

COLD-FORMED STEEL N°3

NOVIEMBRE, 2022

Serie: Perfiles conformados o doblados en frío.

CARGAS CONCÉNTRICAS EN SECCIÓN CANAL ATIESADA STEEL FRAMING



AISI S100-07 -North American Specification
for the Design of Cold-Formed Steel
Structural Members, 2007.

MÉTODO DE LOS ESTADOS LIMITES, LRFD

Angel Manrique
Ingeniero Civil Especialista en Estructuras

INDICE

03

INTRODUCCIÓN

03

OBJETIVO

03

BASES PARA EL DISEÑO

04

CALIDAD DE LOS MATERIALES. ACERO ESTRUCTURAL

04

GEOMETRÍA Y CONDICIONES DE APOYO

05

DISEÑO POR CAPACIDAD RESISTENTE

01 INTRODUCCION

Los elementos de acero cuya sección transversal se logra mediante el plegado o doblado de planchas de acero al carbono a temperatura ambiente, se denominan perfiles conformados o laminados en frío.

Los sistemas estructurales denominados "steel framing", se componen de un conjunto de perfiles de planchas de acero galvanizado de muy bajo espesor trabajando en conjunto con componentes o subsistemas estructurales como aislaciones, placas de yeso o madera, terminaciones, etc.

En general, son muchos tipos de secciones de acero galvanizado que se utilizan para la construcción de edificaciones con este sistema. Cada uno con un uso y comportamiento específico según la ubicación en la estructura.

En la mayoría de los casos la sección tipo canal atiesada se utiliza como montante estando sometida principalmente a compresión y tensión axial.

02 OBJETIVO

El presente documento está referido al diseño mediante el método de los estados límites por de capacidad resistente para los montantes en sistemas tipo "steel framing" con sección transversal tipo canal atiesada.

03 BASES PARA EL DISEÑO

Normas Nacionales

1. NCh 1537.Of2009 - Diseño Estructural - Cargas Permanentes y Cargas de Uso.
2. NCh 2369.Of2003 - Diseño Sísmico de Estructuras e Instalaciones Industriales.
3. NCh 3171.Of2010 - Diseño Estructural - Disposiciones Generales y Combinaciones de Carga.

Normas Internacionales

1. AISI S100-07. North American Specification for the Design of Cold-Formed Steel Structural Members, 2007.
2. ANSI/AISC 360-10. Specification for Structural Steel Buildings
3. ASCE/SEI7. Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures

Documentos Técnicos

1. Publicación ICHA "Especificaciones Norteamericanas para el Diseño de Miembros Estructurales Conformados en Frío", 2009).

04 CALIDAD DE LOS MATERIALES. ACERO ESTRUCTURAL

Esfuerzo del fluencia	$f_{ys} := 280 \text{ MPa}$	Modulo de elasticidad	$E_s := 200000 \text{ MPa}$
Peso unitario del acero	$\gamma_a := 7850 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{m}^3}$	Modulo de Poisson	$\mu := 0.3$
		Modulo de corte	$G_s := \frac{E_s}{2(1+\mu)} = 76923.08 \text{ MPa}$

05 GEOMETRÍA Y CONDICIONES DE APOYO

5.1. CONDICIONES DE APOYO

Longitud libre de montante $L_z := 2400 \text{ mm}$

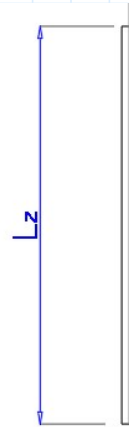
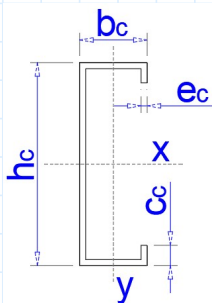


Figura 1. Imagen referencial del montante

5.2. GEOMETRÍA Y PROPIEDADES MECÁNICAS



$h_c := 90 \text{ mm}$
$b_c := 38 \text{ mm}$
$e_c := 0.85 \text{ mm}$
$c_c := 12 \text{ mm}$

Área neta	$A_c = 1.57 \text{ cm}^2$	Radio de giro X	$r_{cx} = 3.59 \text{ cm}$
Área Esquinas	$A_{esq} = 0.45 \text{ cm}^2$	Radio de giro Y	$r_{cy} = 1.44 \text{ cm}$
Peso por ml	$P_{cm1} = 1.23 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$	Const. Torsionante	$J_c = 0.00378 \text{ cm}^4$
Inercia en X	$I_{cx} = 20.2 \text{ cm}^4$	Const. Alabeo	$C_{wc} = 58.45 \text{ cm}^6$
Inercia en X	$I_{cy} = 3.27 \text{ cm}^4$	Radio de giro polar	$r_{0c} = 49.06 \text{ mm}$
Modulo elástico X	$S_{cx} = 4.49 \text{ cm}^3$	Constante j	$j_c = 50.66 \text{ mm}$
Modulo elástico Y	$S_{cy} = 1.27 \text{ cm}^3$		

06 DISEÑO POR CAPACIDAD RESISTENTE

6.1. CONSIDERACIONES GEOMÉTRICAS

Limite de esbeltez de elementos en compresión

Altura libre del alma de contraviento

$$b_d := h_c - 2 e_c = 88.3 \text{ mm}$$

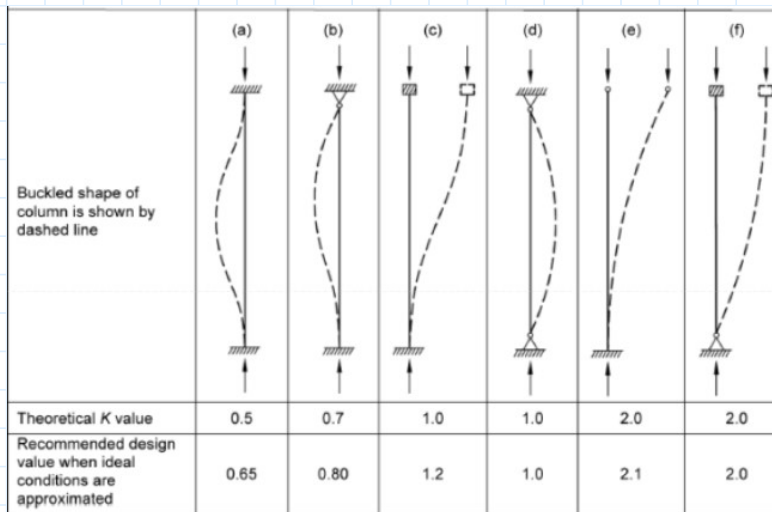
Relación ancho/espesor del alma

$$\lambda_{ccd} := \frac{b_c}{e_c} = 44.71$$

Limite de ancho/espesor
Tabla 8.1 NCh 2369 Of.2003

$$\lambda_r := 1.4 \cdot \sqrt{\frac{E_s}{f_{ys}}} = 37.42$$

if $\lambda_r \geq \lambda_{ccd}$ = "FAIL"
 || "OK"
 else
 || "FAIL"



Factores de longitud efectiva
Tabla C-A-7.1 AISI 360-16

$$K_{xc} := 1.00$$

$$K_{yc} := 1.00$$

$$K_{tc} := 1.00$$

Figura 6. Tabla C-A-7.1 AISI 360-16

Longitud no arriostrada del elemento eje fuerte

$$L_{xc} := L_z = 2400 \text{ mm}$$

Longitud no arriostrada del elemento eje débil

$$L_{yc} := L_z = 2400 \text{ mm}$$

Longitud no arriostrada del elemento torsión

$$L_{tc} := L_{yc} = 2400 \text{ mm}$$

Radio de giro del contraviento

$$r_{cx} = 3.59 \text{ cm}$$

Esbeltez del perfil

$$E_{cv} := \frac{K_{tc} \cdot \max(L_{xc}, L_{yc}, L_{tc})}{r_{cx}} = 66.88$$

Limite de esbeltez
Tabla 8.1 NCh 2369 Of.2003

$$E_{lim} := 1.5 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{E_s}{f_{ys}}} = 125.94$$

if $E_{lim} \geq E_{cv}$ = "OK"
 || "OK"
 else
 || "FAIL"

6.2. VERIFICACIÓN POR PANDEO LOCAL

Ala en compresión rigidizadas

Coefficiente de pandeo de placas

$$k_{sl} := 4 \checkmark$$

Ancho real plano del ala

$$w_{slf} := b = 34.75 \text{ mm}$$

Tensión de pandeo elástico de la placa
Eq. B2.1-5 AISI 2007

$$F_{crslf} := k_{sl} \cdot \frac{\pi^2 \cdot E_s}{12 \cdot (1 - \mu^2)} \cdot \left(\frac{e_c}{w_{slf}} \right)^2 = 432.61 \text{ MPa}$$

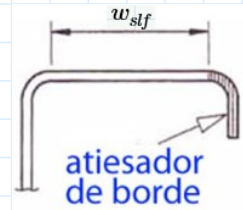


Figura 3. Ancho de ala

Pandeo local del ala en compresión

$$Pandeo_f = F_{crslf} \geq f_{ys}$$

Pandeo_f = "OK"

Almas rigidizadas con gradiente de tensiones

Coefficiente de pandeo de placas

$$k_{sl} = 4$$

Alto real plano del alma

$$w_{slw} := a = 86.75 \text{ mm}$$

Tensión de pandeo elástico de la placa
Eq. B2.1-5 AISI 2007

$$F_{crslw} := k_{sl} \cdot \frac{\pi^2 \cdot E_s}{12 \cdot (1 - \mu^2)} \cdot \left(\frac{e_c}{w_{slw}} \right)^2 = 69.42 \text{ MPa}$$

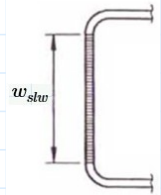


Figura 4. Alto de alma

Pandeo local del alma

$$Pandeo_w = F_{crslw} \geq f_{ys}$$

Pandeo_w = "FAIL"

6.3. INCREMENTO DE LA RESISTENCIA DEBIDO AL CONFORMADO EN FRIO

Las propiedades mecánicas del acero en la zona de las esquinas cambia de manera significativa debido en mayor medida a que reciben mas esfuerzo durante el proceso de doblado. Se tiene entonces un incremento en el esfuerzo de fluencia f_{ys} y de la tensión ultima F_u , pero este ultimo en menor medida, por tanto, se reduce de manera significativa la ductilidad del perfil. Las partes planas también sufren un incremento del esfuerzo de fluencia y de tensión ultima, pero en menor medida al incremento originado en las esquinas.

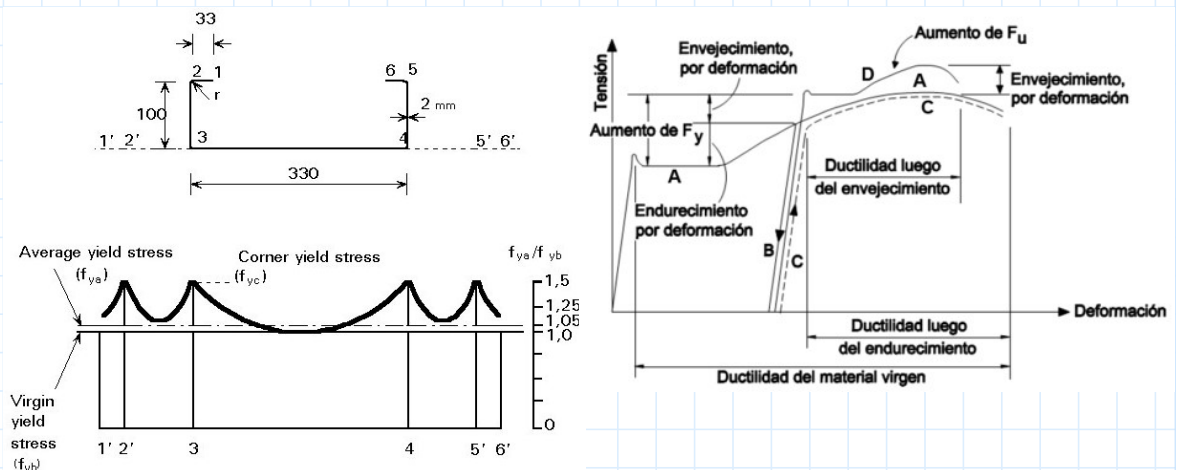


Figura 5. Efectos del conformado en frío sobre el límite elástico. Fuente: ICHA. Doc. Tec Ref. 1

El esfuerzo de fluencia medio de la sección depende entonces del número de esquinas y del ancho de los elementos planos.

Razón entre el área de las esquinas y el área total de la sección transversal

$$C_c := \frac{A_{esq}}{A_c} = 0.29$$

Tensión de fluencia del material virgen

$$F_{yv} := f_{ys} = 280 \text{ MPa}$$

Tensión ultima del material virgen

$$F_{uv} = 450 \text{ MPa}$$

Factor Bc (Eq. A7.2-3 AISI 2007)

$$B_c := 3.69 \cdot \left(\frac{F_{uv}}{F_{yv}} \right) - 0.819 \cdot \left(\frac{F_{uv}}{F_{yv}} \right)^2 - 1.79 = 2.02$$

Factor m (Eq. A7.2-4 AISI 2007)

$$m_c := 0.192 \cdot \left(\frac{F_{uv}}{F_{yv}} \right) - 0.068 = 0.24$$

Radio interno de plegado

$$R := r_{ple} = 1.2 \text{ mm}$$

Tensión de fluencia a tracción promedio de las esquinas (Eq. A7.2-2 AISI 2007)

$$F_{yc} := \frac{B_c \cdot F_{yv}}{\left(\frac{R}{e_c} \right)^{m_c}} = 521.85 \text{ MPa}$$

Condición CC1

$$\frac{F_{uv}}{F_{yv}} \geq 1.2$$

CC1 = "OK"

Condición CC2

$$\frac{R}{e_c} \leq 7$$

CC2 = "OK"

Condición CC3

$$\theta_{cc} \leq 120 \text{ deg}$$

CC3 = "OK"

¿Aplica incremento de resistencia?

INC.RES = "SI"

Tensión de fluencia promedio de la sección total (Eq. A7.2-1 AISI 2007)

$$F_{ya} := \text{if } INC.RES = \text{"SI"} \\ \left\| \begin{array}{l} C_c \cdot F_{yc} + (1 - C_c) \cdot F_{yv} \\ \text{else} \\ f_{ys} \end{array} \right.$$

$$F_{ya} = 349.02 \text{ MPa}$$

6.4. CAPACIDAD RESISTENTE A LA COMPRESIÓN

Resistencia nominal a la compresión

¿Perfil cuadrado?

$$Pcua := \text{NO} \downarrow$$

¿Perfil con perforaciones?

$$Perf := \text{NO} \downarrow$$

Diámetro promedio de perforaciones

$$Dperf := 0 \text{ mm}$$

Cantidad de perforaciones	$N_{perf} := 0$
Factor de reducción por presencia de perforaciones	$Q_c = 1$
Relación de esbeltez Art. C4c AISI 1997	$\frac{K_{tc} \cdot L_{xc}}{\min(r_{cx}, r_{cy})} \leq 300$ Resb = "OK"
Factor de minoración a la compresión	$\phi_{cd} := 0.85$
Esfuerzo de pandeo lateral torsional Ec. C3.1.2-810 AISI 2007	$\sigma_{etc} := \frac{1}{A_c \cdot r_{0c}^2} \left(G_s \cdot J_c + \frac{\pi^2 \cdot E_s \cdot C_{wc}}{(K_{tc} \cdot L_{xc})^2} \right) = 619.47 \frac{kgf}{cm^2}$
Esfuerzo de pandeo lateral sentido fuerte Eq. C3.1.2.1-11 AISI 2007	$\sigma_{exc} := \frac{\pi^2 \cdot E_s}{\left(K_{tc} \cdot \frac{L_{xc}}{r_{cx}} \right)^2} = 4500.7 \frac{kgf}{cm^2}$
Factor de modificación del pandeo flexional Eq. C4.1.2-3 AISI 2007	$\beta_c := 1 - \left(\frac{x_{0c}}{r_{0c}} \right) = 1.62$
Tensión de pandeo flexional elástico Eq. C4.1.1-1 AISI 2007	$F_{ecp1} := \frac{\pi^2 \cdot E_s}{\left(\frac{K_{tc} \cdot L_{xc}}{\min(r_{cx}, r_{cy})} \right)^2} = 727.52 \frac{kgf}{cm^2}$
	$F_{ecp2} := \frac{1}{2 \beta_c} \left((\sigma_{exc} + \sigma_{etc}) - \sqrt{(\sigma_{exc} + \sigma_{etc})^2 - 4 \beta_c \cdot \sigma_{exc} \cdot \sigma_{etc}} \right)$
	$F_{ecp2} = 698.38 \frac{kgf}{cm^2}$
	$F_{ecp} := \text{if } P_{cua} = \text{"SI"} \left \begin{array}{l} F_{ecp1} \\ \text{else} \\ F_{ecp2} \end{array} \right = 698.38 \frac{kgf}{cm^2}$
Factor de tipo de pandeo	$\lambda_c := \sqrt{\frac{f_{ys}}{F_{ecp}}} = 2.02$
Tensión de sección efectiva Eq. C4.1-(2, 3) AISI 2007	$F_{nc1} := (0.658^{\lambda_c^2}) \cdot F_{ya} = 642.96 \frac{kgf}{cm^2}$
	$F_{nc2} := \left(\frac{0.877}{\lambda_c^2} \right) \cdot F_{ya} = 763.46 \frac{kgf}{cm^2}$
	$F_{nc} := \text{if } \lambda_c \leq 1.5 \left \begin{array}{l} F_{nc1} \\ \text{else} \\ F_{nc2} \end{array} \right = 763.46 \frac{kgf}{cm^2}$
Resistencia axial nominal a la compresión Ec. C4-1 AISI 2007	$P_{nd} := \phi_{cd} \cdot Q_c \cdot A_c \cdot F_{nc} = 1017.92 \text{ kgf}$

6.5. CAPACIDAD RESISTENTE A LA TENSIÓN

Resistencia nominal a la tensión

Factor de minoración a la tensión

$$\phi_{tc} := 0.85$$

Resistencia axial nominal a la tensión
Ec. C4-1 AISI 2007

$$T_{nc} := 0.85 \cdot Q_c \cdot A_c \cdot F_{ya} = 4745.23 \text{ kgf}$$