2018
Luis Leiva

C4 Miembros en compresión cargados concéntricamente

Cálculo de F_e , la tensión crítica de pandeo elástico

Secciones de doble simetría y de simetría simple, sujetas a pandeo torsional o flexo-torsional

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

$$F_e = \frac{\sigma_t \sigma_{ex}}{\sigma_t + \sigma_{ex}}$$

(estimación conservadora)

$$\sigma_{ex} = \frac{\pi^2 E}{(K_x L_x / r_x)^2}$$

$$\sigma_{ey} = \frac{\pi^2 E}{(K_y l_y / r_y)^2}$$

$$\sigma_t = \frac{1}{A r_0^2} \left[GJ + \frac{\pi^2 E C_w}{(K_t L_t)^2} \right]$$

- G = Módulo de corte
- J = Constante de torsión de Saint-Venant
- C_w = Constante de alabeo de la sección
- K_t = Factor de longitud efectiva para la torsión
- L_t = Longitud no arriestrada en torsión del elemento

Diseño de Estructuras con Perfiles Conformados en Frío

84

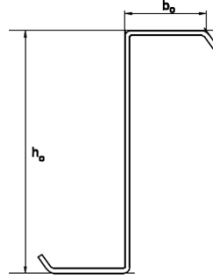
Curso ICHA 2018
Luis Leiva

C4 Miembros en compresión cargados concéntricamente

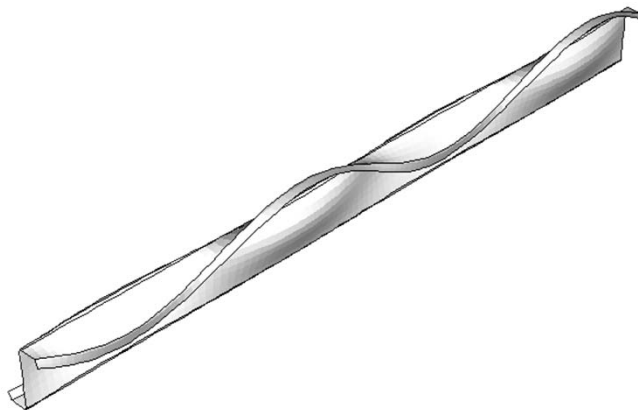
Cálculo de F_e , la tensión crítica de pandeo elástico

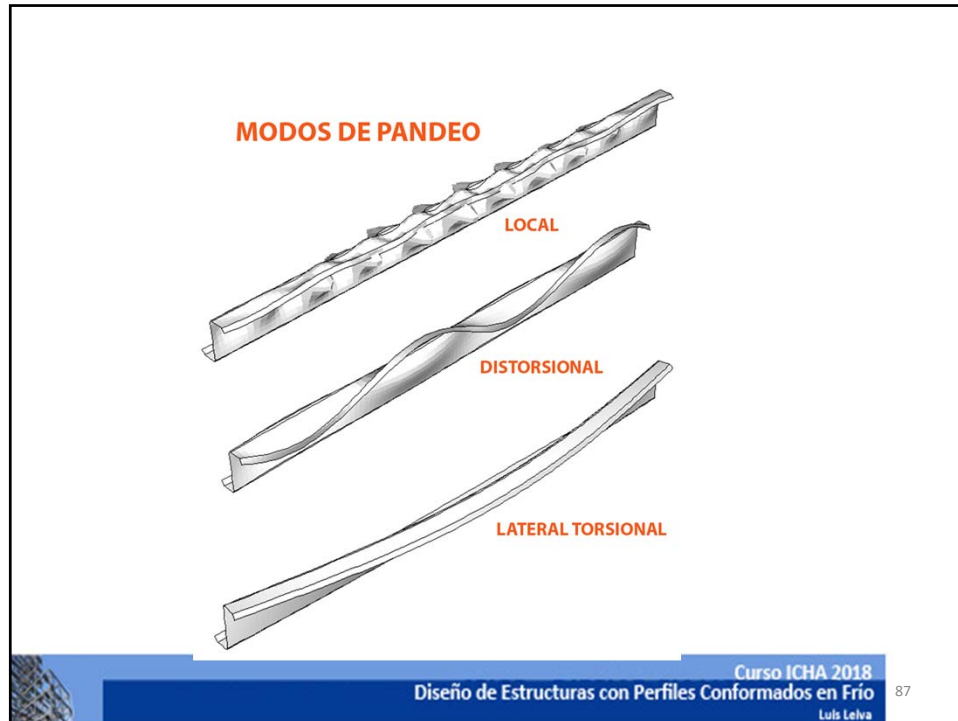
Secciones de simetría puntual

$$F_e = \min \left\{ \begin{array}{l} F_e = \frac{\pi^2 E}{(KL/r)^2} \quad \text{con respecto al eje principal menor} \\ \sigma_t = \frac{1}{Ar_0^2} \left[GJ + \frac{\pi^2 EC_w}{(K_t L_t)^2} \right] \end{array} \right.$$



Pandeo distorsional





Pandeo distorsional (C3.1.4)

especificaciones AISI → 3 métodos de análisis

-un **método simplificado** de verificación en la cláusula (C3.1.4.a),

-un **método más exacto** en (C3.1.4.b), y

-la determinación por el **método de resistencia directa** del Anexo 1 (C3.1.4.c)



Pandeo distorsional

Para $\lambda_d \leq 0.561$

$$P_n = P_y \quad \lambda_d = \sqrt{P_y/P_{crd}}$$

Para $\lambda_d > 0.561$

$$P_n = \left(1 - 0.25 \left(\frac{P_{crd}}{P_y} \right)^{0.6} \right) \left(\frac{P_{crd}}{P_y} \right)^{0.6} P_y$$

$$P_y = A_g F_y \quad P_{crd} = A_g F_d$$

Pandeo distorsional

secciones C y Z, o secciones tipo sombrero o cualquier sección abierta con alas atiesadas de igual dimensión donde los atiesadores son de pestaña simple o de un atiesador de borde complejo

$$F_d = \frac{k_{\phi fe} + k_{\phi we} + k_{\phi}}{\tilde{k}_{\phi fg} + \tilde{k}_{\phi wg}}$$

Rigideces rotacionales

| | |
|--|-----------------------|
| proporcionada por el ala a la unión ala/alma | $k_{\phi fe}$ |
| proporcionada por el alma a la unión ala/alma | $k_{\phi we}$ |
| proporcionada por elementos de apoyo (riestra, panel, cubierta) a la unión ala/alma | k_{ϕ} |
| requerida por el ala desde la unión ala/alma (dividida por la tensión F_d) | $\tilde{k}_{\phi fg}$ |
| requerida por el alma desde la unión ala/alma (dividida por la tensión F_d) | $\tilde{k}_{\phi wg}$ |

Pandeo distorsional

secciones C y Z, o secciones tipo sombrero o cualquier sección abierta con alas atisadas de igual dimensión donde los atisadores son de pestaña simple o de un atisador de borde complejo

$$F_d = \frac{k_{\phi fe} + k_{\phi we} + k_{\phi}}{\tilde{k}_{\phi fg} + \tilde{k}_{\phi wg}}$$

Rigidez rotacional proporcionada por el **alma** a la unión ala/alma $k_{\phi we}$

$$k_{\phi we} = \frac{Et^3}{6h_0(1-\mu^2)}$$

Pandeo distorsional

$$F_d = \frac{k_{\phi fe} + k_{\phi we} + k_{\phi}}{\tilde{k}_{\phi fg} + \tilde{k}_{\phi wg}}$$

$\tilde{k}_{\phi wg}$ **Rigidez rotacional geométrica** (dividida por la tensión F_d) requerida por el **ala** desde la unión ala/alma

$$\tilde{k}_{\phi wg} = \left(\frac{\pi}{L}\right)^2 \frac{th_0^3}{60}$$

L = Mínimo entre L_{cr} y L_m

$$L_{cr} = \left(\frac{6\pi^4 h_0 (1-\mu^2)}{t^3} \left(I_{xf}(x_{of}-h_{xf})^2 + C_{wf} \frac{I_{xyf}^2}{I_{yf}} (x_{of}-h_{xf})^2 \right) \right)^{1/4}$$

L_m = Distancia entre apoyos discretos que restringen el pandeo distorsional (para miembros restringidos en forma continua $L_m = L_{cr}$)

Pandeo distorsional

$$F_d = \frac{k_{\phi fe} + k_{\phi we} + k_{\phi}}{\tilde{k}_{\phi fg} + \tilde{k}_{\phi wg}}$$

Rigidez rotacional proporcionada por el ala a la unión ala/alma $k_{\phi fe}$

$$k_{\phi fe} = \left(\frac{\pi}{L}\right)^4 \left(EI_{xf} (x_0 - h_x)^2 + EC_{wf} - E \frac{I_{xyf}^2}{I_{yf}} (x_0 - h_x)^2 \right) + \left(\frac{\pi}{L}\right)^2 GJ_f$$

- I_{xf} = Momento de inercia del ala en torno al eje x
- x_0 = Distancia x desde el centroide del ala al centro de corte del ala
- h_x = Distancia x desde el centroide del ala a la unión ala/alma
- C_{wf} = Constante de alabeo del ala
- I_{xyf} = Producto del momento de inercia del ala
- I_{yf} = Momento de inercia del ala con respecto al eje y

Pandeo distorsional

$$F_d = \frac{k_{\phi fe} + k_{\phi we} + k_{\phi}}{\tilde{k}_{\phi fg} + \tilde{k}_{\phi wg}}$$

$\tilde{k}_{\phi fg}$ **Rigidez rotacional geométrica** (dividida por la tensión F_d) requerida por el ala desde la unión ala/alma

$$\tilde{k}_{\phi fg} = \left(\frac{\pi}{L}\right)^2 \left[A_f \left((x_0 - h_x)^2 \left(\frac{I_{xyf}}{I_{yf}}\right)^2 - 2y_0 (x_0 - h_x) \left(\frac{I_{xyf}}{I_{yf}}\right) + h_x^2 + y_0^2 \right) + I_{xf} + I_{yf} \right]$$

- A_f = Area de la sección transversal del ala en compresión más el atiesador
- y_0 = Distancia y desde el centroide del ala al centro de corte del ala

Diseño a Flexión

Condición de diseño

| | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • <u>LRFD</u> • $M_u \leq \Phi_b M_n$ • | <ul style="list-style-type: none"> • <u>ASD</u> • $M_a \leq M_n / \Omega_t$ |
|---|---|

Resistencia nominal a flexión: M_n

Curso ICHA 2018
95

Diseño de Estructuras con Perfiles Conformados en Frío
Luis Leiva

1) Resistencia a flexión

La resistencia nominal a flexión **M_n** es el valor mínimo correspondiente a:

- FALLA POR FLUENCIA
- FALLA POR PANDEO LATERAL TORSIONAL
- FALLA POR PANDEO DISTORSIONAL

Curso ICHA 2018
96

Diseño de Estructuras con Perfiles Conformados en Frío
Luis Leiva

1) Resistencia a flexión

La resistencia nominal a flexión M_n es el valor mínimo correspondiente a:

- FALLA POR FLUENCIA

$$M_n = S_e F_y$$

- FALLA POR PANDEO LATERAL TORSIONAL

$$M_n = S_c F_c$$

- FALLA POR PANDEO DISTORSIONAL

$$M_n = \left(1 - 0,22 \left(\frac{M_{crd}}{M_y} \right)^{0,5} \right) \left(\frac{M_{crd}}{M_y} \right)^{0,5} M_y$$

1) Determinar la resistencia a flexión

FALLA POR FLUENCIA

(a) Procedimiento I - Basado en la iniciación de la fluencia

(b) Procedimiento II - Basado en la reserva de capacidad inelástica

1) resistencia a flexión

FALLA POR FLUENCIA

(a) Procedimiento I - Basado en la iniciación de la fluencia

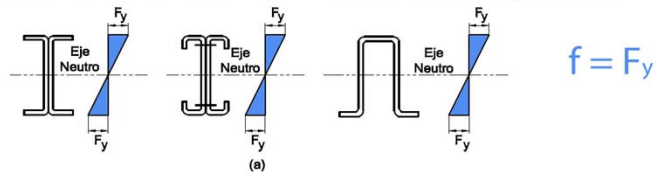
$$M_n = S_e F_y$$

S_e = Módulo elástico de la sección efectiva calculado en relación a la fibra extrema en tracción o compresión que primero alcance la tensión F_y

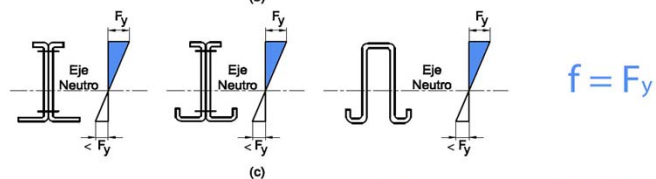
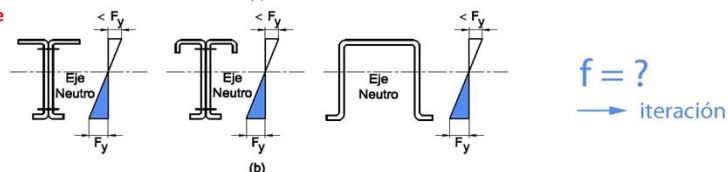
1) Resistencia a flexión

FALLA POR FLUENCIA

(a) Procedimiento I - Basado en la iniciación de la fluencia



Para el cálculo de S_e se requiere el ancho efectivo b_e el cual depende de la tensión de compresión f



1) Resistencia a flexión

FALLA POR FLUENCIA*(b) Procedimiento II - Basado en la reserva de capacidad inelástica***Se puede utilizar si se cumplen las siguientes condiciones:**

- (1) El miembro no está sujeto a torsión o al pandeo lateral, torsional o flexo-torsional.
- (2) El efecto del formado en frío no se ha incluido en la determinación de la tensión de fluencia F_y .
- (3) La razón entre la altura de la porción comprimida del alma y su espesor no excede λ_1 .
- (4) El esfuerzo de corte no excede $0.35F_y$ para ASD, y $0.6F_y$ para LRFD multiplicado por el área del alma (ht para elementos atiesados o wt para elementos no atiesados).
- (5) El ángulo entre un alma y la vertical no puede exceder 30 grados.

1) Resistencia a flexión

FALLA POR FLUENCIA*(b) Procedimiento II - Basado en la reserva de capacidad inelástica*

La resistencia nominal a flexión M_n no puede ser mayor que $1.25S_x F_y$, determinado de acuerdo con el Procedimiento I de la sección C3.1.1(a) o la que causa la deformación unitaria máxima en compresión igual a $C_y e_y$ (no se limita la deformación unitaria máxima en tracción).

$$e_y = \text{Deformación unitaria de fluencia} \\ = F_y/E$$

1) Resistencia a flexión

FALLA POR FLUENCIA

(b) Procedimiento II - Basado en la reserva de capacidad inelástica

(i) Elementos atiesados en compresión sin atiesadores intermedios

$$C_y = 3 \quad \text{si } w/t \leq \lambda_1$$

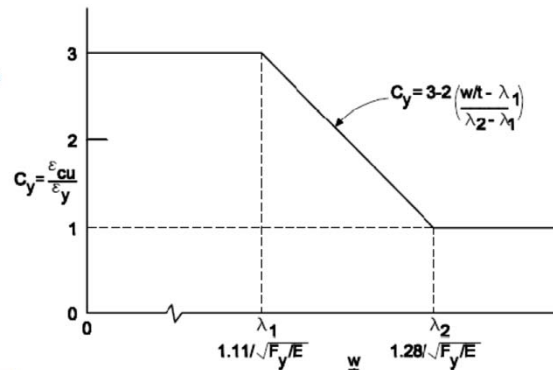
$$C_y = 3 - 2 \left(\frac{w/t - \lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} \right) \quad \text{si } \lambda_1 < \frac{w}{t} < \lambda_2$$

$$C_y = 1 \quad \text{si } w/t \geq \lambda_2$$

donde

$$\lambda_1 = \frac{1.11}{\sqrt{F_y/E}}$$

$$\lambda_2 = \frac{1.28}{\sqrt{F_y/E}}$$



Curso ICHA 2018
Diseño de Estructuras con Perfiles Conformados en Frío 103
Luis Leiva

1) Resistencia a flexión

FALLA POR FLUENCIA

(b) Procedimiento II - Basado en la reserva de capacidad inelástica

(ii-1) Elementos no atiesados en compresión bajo gradiente de tensiones que produce compresión en un borde longitudinal y tracción en el otro borde longitudinal:

$$C_y = 3.0 \quad \text{si } \lambda \leq \lambda_3$$

$$C_y = 3 - 2 \left[\frac{(\lambda - \lambda_3)}{(\lambda_4 - \lambda_3)} \right] \quad \text{si } \lambda_3 < \lambda < \lambda_4$$

$$C_y = 1 \quad \text{si } \lambda \geq \lambda_4$$

$$\lambda_3 = 0.43$$

$$\lambda_4 = 0.673(1 + \psi)$$

Curso ICHA 2018
Diseño de Estructuras con Perfiles Conformados en Frío 104
Luis Leiva

1) Resistencia a flexión

FALLA POR FLUENCIA

(b) Procedimiento II - Basado en la reserva de capacidad inelástica

(ii-2) Elementos no atiesados en compresión bajo gradiente de tensiones que causa compresión en ambos bordes longitudinales:

(ii-3) Elementos no atiesados en compresión uniforme:

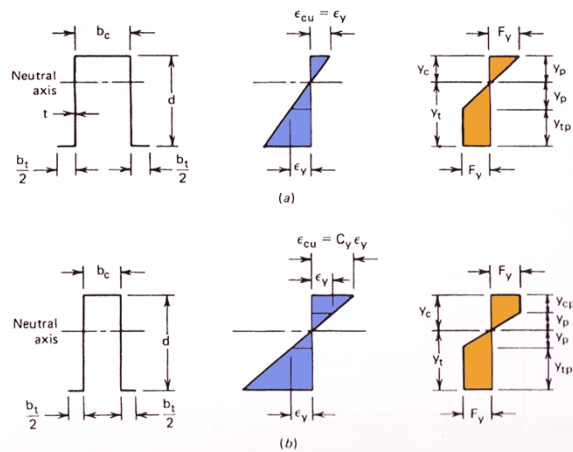
(iii) Elementos con atiesadores de borde y elementos multi-atiesados en compresión.

$C_y = 1$

1) Resistencia a flexión

FALLA POR FLUENCIA

(b) Procedimiento II - Basado en la reserva de capacidad inelástica



1) Resistencia a flexión

FALLA POR FLUENCIA

(b) Procedimiento II - Basado en la reserva de capacidad inelástica

$$R1 + R2 = R2 + R3$$

$$R1 = R3$$

$$b_c F_y = (d - 2y_c) 2 F_y + b_t F_y$$

$$y_c = \frac{b_t - b_c + 2d}{4}$$

$$y_t = d - y_c$$

$$y_p = \frac{y_c}{\epsilon_{cu} / \epsilon_y}$$

$$y_{cp} = y_c - y_p$$

$$y_{tp} = y_t - y_p$$

$$M_n = F_y t \left[b_c y_c + 2y_{cp} \left(y_p + \frac{y_{cp}}{2} \right) + \frac{4}{3} (y_p)^2 + 2y_{tp} \left(y_p + \frac{y_{tp}}{2} \right) + b_t y_t \right]$$

Curso ICHA 2018
 Diseño de Estructuras con Perfiles Conformados en Frío 107
 Luis Lelva

1) Resistencia a flexión

FALLA POR PANDEO LATERAL-TORSIONAL

$$M_n = S_c F_c$$

S_c = Módulo elástico de la sección efectiva calculado en relación a la fibra extrema en compresión F_c

F_c = Tensión crítica de pandeo lateral torsional (elástico e inelástico)
F_c depende de F_e y F_y

F_e = Tensión crítica de pandeo lateral torsional elástico

Curso ICHA 2018
 Diseño de Estructuras con Perfiles Conformados en Frío 108
 Luis Lelva

54

1) Resistencia a flexión

FALLA POR PANDEO LATERAL-TORSIONAL

F_c = Tensión crítica de pandeo lateral torsional (elástico e inelástico)

Para $F_e \geq 2.78F_y$

El tramo del miembro no está sujeto a pandeo lateral torsional a un momento flector menor o igual que M_y

Para $2.78F_y > F_e > 0.56F_y$

$$F_c = \frac{10}{9} F_y \left(1 - \frac{10F_y}{36F_e} \right)$$

Para $F_e \leq 0.56F_y$

$$F_c = F_e$$

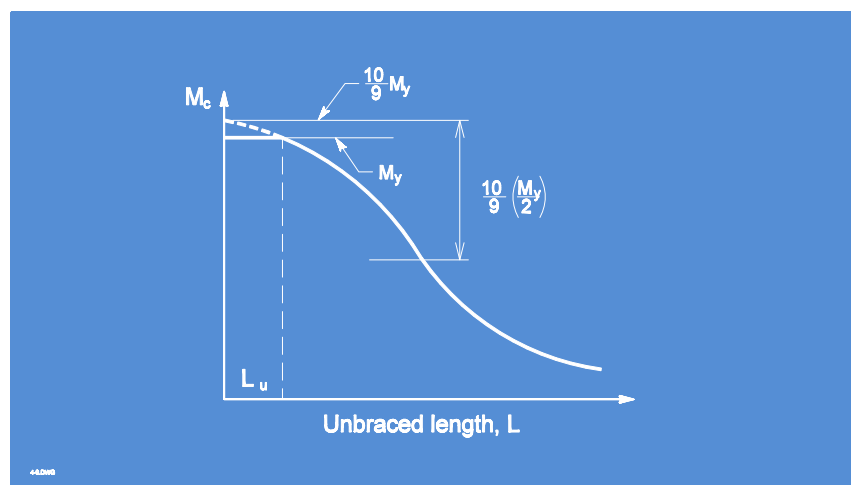
Curso ICHA 2018

Diseño de Estructuras con Perfiles Conformados en Frío

Luis Leiva 109

1) Resistencia a flexión

FALLA POR PANDEO LATERAL-TORSIONAL



Curso ICHA 2018

Diseño de Estructuras con Perfiles Conformados en Frío

Luis Leiva 110

1) Resistencia a flexión

FALLA POR PANDEO LATERAL-TORSIONAL

F_e = Tensión crítica de pandeo lateral torsional elástico

(a) Para secciones de simetría simple, doble y puntual:

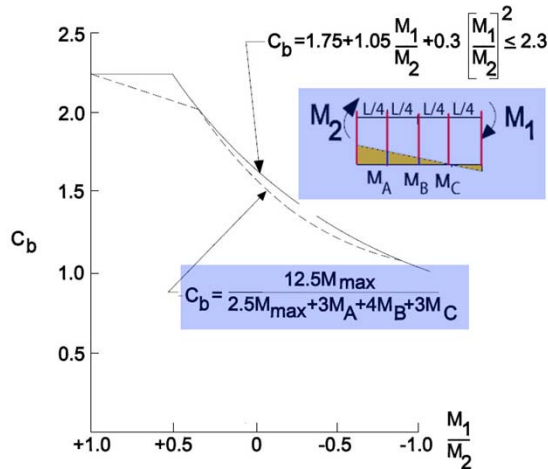
(i) Para flexión en torno el eje de simetría

$$F_e = \frac{C_b r_0^2 A}{S_f} \sqrt{\sigma_{ey} \sigma_t} \quad \text{Para secciones con simetría simple o doble}$$

$$F_e = \frac{C_b r_0^2 A}{2S_f} \sqrt{\sigma_{ey} \sigma_t} \quad \text{Para secciones con simetría puntual}$$

1) Resistencia a flexión

FALLA POR PANDEO LATERAL-TORSIONAL



1) Resistencia a flexión

FALLA POR PANDEO LATERAL-TORSIONAL

r_0 = Radio de giro polar de la sección en torno al centro de corte

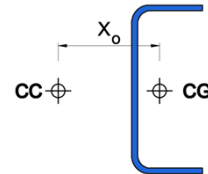
$$r_0 = \sqrt{r_x^2 + r_y^2 + X_0^2}$$

S_f = módulo elástico de la sección total no reducida relativo a la fibra extrema en compresión

$$\sigma_{ey} = \frac{\pi^2 E}{(K_y L_y / r_y)^2}$$

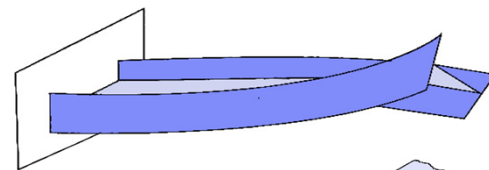
$$\sigma_t = \frac{1}{A r_0^2} \left[GJ + \frac{\pi^2 E C_w}{(K_t L_t)^2} \right]$$

- G = Módulo de corte
- J = Constante de torsión de Saint-Venant
- C_w = Constante de alabeo de la sección
- K_t = Factor de longitud efectiva para la torsión
- L_t = Longitud no arriestrada en torsión del elemento

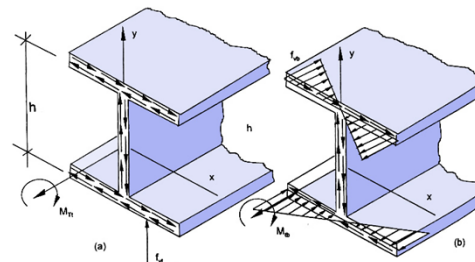
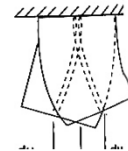


1) Resistencia a flexión

FALLA POR PANDEO LATERAL-TORSIONAL



alabeo



tensiones por torsión

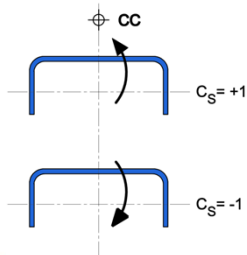
tensiones por alabeo

1) Resistencia a flexión

FALLA POR PANDEO LATERAL-TORSIONAL

- (ii) Para secciones de simetría simple en flexión respecto al eje centroidal perpendicular al eje de simetría:

$$F_e = \frac{C_s A \sigma_{ex}}{C_{TF} S_f} \left[j + C_s \sqrt{j^2 + r_0^2 (\sigma_t / \sigma_{ex})} \right]$$



$$\sigma_{ex} = \frac{\pi^2 E}{(K_x L_x / r_x)^2}$$

$$C_{TF} = 0.6 - 0.4 (M_1 / M_2)$$

$$j = \frac{1}{2I_y} \left[\int_A x^3 dA + \int_A xy^2 dA \right] - x_0$$

Curso ICHA 2018

Diseño de Estructuras con Perfiles Conformados en Frío 115

Luis Leiva

1) Resistencia a flexión

FALLA POR PANDEO LATERAL-TORSIONAL

- (b) Para secciones I, secciones C de simetría simple, o secciones Z en flexión respecto al eje centroidal perpendicular al alma (eje x)

Se puede usar un cálculo alternativo en lugar de (a)

$$F_e = \frac{C_b \pi^2 E d I_{yc}}{S_f (K_y L_y)^2}$$

para secciones I de simetría doble y secciones C de simetría simple

$$F_e = \frac{C_b \pi^2 E d I_{yc}}{2 S_f (K_y L_y)^2}$$

para secciones Z de simetría puntual

I_{yc} = Momento de inercia de la zona comprimida de la sección en torno al eje centroidal de la sección completa paralelo al alma, usando la sección no reducida.

Curso ICHA 2018

Diseño de Estructuras con Perfiles Conformados en Frío 116

Luis Leiva

1) Resistencia a **flexión****FALLA POR PANDEO LATERAL-TORSIONAL**

Otros casos incluidos en las especificaciones

C3.1.2.2 Resistencia al Pandeo lateral Torsional de Elementos Cerrados Tipo Cajón

C3.1.3 Resistencia a flexión de elementos cilíndricos cerrados

1) Resistencia a **flexión****FALLA POR PANDEO DISTORSIONAL**

$$\text{Para } \lambda_d \leq 0.673 \quad M_n = M_y$$

$$\text{Para } \lambda_d > 0.673 \quad M_n = \left(1 - 0.22 \left(\frac{M_{crd}}{M_y} \right)^{0.5} \right) \left(\frac{M_{crd}}{M_y} \right)^{0.5} M_y$$

$$\lambda_d = \sqrt{M_y / M_{crd}}$$

$$M_{crd} = S_f F_d$$

$$M_y = S_{fy} F_y$$

F_d = Tensión elástica de pandeo distorsional

S_{fy} = Módulo elástico de la sección total no reducida relativo a la primera fibra extrema en fluencia.

S_f = Módulo elástico de la sección total no reducida relativo a la fibra extrema en compresión.

1) Resistencia a flexión

FALLA POR PANDEO DISTORSIONAL

secciones C y Z, o secciones tipo sombrero o cualquier sección abierta con un ala atiesada en compresión donde el atiesador es una pestaña simple o un atiesador de borde complejo

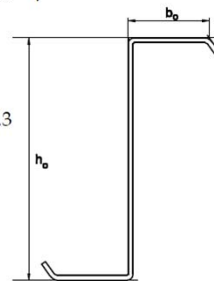
$$F_d = \beta \frac{k_{\phi fe} + k_{\phi we} + k_{\phi}}{\tilde{k}_{\phi fg} + \tilde{k}_{\phi wg}}$$

$$\beta = 1.0 \leq 1 + 0.4(L/L_m)^{0.7} (1 - M_1/M_2)^{0.7} \leq 1.3$$

$$L = \text{Mínimo} \left\{ \begin{array}{l} L_m = \text{Distancia entre apoyos discretos que restringen el pandeo distorsional} \\ \text{(para miembros restringidos de forma continua } L_m = L_{cr}) \\ L_{cr} = \left(\frac{4\pi^4 h_0 (1 - \mu^2)}{t^3} \left(I_{xf} (x_0 - h_x)^2 + C_{wf} - \frac{I_{xyf}^2}{I_{yf}} (x_0 - h_x)^2 \right) + \frac{\pi^4 h_0^4}{720} \right)^{1/4} \end{array} \right.$$

$$L_{cr} = \left(\frac{4\pi^4 h_0 (1 - \mu^2)}{t^3} \left(I_{xf} (x_0 - h_x)^2 + C_{wf} - \frac{I_{xyf}^2}{I_{yf}} (x_0 - h_x)^2 \right) + \frac{\pi^4 h_0^4}{720} \right)^{1/4}$$

- h_0 = Altura de borde a borde del alma tal como se define en figura B2.3
- μ = Coeficiente de Poisson
- t = Espesor
- I_{xf} = Momento de inercia del ala en torno al eje x
- x_0 = Distancia x desde el centroide del ala al centro de corte del ala
- h_x = Distancia x desde el centroide del ala a la unión ala/alma
- C_{wf} = Constante de alabeo del ala
- I_{xyf} = Producto del momento de inercia del ala
- I_{yf} = Momento de inercia del ala con respecto al eje y



Las variables, I_{xf} , I_{yf} , I_{xyf} , C_{wf} , x_0 , y h_x , son propiedades del ala en compresión incluyendo el atiesador de borde respecto al sistema de ejes x-y ubicados en el centroide del ala, con el eje x considerado como positivo a la derecha del centroide y el eje y positivo bajo el centroide.

1) Resistencia a flexión

FALLA POR PANDEO DISTORSIONAL

secciones C y Z, o secciones tipo sombrero o cualquier sección abierta con un ala atiesada en compresión donde el atiesador es una pestaña simple o un atiesador de borde complejo

$$F_d = \beta \frac{k_{\phi fe} + k_{\phi we} + k_{\phi}}{\tilde{k}_{\phi fg} + \tilde{k}_{\phi wg}}$$

Rigideces rotacionales

| | |
|--|-----------------------|
| proporcionada por el ala a la unión ala/alma | $k_{\phi fe}$ |
| proporcionada por el alma a la unión ala/alma | $k_{\phi we}$ |
| proporcionada por elementos de apoyo (riostra, panel, cubierta) a la unión ala/alma | k_{ϕ} |
| requerida por el ala desde la unión ala/alma (dividida por la tensión F_d) | $\tilde{k}_{\phi fg}$ |
| requerida por el alma desde la unión ala/alma (dividida por la tensión F_d) | $\tilde{k}_{\phi wg}$ |

1) Resistencia a flexión

FALLA POR PANDEO DISTORSIONAL

secciones C y Z, o secciones tipo sombrero o cualquier sección abierta con un ala atiesada en compresión donde el atiesador es una pestaña simple o un atiesador de borde complejo

$$F_d = \beta \frac{k_{\phi fe} + k_{\phi we} + k_{\phi}}{\tilde{k}_{\phi fg} + \tilde{k}_{\phi wg}}$$

Rigidez rotacional proporcionada por el **ala** a la unión ala/alma

$$k_{\phi fe} = \left(\frac{\pi}{L}\right)^4 \left(EI_{xf} (x_0 - h_x)^2 + EC_{wf} - E \frac{I_{xyf}^2}{I_{yf}} (x_0 - h_x)^2 \right) + \left(\frac{\pi}{L}\right)^2 GJ_f$$

- I_{xf} = Momento de inercia del ala en torno al eje x
- x_0 = Distancia x desde el centroide del ala al centro de corte del ala
- h_x = Distancia x desde el centroide del ala a la unión ala/alma
- C_{wf} = Constante de alabeo del ala
- I_{xyf} = Producto del momento de inercia del ala
- I_{yf} = Momento de inercia del ala con respecto al eje y

1) Resistencia a flexión

FALLA POR PANDEO DISTORSIONAL

secciones C y Z, o secciones tipo sombrero o cualquier sección abierta con un ala atiesada en compresión donde el atiesador es una pestaña simple o un atiesador de borde complejo

$$F_d = \beta \frac{k_{\phi fe} + k_{\phi we} + k_{\phi}}{\tilde{k}_{\phi fg} + \tilde{k}_{\phi wg}}$$

Rigidez rotacional proporcionada por el alma a la unión ala/alma $k_{\phi we}$

$$k_{\phi we} = \frac{Et^3}{12(1-\mu^2)} \left(\frac{3}{h_o} + \left(\frac{\pi}{L} \right)^2 \frac{19h_o}{60} + \left(\frac{\pi}{L} \right)^4 \frac{h_o^3}{240} \right)$$

1) Resistencia a flexión

FALLA POR PANDEO DISTORSIONAL

secciones C y Z, o secciones tipo sombrero o cualquier sección abierta con un ala atiesada en compresión donde el atiesador es una pestaña simple o un atiesador de borde complejo

$$F_d = \beta \frac{k_{\phi fe} + k_{\phi we} + k_{\phi}}{\tilde{k}_{\phi fg} + \tilde{k}_{\phi wg}}$$

$\tilde{k}_{\phi fg}$ Rigidez rotacional geométrica (dividida por la tensión F_d) requerida por el ala desde la unión ala/alma

$$\tilde{k}_{\phi fg} = \left(\frac{\pi}{L} \right)^2 \left[A_f \left((x_o - h_x)^2 \left(\frac{I_{xyf}}{I_{yf}} \right)^2 - 2y_o (x_o - h_x) \left(\frac{I_{xyf}}{I_{yf}} \right) + h_x^2 + y_o^2 \right) + I_{xf} + I_{yf} \right]$$

A_f = Área de la sección transversal del ala en compresión más el atiesador

y_o = Distancia y desde el centroide del ala al centro de corte del ala

1) Resistencia a flexión

FALLA POR PANDEO DISTORSIONAL

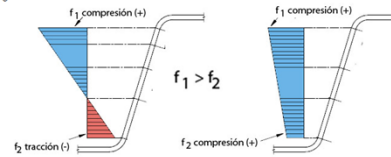
secciones C y Z, o secciones tipo sombrero o cualquier sección abierta con un ala atiesada en compresión donde el atiesador es una pestaña simple o un atiesador de borde complejo

$$F_d = \beta \frac{k_{\phi fe} + k_{\phi we} + k_{\phi}}{\tilde{k}_{\phi fg} + \tilde{k}_{\phi wg}}$$

$\tilde{k}_{\phi wg}$ Rigidez rotacional geométrica (dividida por la tensión F_d) requerida por el ala desde la unión ala/alma

$$\tilde{k}_{\phi wg} = \frac{h_0 t \pi^2}{13440} \left(\frac{[45360(1-\xi_{web}) + 62160] \left(\frac{L}{h_0}\right)^2 + 448\pi^2 + \left(\frac{h_0}{L}\right)^2 [53 + 3(1-\xi_{web})] \pi^4}{\pi^4 + 28\pi^2 \left(\frac{L}{h_0}\right)^2 + 420 \left(\frac{L}{h_0}\right)^4} \right)$$

$$\xi_{web} = (f_1 - f_2) / f_1$$



Diseño de miembros estructurales de acero conformados en frío usando el método de resistencia directa.

Método de Bandas Finitas

Finite Strip Method



Método de Resistencia Directa

- Método de diseño alternativo
- Requiere la determinación de la resistencia al **pandeo elástico** del miembro
- **No** requiere calcular anchos efectivos, usa las propiedades de la sección bruta para predecir la resistencia de un miembro
- Se puede aplicara a **columnas y vigas**
- Se presentan secciones de vigas y columnas precalificadas

Método de Bandas Finitas

$$u = \left[1 - \frac{x}{b} \right] \left(\frac{x}{b} \right) \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{bmatrix} \sin \left(\frac{m\pi \cdot y}{a} \right)$$

$$v = \left[1 - \frac{x}{b} \right] \left(\frac{x}{b} \right) \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \end{bmatrix} \cos \left(\frac{m\pi \cdot y}{a} \right)$$

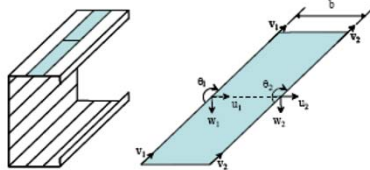
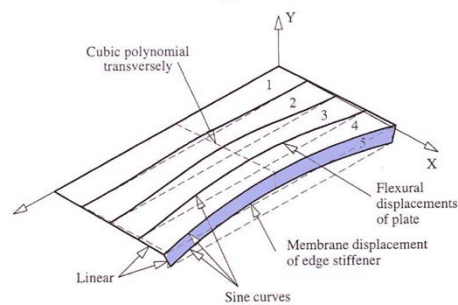
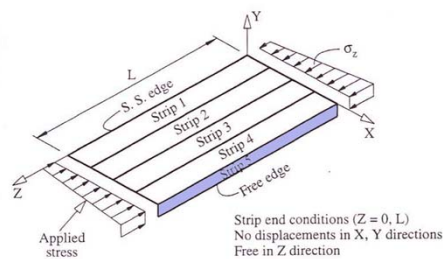
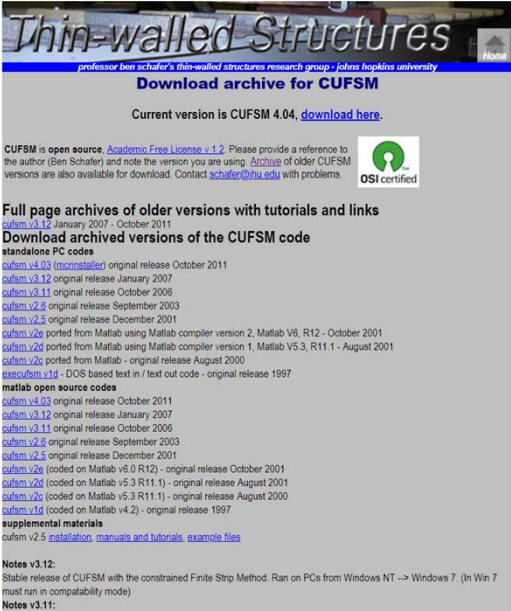


Figura 2. 15. Grados de Libertad de una Banda





Thin-walled Structures
professor ben schuster's thin-walled structures research group - johns hopkins university

Download archive for CUFSM

Current version is CUFSM 4.04, [download here](#).

CUFSM is open source. [Academic Free License v.1.2](#). Please provide a reference to the author (Ben Schuster) and note the version you are using. [Archive](#) of older CUFSM versions are also available for download. Contact schuster@jhu.edu with problems.

OSI certified

Full page archives of older versions with tutorials and links
[cu fsm v3.12](#) January 2007 - October 2011

Download archived versions of the CUFSM code

standalone PC codes
[cu fsm v4.03 \(mcrinstaller\)](#) original release October 2011
[cu fsm v3.12](#) original release January 2007
[cu fsm v3.11](#) original release October 2006
[cu fsm v2.8](#) original release September 2003
[cu fsm v2.5](#) original release December 2001
[cu fsm v2e](#) ported from Matlab using Matlab compiler version 2, Matlab V6, R12 - October 2001
[cu fsm v2d](#) ported from Matlab using Matlab compiler version 1, Matlab V5.3, R11.1 - August 2001
[cu fsm v2c](#) ported from Matlab - original release August 2000
[execu fsm v1d](#) - DOS based text in / text out code - original release 1997

matlab open source codes
[cu fsm v4.03](#) original release October 2011
[cu fsm v3.12](#) original release January 2007
[cu fsm v3.11](#) original release October 2006
[cu fsm v2.8](#) original release September 2003
[cu fsm v2.5](#) original release December 2001
[cu fsm v2e](#) (coded on Matlab v6 R12) - original release October 2001
[cu fsm v2d](#) (coded on Matlab v5.3 R11.1) - original release August 2001
[cu fsm v2c](#) (coded on Matlab v5.3 R11.1) - original release August 2000
[cu fsm v1d](#) (coded on Matlab v4.2) - original release 1997

supplemental materials
[cu fsm v2.5 installation manuals and tutorials example files](#)

Notes v3.12:
Stable release of CUFSM with the constrained Finite Strip Method. Ran on PCs from Windows NT → Windows 7. (In Win 7 must run in compatibility mode)

Notes v3.11:

Curso ICHA 2018
Luis Leiva
129

método de resistencia directa

Se puede calcular P_n y M_n

$$P_n = \min \left\{ \begin{array}{l} P_{ne} \text{ Pandeo por flexión, torsión o flexo-torsión} \\ P_{nl} \text{ Pandeo Local} \\ P_{nd} \text{ Pandeo Distorsional} \end{array} \right.$$

$$M_n = \min \left\{ \begin{array}{l} M_{ne} \text{ Pandeo Lateral Torsional} \\ M_{nl} \text{ Pandeo Local} \\ M_{nd} \text{ Pandeo Distorsional} \end{array} \right.$$

método de resistencia directa

Se puede calcular P_n y M_n

$$P_n = \min \begin{cases} P_{ne} \leftarrow P_{cre} & \text{Pandeo por flexión, torsión o flexo-torsión} \\ P_{nl} \leftarrow P_{crl} & \text{Pandeo Local} \\ P_{nd} \leftarrow P_{crl} & \text{Pandeo Distorsional} \end{cases}$$

$$M_n = \min \begin{cases} M_{ne} \leftarrow M_{cre} & \text{Pandeo Lateral Torsional} \\ M_{nl} \leftarrow M_{crl} & \text{Pandeo Local} \\ M_{nd} \leftarrow M_{crl} & \text{Pandeo Distorsional} \end{cases}$$

método de resistencia directa

$$P_n = \min \begin{cases} P_{ne} \leftarrow P_{cre} & \text{Pandeo por flexión, torsión o flexo-torsión} \\ P_{nl} \leftarrow P_{crl} & \text{Pandeo Local} \\ P_{nd} \leftarrow P_{crl} & \text{Pandeo Distorsional} \end{cases}$$

(a) Para $\lambda_c \leq 1.5$

$$P_{ne} = (0.658^{\lambda_c^2}) P_y$$

(b) Para $\lambda_c > 1.5$

$$P_{ne} = \left(\frac{0.877}{\lambda_c^2} \right) P_y$$

$$\lambda_c = \sqrt{P_y / P_{cre}}$$

$$P_y = A_g F_y$$

(Ec.1.2.1-4)

P_{cre} = Mínimo de la carga de pandeo elástico crítico de la columna, en pandeo por flexión, torsión o flexo-torsional determinado por el análisis según la sección 1.1.2

método de resistencia directa

$$P_n = \min \begin{cases} P_{ne} \leftarrow P_{cre} & \text{Pandeo por flexión, torsión o flexo-torsión} \\ P_{nl} \leftarrow P_{crl} & \text{Pandeo Local} \\ P_{nd} \leftarrow P_{crd} & \text{Pandeo Distorsional} \end{cases}$$

(a) Para $\lambda_1 \leq 0.776$

$$P_{nl} = P_{ne}$$

$$\lambda_1 = \sqrt{P_{ne}/P_{crl}}$$

(c) Para $\lambda_1 > 0.776$

$$P_{nl} = \left[1 - 0.15 \left(\frac{P_{crl}}{P_{ne}} \right)^{0.4} \right] \left(\frac{P_{crl}}{P_{ne}} \right)^{0.4} P_{ne}$$

P_{crl} = Carga de pandeo local crítico de la columna determinado por el análisis de acuerdo con las sección 1.1.2

método de resistencia directa

$$P_n = \min \begin{cases} P_{ne} \leftarrow P_{cre} & \text{Pandeo por flexión, torsión o flexo-torsión} \\ P_{nl} \leftarrow P_{crl} & \text{Pandeo Local} \\ P_{nd} \leftarrow P_{crd} & \text{Pandeo Distorsional} \end{cases}$$

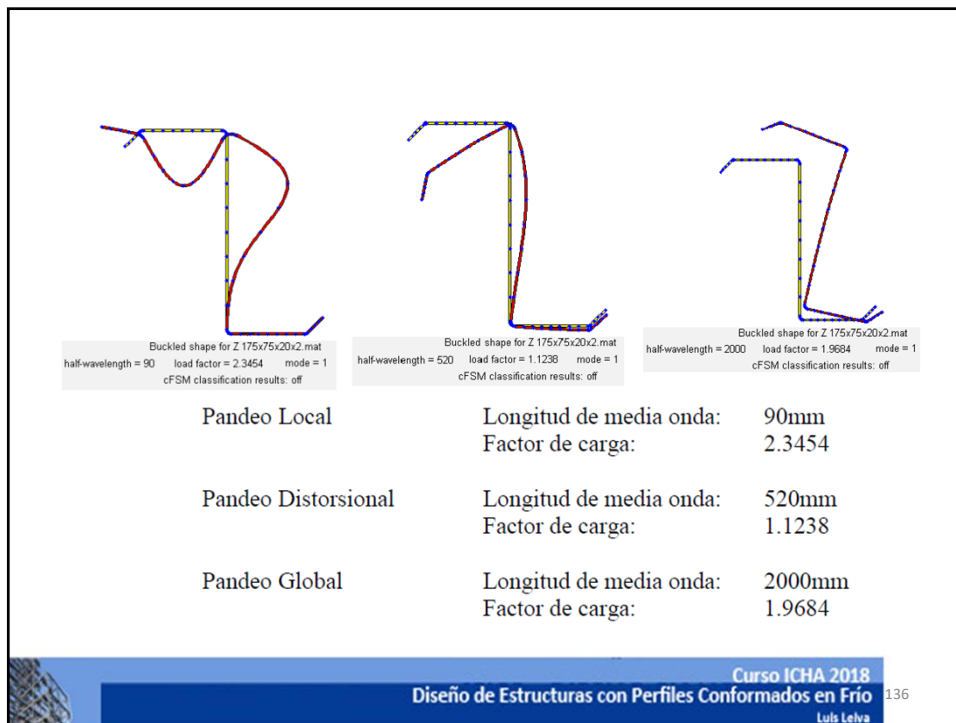
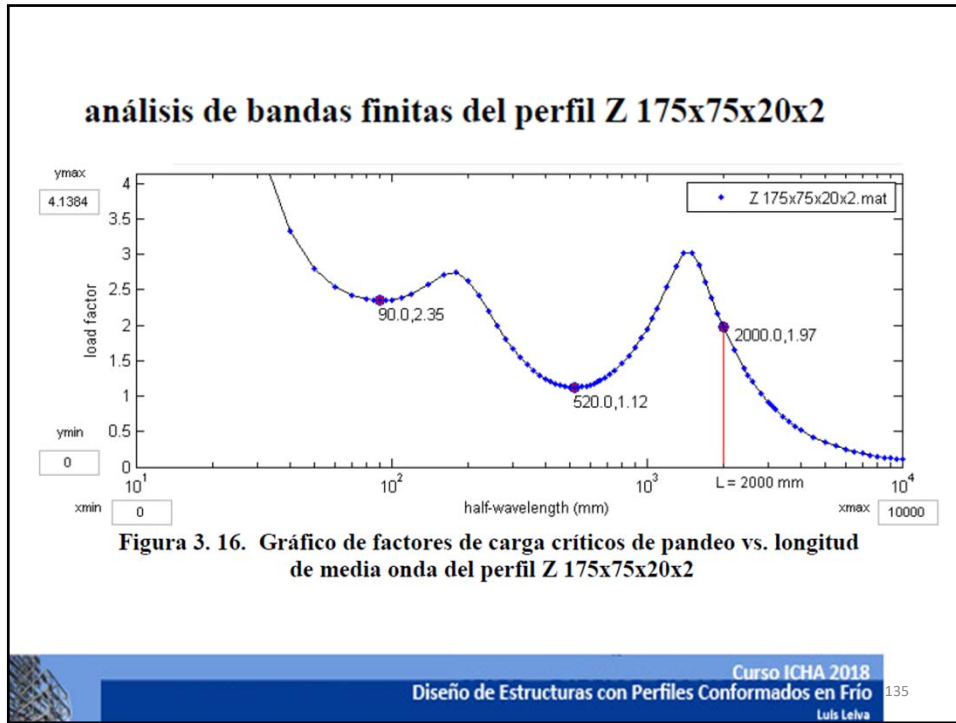
(a) Para $\lambda_d \leq 0.56$

$$P_{nd} = P_y$$

(b) Para $\lambda_d > 0.561$

$$P_{nd} = \left(1 - 0.25 \left(\frac{P_{crd}}{P_y} \right)^{0.6} \right) \left(\frac{P_{crd}}{P_y} \right)^{0.6} P_y \quad \lambda_d = \sqrt{P_y/P_{crd}}$$

P_{crd} = Carga de pandeo elástico distorsional crítico de la columna determinado por un análisis según Sección 1.1.2



método de resistencia directa

Perfil Z en flexión

$$M_n = \min \left\{ \begin{array}{l} M_{ne} \leftarrow M_{cre} \quad \text{Pandeo Lateral Torsional} \\ M_{nl} \leftarrow M_{crl} \quad \text{Pandeo Local} \\ M_{nd} \leftarrow M_{crd} \quad \text{Pandeo Distorsional} \end{array} \right.$$

$M_y = 1.075 \text{ ton-m}$

| | | ton-m | |
|-----------------|--------|-----------|-------|
| M_{crl} / M_y | 2.3454 | M_{crl} | 2.520 |
| M_{crd} / M_y | 1.1238 | M_{crd} | 1.208 |
| M_{cre} / M_y | 1.9684 | M_{cre} | 2.115 |

Anexo 1 - AISI

1.2.2.1 Pandeo Lateral Torsional

La resistencia nominal a flexión, M_{ne} , para el pandeo lateral torsional se calculará de acuerdo a lo siguiente:

(a) Para $M_{cre} < 0.56 M_y$

$$M_{ne} = M_{cre} \quad \text{(Ec. 1.2.2-1)}$$

(b) Para $2.78 M_y \geq M_{cre} \geq 0.56 M_y$

$$M_{ne} = \frac{10}{9} M_y \left(1 - \frac{10 M_y}{36 M_{cre}} \right) \quad \text{(Ec. 1.2.2-2)}$$

(c) Para $M_{cre} > 2.78 M_y$

$$M_{ne} = M_y \quad \text{(Ec. 1.2.2-3)}$$

donde

M_{cre} = Momento crítico de pandeo lateral torsional elástico determinado mediante el análisis indicado en la Sección 1.1.2

$$M_{ne} = 1.026 \text{ ton-m}$$

$M_y = 1.075 \text{ ton-m}$

| | | ton-m | |
|-----------------|--------|-----------|-------|
| M_{crf} / M_y | 2.3454 | M_{crf} | 2.520 |
| M_{crd} / M_y | 1.1238 | M_{crd} | 1.208 |
| M_{cre} / M_y | 1.9684 | M_{cre} | 2.115 |

Anexo 1 - AISI

1.2.2.2 Pandeo Local

La resistencia nominal a flexión, M_{nl} , para *pandeo local* se calculará según lo siguiente:

(a) Para $\lambda_f \leq 0.776$

$M_{nl} = M_{ne}$ (Ec.1.2.2-5)

(b) Para $\lambda_f > 0.776$

$M_{nl} = \left(1 - 0.15 \left(\frac{M_{crf}}{M_{ne}} \right)^{0.4} \right) \left(\frac{M_{crf}}{M_{ne}} \right)^{0.4} M_{ne}$ (Ec.1.2.2-6)

donde

$\lambda_f = \sqrt{M_{ne} / M_{crf}}$ (Ec.1.2.2-7)

M_{ne} = Valor definido en la Sección 1.2.2.1

M_{crf} = Momento crítico de pandeo local elástico determinado mediante el análisis indicado en la Sección 1.1.2

$\lambda_f = 0.638$
 $M_{nl} = 1.026 \text{ ton-m}$

$M_y = 1.075 \text{ ton-m}$

| | | ton-m | |
|-----------------|--------|-----------|-------|
| M_{crf} / M_y | 2.3454 | M_{crf} | 2.520 |
| M_{crd} / M_y | 1.1238 | M_{crd} | 1.208 |
| M_{cre} / M_y | 1.9684 | M_{cre} | 2.115 |

Anexo 1 - AISI

1.2.2.3 Pandeo Distorsional

La resistencia nominal a flexión, M_{nd} , para el pandeo distorsional se calculará de acuerdo a lo siguiente:

(a) Para $\lambda_d \leq 0.673$

$M_{nd} = M_y$ (Ec.1.2.2-8)

(b) Para $\lambda_d > 0.673$

$M_{nd} = \left(1 - 0.22 \left(\frac{M_{crd}}{M_y} \right)^{0.5} \right) \left(\frac{M_{crd}}{M_y} \right)^{0.5} M_y$ (Ec.1.2.2-9)

donde

$\lambda_d = \sqrt{M_y / M_{crd}}$ (Ec.1.2.2-10)

M_y = Valor dado en la Ec. 1.2.2-4

M_{crd} = Momento crítico de pandeo distorsional elástico determinado mediante el análisis indicado en la Sección 1.1.2

$\lambda_d = 0.943$
 $M_{nd} = 0.874 \text{ ton-m}$

Momento Nominal del perfil

$M_n = \min(M_{ne}, M_{nl}, M_{nd})$

$M_n = 0.874 \text{ ton-m}$ (Controla pandeo distorsional)

Método de resistencia directa

Momento Nominal del perfil

$$M_n = \min(M_{ne}, M_{nl}, M_{nd})$$

Mn = 0.874 ton-m (Controla pandeo distorsional)

Resistencia de Diseño

$$\Phi = 0.80 \quad \Phi M_n = 0.699 \text{ ton-m}$$

$$\Omega = 2.00 \quad M_n / \Omega = 0.437 \text{ ton-m}$$

Método manual

$$M_n = 0.918 \text{ Ton-m}$$

Resistencia de Diseño

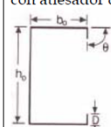
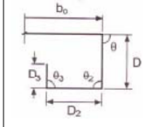
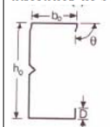
$$\Omega_b = 1.67 \quad \frac{M_n}{\Omega_b} = 0.550 \text{ Ton-m}$$

$$\phi_b = 0.9 \quad \phi_b \cdot M_n = 0.872 \text{ Ton-m}$$

Curso ICHA 2018
Diseño de Estructuras con Perfiles Conformados en Frío 141
Luis Leiva

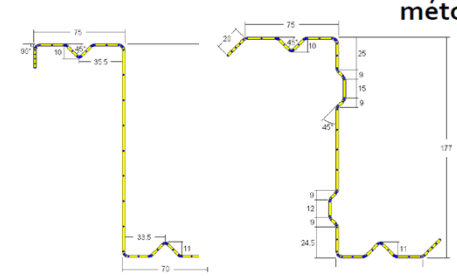
Existen columnas y vigas precalificadas →
pueden utilizar Ω y ϕ menos exigentes

Limites para las Columnas Precalificadas*

| | |
|---|--|
| <p>Secciones C atiesadas con atiesador de borde simple:</p>  | <p>Para todas las secciones C:</p> <ul style="list-style-type: none"> $h_0/t < 472$ $b_0/t < 159$ $4 < D/t < 33$ $0.7 < h_0/b_0 < 5.0$ $0.05 < D/b_0 < 0.41$ $\theta = 90^\circ$ $E/F_y > 340$ [$F_y < 593 \text{ MPa}$ o 6050 kg/cm^2 (86 ksi)] |
| <p>Con atiesador de borde complejo:</p>  | <p>Para secciones C con atiesador de borde complejo:</p> <ul style="list-style-type: none"> $D_2/t < 34$ $D_2/D < 2$ $D_3/t < 34$ $D_3/D_2 < 1$ <p>Nota:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) θ_2 puede variar (D_2 se puede plegar hacia adentro, fuera, etc.) b) θ_3 puede variar (D_3 se puede plegar hacia arriba, abajo, etc.) |
| <p>Sección C plegada con atiesador de borde y de alma:</p>  | <p>Uno o dos atiesadores intermedios:</p> <ul style="list-style-type: none"> $h_0/t < 489$ $b_0/t < 160$ $6 < D/t < 33$ $1.3 < h_0/b_0 < 2.7$ $0.05 < D/b_0 < 0.41$ $E/F_y > 340$ [$F_y < 593 \text{ MPa}$ o 6050 kg/cm^2 (86 ksi)] |

Curso ICHA 2018
Diseño de Estructuras con Perfiles Conformados en Frío 142
Luis Leiva

método de resistencia directa

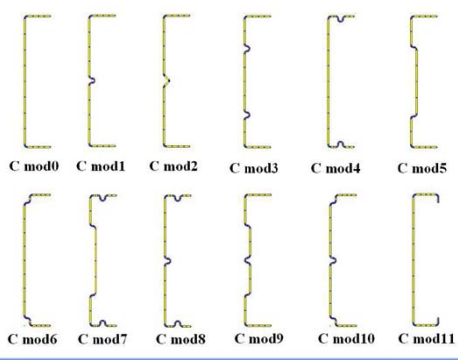


permite **optimizar** perfiles

Programa CUFSM

www.ce.jhu.edu/bschafer/cufsm/

Referencia:
OPTIMIZACIÓN DE PERFILES DE ACERO CONFORMADOS EN FRÍO TRABAJANDO A FLEXIÓN O COMPRESIÓN MEDIANTE DSM
FRANCO IGNACIO ACEVEDO NAREA
RODRIGO ANTONIO CASTILLO CÁCERES
MEMORIA PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL EN OBRAS CIVILES **2008**
UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE CHILE
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA EN OBRAS CIVILES



C mod0 C mod1 C mod2 C mod3 C mod4 C mod5
C mod6 C mod7 C mod8 C mod9 C mod10 C mod11

Curso ICHA 2018
Diseño de Estructuras con Perfiles Conformados en Frío 143
Luis Lelva

SOFTWARE para diseño de perfiles conformados en frío

Programa CUFSM www.ce.jhu.edu/bschafer/cufsm/

Referencia:
FRANCO IGNACIO ACEVEDO NAREA
RODRIGO ANTONIO CASTILLO CÁCERES
MEMORIA PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL EN OBRAS CIVILES **2008**
UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE CHILE
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA EN OBRAS CIVILES

Curso ICHA 2018
Diseño de Estructuras con Perfiles Conformados en Frío 144
Luis Lelva

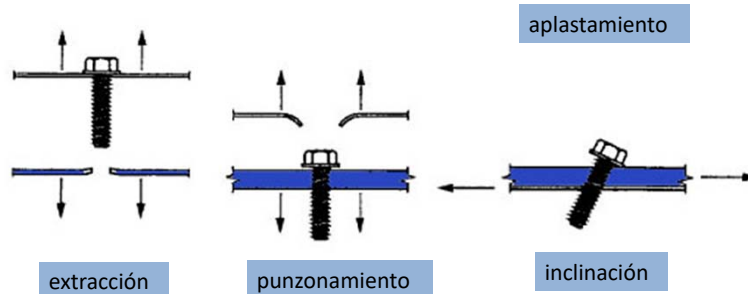
mas información.....

1. Center for Cold-Formed Steel Structures, www.ccfsonline.org
2. Cold-Formed Steel Engineers Institute, www.cfsei.org
3. American Iron and Steel Institute, www.steel.org
4. Steel Framing Alliance, www.steel framing alliance.com
5. Steel Stud Manufacturers Association, www.ssma.com
6. Metal Building Manufacturers Association, www.mbma.com
7. Steel Deck Institute, www.sdi.org
8. Metal Construction Association, www.mca1.org
9. Rack Manufacturers Institute, www.mhia.org

CONEXIONES ATORNILLADAS

tornillos con $(0.08 \text{ in.}) 2.03 \text{ mm} < d \leq 6.35 \text{ mm} (0.25 \text{ in.})$

FALLAS POSIBLES:



CONEXIONES ATORNILLADAS

falla por extracción

resistencia nominal a la extracción, P_{not}



$$P_{not} = 0.85 t_c d F_{u2}$$

d = Diámetro nominal del tornillo

t_c = El menor valor entre la altura de penetración y el espesor t_2

F_{u2} = Resistencia a la tracción del elemento que no está en contacto con la cabeza del tornillo o golilla

Curso ICHA 2018

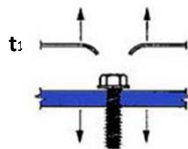
Diseño de Estructuras con Perfiles Conformados en Frío

Luis Leiva 147

CONEXIONES ATORNILLADAS

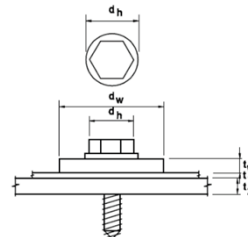
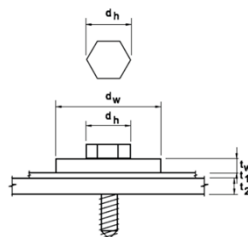
falla por punzonamiento

resistencia nominal al punzonamiento, P_{nov}



$$P_{nov} = 1.5 t_1 d'_w F_{u1}$$

$$d'_w = d_h + 2t_w + t_1 \leq d_w$$



Curso ICHA 2018

Diseño de Estructuras con Perfiles Conformados en Frío

Luis Leiva 148

CONEXIONES ATORNILLADAS **falla por inclinación y aplastamiento**

resistencia de corte nominal por tornillo, P_{ns}

$t_2/t_1 \leq 1.0$

$t_2/t_1 \geq 2.5$

P_{ns} será el menor valor de

| | | |
|--------------------------------------|---------------|----------------------------|
| $P_{ns} = 4.2(t_2^3 d)^{1/2} F_{u2}$ | inclinación | N/A |
| $P_{ns} = 2.7t_1 d F_{u1}$ | aplastamiento | $P_{ns} = 2.7t_1 d F_{u1}$ |
| $P_{ns} = 2.7t_2 d F_{u2}$ | aplastamiento | $P_{ns} = 2.7t_2 d F_{u2}$ |

Curso ICHA 2018
Diseño de Estructuras con Perfiles Conformados en Frío 149
Luis Leiva

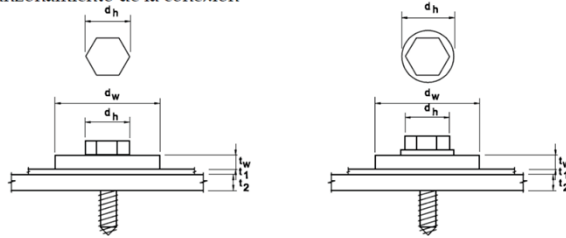
CONEXIONES ATORNILLADAS **falla por inclinación y aplastamiento**

Curso ICHA 2018
Diseño de Estructuras con Perfiles Conformados en Frío 150
Luis Leiva

CONEXIONES ATORNILLADAS corte y punzonamiento combinados

$$\text{ASD} \quad \frac{Q}{P_{ns}} + 0.71 \frac{T}{P_{nov}} \leq \frac{1.10}{\Omega}$$

- Q = Resistencia al corte admisible requerida de la conexión
 T = Resistencia a tracción admisible requerida de la conexión
 P_{ns} = Resistencia al corte nominal de la conexión
 = 2.7t_wF_{ul}
 P_{nov} = Resistencia nominal al punzonamiento de la conexión
 = 1.5t_wF_{ul}



Curso ICHA 2018
Diseño de Estructuras con Perfiles Conformados en Frío 151
Luis Lelva

| | Factores de Seguridad Ω | Factores de Resistencia Ω |
|---------------------------------|--|--|
| tracción | 1.67 | 0.90 |
| compresión | 1.80 | 0.85 |
| flexión | 1.67 | 0.90 |
| corte en el alma | 1.60 | 0.95 |
| aplastamiento en el alma | 1.65 a 2.25 | 0.65 a 0.90 |
| uniones | | |
| apernadas | 2 a 2.52 | 0.55 a 0.75 |
| soldadas | 1.7 a 3.05 | 0.50 a 0.90 |
| atornilladas | 3.00 | 0.50 |

Curso ICHA 2018
Diseño de Estructuras con Perfiles Conformados en Frío 152
Luis Lelva