

COLD-FORMED STEEL N°1

OCTUBRE, 2022

Serie: Perfiles conformados o doblados en frío.

DISEÑO DE COSTANERAS DE SECCIÓN CANAL ATIESADA



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

CARGAS Y SOLICITACIONES

06

DISEÑO POR CAPACIDAD RESISTENTE

16

DISEÑO POR CAPACIDAD DE SERVICIO

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.

En lo que respecta al desempeño estructural de estos perfiles, difiere de manera significativa con el comportamiento de los denominados perfiles laminados o rodados en caliente. Esto sobre todo, por la susceptibilidad al denominado pandeo distorsional y torsional, influido por el uso predominante de elementos con espesores muy pequeños en función a su tamaño, es decir, la presencia de elementos esbeltos.

Para el diseño de los perfiles conformados en frío, el Instituto Americano del Hierro y Acero (AISI) ha publicado diferentes especificaciones que contempla como abarcar de manera eficaz y precisa todos los requerimientos mínimos para garantizar el correcto funcionamiento estructural de estos elementos.

02 OBJETIVO

El presente documento está referido al diseño mediante el método de los estados límites por de capacidad resistente y de servicio, para costaneras de galpones y techumbres 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	$f_{ys} := 250 \text{ MPa}$	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

Separación entre baricentros de marcos típicos
 $L_{x\max} = 30000 \text{ mm}$. NCh 2369 Of2003 Art. 11.2.1

$$L_x := 6000 \text{ mm}$$

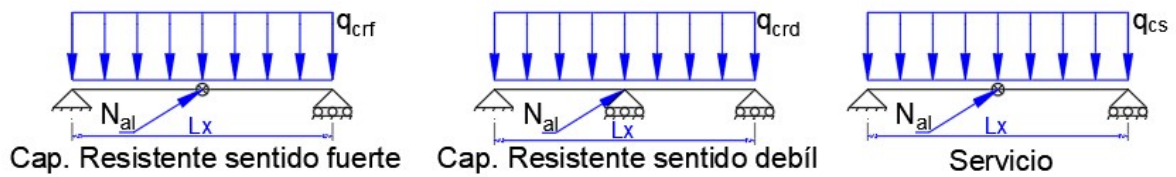
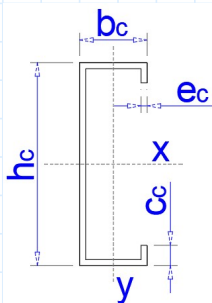


Figura 1. Condiciones de apoyo de costanera de techo

Numero de arriostramientos laterales

$$N_{lat} := 1$$

5.2. GEOMETRÍA Y PROPIEDADES MECÁNICAS



$$h_c := 150 \text{ mm}$$

$$b_c := 75 \text{ mm}$$

$$e_c := 3 \text{ mm}$$

$$c_c := 15 \text{ mm}$$

Debido a la susceptibilidad por el pandeo distorsional y torsional de los perfiles conformados en frío de simetría simple, se recomienda garantizar un correcto arriostramiento en el sentido débil de la costanera para así mejorar la capacidad resistente y además evitar deformaciones excesivas durante el proceso de instalación.

Área neta	$A_c = 9.31 \text{ cm}^2$	Radio de giro X	$r_{cx} = 6.01 \text{ cm}$
Área Esquinas	$A_{esq} = 3.01 \text{ cm}^2$	Radio de giro Y	$r_{cy} = 2.65 \text{ cm}$
Peso por ml	$P_{cm} = 7.31 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$	Const. Torsionante	$J_c = 0.28 \text{ cm}^4$
Inercia en X	$I_{cx} = 336.29 \text{ cm}^4$	Const. Alabeo	$C_{wc} = 2942.94 \text{ cm}^6$
Inercia en Y	$I_{cy} = 65.14 \text{ cm}^4$	Radio de giro polar	$r_{oc} = 85.71 \text{ mm}$
Modulo elástico X	$S_{cx} = 44.84 \text{ cm}^3$	Constante j	$j_c = 91.41 \text{ mm}$
Modulo elástico Y	$S_{cy} = 12.67 \text{ cm}^3$		

06 CARGAS Y SOLICITACIONES

6.1. CARGAS MAYORADAS

Carga de diseño sentido fuerte (Incluye peso propio) $q_{crf} := 169.1 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$

Carga de diseño sentido débil (Incluye peso propio) $q_{crd} := 27.5 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$

Carga de diseño por deflexión (Incluye peso propio) $q_{cs} := 89.48 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$

6.2. SOLICITACIONES

Sentido fuerte

Momento actuante máximo de diseño sentido fuerte $M_{acf} := \frac{q_{crf} \cdot L_x^2}{8} = 760.95 \text{ kgf} \cdot \text{m}$

Cortante actuante máximo de diseño sentido fuerte $V_{acf} := q_{crf} \cdot \frac{L_x}{2} = 507.3 \text{ kgf}$

Sentido débil

Momento actuante máximo sentido débil $N_{lat} = 1$ $M_{acd} := \frac{q_{crd} \cdot L_x^2}{32} = 30.94 \text{ kgf} \cdot \text{m}$

Cortante actuante máximo sentido débil $N_{lat} = 1$ $V_{acd} := 0.62 \cdot q_{crd} \cdot L_x = 102.3 \text{ kgf}$

07 DISEÑO POR CAPACIDAD RESISTENTE

7.1. CONSIDERACIONES GEOMÉTRICAS

Limitaciones y consideraciones sobre las dimensiones

Relación de esbeltez de los elementos

Relación entre el ancho plano de las alas y su espesor $R_{ala} := \frac{b_c - e_c}{e_c} \leq 60$ $R_{ala} = \text{"OK"}$
 Art. B.1.1a AISI 2007

Relación entre la profundidad del alma y su espesor $R_{alma} := \frac{h_c - e_c}{e_c} \leq 200$ $R_{alma} = \text{"OK"}$
 Art. B.1.2a AISI 2007

Limite de alabeo del ala

Los perfiles con alas anchas sometidos a flexión pueden mostrar un efecto que denominado alabeo del ala. Este efecto origina que el ala se y en consecuencia, la rigidez de la sección transversal y el módulo de sección plástica S disminuyen. Por ello se debe limitar esta deformación vertical del ala del perfil.

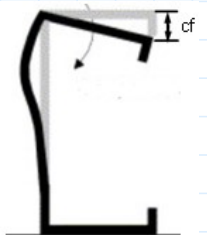


Figura 2. Alabeo del ala

Deformación admisible de ala $c_f := \frac{b_c}{300} = 0.25 \text{ mm}$
 Anexo C ASCE/SEI7

Ancho del ala que se proyecta más allá del alma $W_{fc} := b_c + c_c = 90 \text{ mm}$

Altura de la viga $h_c = 150 \text{ mm}$

Espesor del perfil $e_c = 3 \text{ mm}$

Ancho limite del ala $W_f := \sqrt[2]{\frac{0.061 e_c \cdot h_c \cdot E_s}{f_{ys}}} \cdot \sqrt[4]{\frac{100 c_f}{h_c}}$
 Eq. B1.1-1 AISI 2007

$W_f = 94.68 \text{ mm}$

$Alabeo = W_f \geq W_{fc}$ $Alabeo = \text{"OK"}$

Efecto de corte diferido. Tramos cortos que soportan cargas concentradas

Coefficiente de pandeo de placas $k_{sl} := 4$

Ancho real plano del ala $w_{slf} := b = 63 \text{ mm}$



Figura 3. Ancho de ala

Tensión de pandeo elástico de la placa $F_{crslf} := k_{sl} \cdot \frac{\pi^2 \cdot E_s}{12 \cdot (1 - \mu^2)} \cdot \left(\frac{e_c}{w_{slf}}\right)^2 = 1639.56 \text{ MPa}$
 Eq. B2.1-5 AISI 2007

Factor de esbeltez Eq. B2.1-4 AISI 2007		$\lambda_{sl} := \sqrt{\frac{f_{ys}}{F_{crslf}}} = 0.39$
Factor de reducción local Eq. B2.1-3 AISI 2007		$\rho_{sl} := \frac{\left(1 - \frac{0.22}{\lambda_{sl}}\right)}{\lambda_{sl}} = 1.12$
Ancho efectivo de diseño del ala		$b_{sl} = 63 \text{ mm}$
Relación entre la longitud de la viga y ancho de ala		$R_{LWf} := \frac{L_x}{W_f} = 63.37$
Relación entre el ancho efectivo de diseño y ancho real		$R_{bw} := \frac{b_{sl}}{w_{slf}} = 1$
Relación admisible entre ancho efectivo de diseño y ancho real Tabla B1.1c AISI 2007		$R_{bwadm} = 1$
Factor de corte diferido	$F_{sl} = R_{bwadm} \geq R_{bw}$	$F_{sl} = \text{"OK"}$

7.2. VERIFICACIÓN POR PANDEO LOCAL

Ala en compresión rigidizadas

Tensión de pandeo elástico de la placa Eq. B2.1-5 AISI 2007	$F_{crslf} = 1639.56 \text{ MPa}$	
--	-----------------------------------	--

Pandeo local del ala en compresión

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

$Pandeof = \text{"OK"}$

Almas rigidizadas con gradiente de tensiones

Coefficiente de pandeo de placas

$$k_{sl} = 4$$

Alto real plano del alma

$$w_{slw} := a = 138 \text{ mm}$$

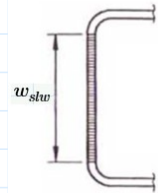


Figura 4. Alto de alma

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

$$F_{crslw} := k_{sl} \cdot \frac{\pi^2 \cdot E_s}{12 \cdot (1 - \mu^2)} \cdot \left(\frac{e_c}{w_{slw}}\right)^2 = 341.71 \text{ MPa}$$

Pandeo local del alma

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

$Pandeow = \text{"OK"}$

7.3. 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 una incremento del esfuerzo de fluencia y de tensión ultima, pero en menor medida al incremento originado en las esquinas.

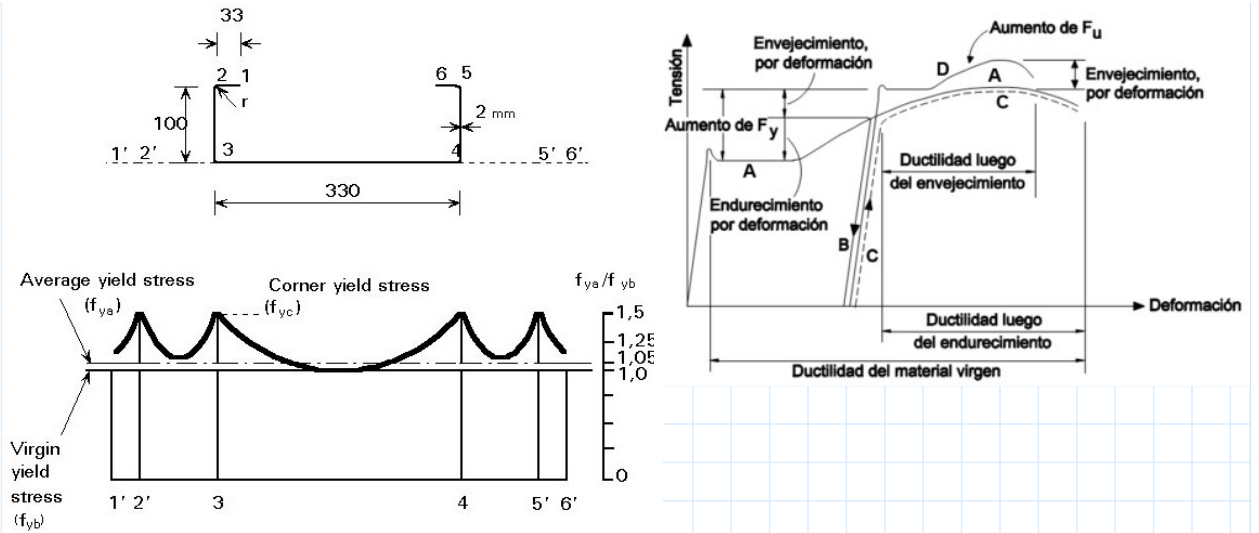


Figura 5. Efectos del conformado en frío sobre el límite elástico. Fuente: ICHA. Doc. Tec Ref. 1

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

$$C_c := \frac{A_{esq}}{A_c} = 0.32$$

Tensión de fluencia del material virgen

$$F_{yv} := f_{ys} = 250 \text{ MPa}$$

Tensión ultima del material virgen

$$F_{uv} = 400 \text{ MPa}$$

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

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

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

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

Radio interno de plegado

$$R := r_{ple} = 4.5 \text{ mm}$$

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

$$F_{yc} := \frac{B_c \cdot F_{yv}}{\left(\frac{R}{e_c}\right)^{m_c}} = 457.72 \text{ MPa}$$

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)

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

$$F_{ya} = 317.13 \text{ MPa}$$

7.4. CAPACIDAD RESISTENTE SENTIDO FUERTE

Capacidad resistente al momento flector

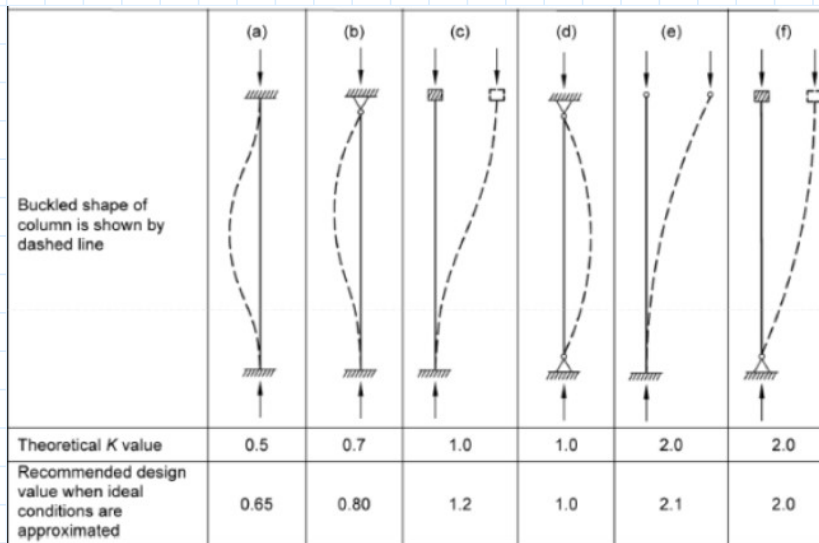
Resistencia nominal a momento por fluencia

Módulo elástico de la sección efectiva calculado con la fibra extrema comprimida o traccionada a F_y (Art. C3.1.1 AISI 2007) $S_{cx} = 44.84 \text{ cm}^3$

Tensión de fluencia de cálculo (Art. C3.1.1 AISI 2007) $F_{ya} = 317.13 \text{ MPa}$

Momento de fluencia efectivo en base a la resistencia de la sección (Ec. C3.1.1-1 AISI 2007) $M_{cn1} := S_{cx} \cdot F_{ya} = 1450 \text{ kgf} \cdot \text{m}$

Resistencia nominal a momento por pandeo lateral torsional



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

$$K_{xc} := 1.00$$

$$K_{yc} := 1.00$$

$$K_{tc} := 1.00$$

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

Longitud no arriostrada del elemento eje fuerte

$$L_{xc} := L_x = 6000 \text{ mm}$$

Longitud no arriostrada del elemento eje débil

$$L_{yc} := \frac{L_x}{N_{lat} + 1} = 3000 \text{ mm}$$

Longitud no arriostrada del elemento torsión

$$L_{tc} := L_{yc} = 3000 \text{ mm}$$

Radio de giro polar Ec. C3.1.2-13 AISI 2007

$$r_{0c} = 8.57 \text{ cm}$$

Esfuerzo de pandeo lateral sentido débil
Ec. C3.1.2-9 AISI 2007

$$\sigma_{eyc} := \frac{\pi^2 \cdot E_s}{\left(K_{xc} \cdot \frac{L_{yc}}{r_{cy}} \right)^2} = 153.49 \text{ MPa}$$

Esfuerzo de pandeo lateral torsional
Ec. C3.1.2-810 AISI 2007

$$\sigma_{etc} := \frac{1}{A_c \cdot r_{0c}^2} \left(G_s \cdot J_c + \frac{\pi^2 \cdot E_s \cdot C_{wc}}{(K_{tc} \cdot L_{tc})^2} \right) = 125.81 \text{ MPa}$$

Momento ubicado a un cuarto del segmento no arriostrado

$$M_A := \frac{q_{crf} \cdot L_{yc}}{8} \cdot \left(L_{xc} - \frac{L_{yc}}{4} \right) = 332.92 \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

Momento ubicado en el centro del segmento no arriostrado

$$M_B := \frac{q_{crf} \cdot L_{yc}}{4} \cdot \left(L_{xc} - \frac{L_{yc}}{2} \right) = 570.71 \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

Momento ubicado tres cuartos del segmento no arriostrado

$$M_C := \frac{q_{crf} \cdot 3 L_{yc}}{8} \cdot \left(L_{xc} - \frac{3 L_{yc}}{4} \right) = 713.39 \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

Coefficiente de flexión

$$C_b := \frac{12.5 \cdot M_{acf}}{2.5 \cdot M_{acf} + 3 \cdot M_A + 4 \cdot M_B + 3 \cdot M_C} = 1.3$$

Esfuerzo elástico crítico
Ec. C3.1.2-6 AISI 2007

$$F_{ec} := \frac{C_b \cdot r_{0c} \cdot A_c}{S_{cx}} \cdot \sqrt{\sigma_{eyc} \cdot \sigma_{etc}} = 321.1 \text{ MPa}$$

Tipo de pandeo lateral torsional $T.PAND = \text{“Pandeo elástico – inelástico”}$

Tensión crítica de pandeo lateral torsional

$$F_{cc} := \begin{cases} F_{ec} \geq 2.78 F_{ya} \\ \parallel F_{ya} \\ \text{else} \\ \parallel \text{if } 2.78 F_{ya} > F_{ec} > 0.56 F_{ya} \\ \parallel \parallel \frac{10}{9} \cdot F_{ya} \cdot \left(1 - \frac{10 \cdot F_{ya}}{36 \cdot F_{ec}} \right) \\ \parallel \parallel \text{else} \\ \parallel \parallel F_{ec} \end{cases}$$

$$F_{cc} = 255.7 \text{ MPa}$$

Momento de resistencia nominal al pandeo lateral
Ec. C3.1.2-1 AISI 2007

$$M_{cn2} := S_{cx} \cdot F_{cc} = 1169.11 \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

Resistencia nominal a momento por pandeo distorsional

El pandeo distorsional implica la translación de una o mas líneas de intersección entre dos elementos placa adyacentes entre si, y que también puede presentar deformaciones de placa. Es decir, una o varias líneas de doblado presentan translación y/o rotación simultanea.

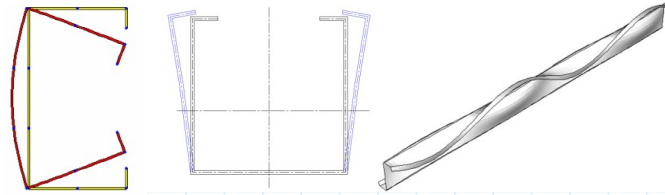
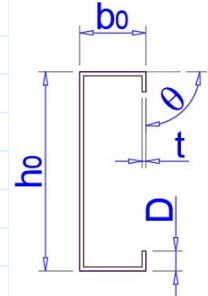


Figura 7. Ejemplos de pandeo distorsional. Fuente: ICHA. Doc. Tec Ref. 1

Altura total del perfil	$h_0 := h_c = 150 \text{ mm}$
Ancho total del ala del perfil	$b_0 := b_c = 75 \text{ mm}$
Espesor del perfil	$t := e_c = 3 \text{ mm}$
Longitud total del labio atiesador del perfil	$D := c_c = 15 \text{ mm}$
Angulo de labio atiesador	$\theta := 90 \text{ deg}$



Gradiente de esfuerzos en el alma para miembros en flexión pura $f_1 = -f_2$. $\xi_{web} := 2 \checkmark$

Propiedades geométricas del ala

$$h := h_0 - t = 147 \text{ mm}$$

$$b := b_0 - t = 72 \text{ mm}$$

$$d := D - 0.5 t = 13.5 \text{ mm}$$

$$A_f := (b + d) \cdot t = 256.5 \text{ mm}^2$$

$$J_f := \frac{t^3}{3} \cdot (b + d) = 0.08 \text{ cm}^4$$

$$I_{xf} := \frac{t \cdot (t^2 \cdot b^2 + 4 \cdot b \cdot d^3 + t^2 \cdot b \cdot d + d^4)}{12 \cdot (b + d)} = 0.23 \text{ cm}^4$$

$$I_{yf} := \frac{t \cdot (b^4 + 4 \cdot d \cdot b^3)}{12 \cdot (b + d)} = 13.75 \text{ cm}^4$$

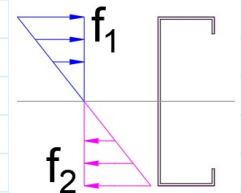
$$I_{xyf} := \frac{t \cdot b^2 \cdot d^2}{4 \cdot (b + d)} = 0.83 \text{ cm}^4$$

$$C_{wf} := 0 \text{ cm}^6$$

$$x_{of} := \frac{b^2}{2 \cdot (b + d)} = 30.32 \text{ mm}$$

$$h_x := \frac{-(b^2 + 2 \cdot d \cdot b)}{2 \cdot (b + d)} = -41.68 \text{ mm}$$

$$h_y := \frac{-d^2}{2 \cdot (b + d)} = -1.07 \text{ mm}$$



Modulo de Poisson

$$\mu = 0.3$$

Distancia entre arriostres o apoyos que restringen el pandeo distorsional

$$L_m := L_{yc} = 3000 \text{ mm}$$

Distancia de arriost. máxima Eq. C3.1.4-12 AISI 2007

$$L_{cr} := \left(\frac{(4 \cdot \pi^4 \cdot h_0 \cdot (1 - \mu^2))}{t^3} \cdot \left(I_{xf} \cdot (x_{0f} - h_x)^2 + C_{wf} - \frac{I_{xyf}^2}{I_{yf}} \cdot (x_{0f} - h_x)^2 \right) + \frac{\pi^4 \cdot h_0^4}{720} \right)^{\frac{1}{4}}$$

$$L_{cr} = 370.15 \text{ mm}$$

Longitud de arriostamiento al pandeo distorsional

$$L := \min(L_m, L_{cr}) = 370.15 \text{ mm}$$

Rigidez rotacional proporcionada por el ala a la unión ala/alma
Eq. C3.1.4-13 AISI 2007

$$k_{\phi fe} := \left(\frac{\pi}{L} \right)^4 \cdot \left(E_s \cdot I_{xf} \cdot (x_{0f} - h_x)^2 + E_s \cdot C_{wf} - E_s \cdot \frac{I_{xyf}^2}{I_{yf}} \cdot (x_{0f} - h_x)^2 \right) + \left(\frac{\pi}{L} \right)^2 \cdot G_s \cdot J_f$$

$$k_{\phi fe} = 1439.64 \text{ kgf}$$

Rigidez rotacional proporcionada por el alma a la unión ala/alma
Eq. C3.1.4-14 AISI 2007

$$k_{\phi we} := \frac{E_s \cdot t^3}{12 \cdot (1 - \mu^2)} \cdot \left(\frac{3}{h_0} + \left(\frac{\pi}{L} \right)^2 \cdot \frac{19 \cdot h_0}{60} + \left(\frac{\pi}{L} \right)^4 \cdot \frac{h_0^3}{240} \right) = 1184.73 \text{ kgf}$$

Rigidez rotacional geométrica (dividida por la tensión Fd) requerida por el ala desde la unión ala/alma
Eq. C3.1.4-15 AISI 2007

$$k_{\phi fg} := \left(\frac{\pi}{L} \right)^2 \cdot \left(A_f \cdot \left((x_{0f} - h_x)^2 \cdot \left(\frac{I_{xyf}}{I_{yf}} \right)^2 + h_x^2 + h_y^2 - 2 \cdot h_y \cdot (x_{0f} - h_x) \cdot \left(\frac{I_{xyf}}{I_{yf}} \right) \right) + I_{xf} + I_{yf} \right)$$

$$k_{\phi fg} = 42.72 \text{ mm}^2$$

Rigidez rotacional geométrica (dividida por la tensión Fd) requerida por el ala desde la unión ala/alma
Eq. C3.1.4-16 AISI 2007

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

$$k_{\phi wg} = 2.05 \text{ mm}^2$$

Rigidez de rotación proporcionada por un elemento de restricción a la unión alma/ala, cero si el patín de compresión no tiene restricciones o siendo conservadores cuando el valor es desconocido. Art. C3.1.4 AISI 2007

$$k_{\phi} := 0 \checkmark$$

Valor que depende del gradiente de momento, el AISI permite tomar este valor igual a 1 conservadoramente. Eq. C3.1.4-7 AISI 2007 $\beta_c := 1$

Esfuerzo para el pandeo elástico distorsional Eq. C3.1.4-10 AISI 2007 $F_d := \beta_c \cdot \frac{k_{\phi fe} + k_{\phi we} + k_{\phi}}{k_{\phi fg} + k_{\phi wg}} = 574.9 \text{ MPa}$

Momento por pandeo distorsional Eq. C3.1.4-5 AISI 2007 $M_{crd} := S_{cx} \cdot F_d = 2628.56 \text{ kgf} \cdot \text{m}$

Momento de fluencia efectivo Eq. C3.1.4-4 AISI 2007 $M_y := S_{cx} \cdot F_{ya} = 1450 \text{ kgf} \cdot \text{m}$

Factor para limite de pandeo distorsional Eq. C3.1.4-3 AISI 2007 $\lambda_d := \sqrt{\frac{M_y}{M_{crd}}} = 0.74$

Momento resistente por pandeo distorsional Eq. C3.1.4-2, Eq. C3.1.4-1 AISI 2007

$$M_{cn3} := \begin{cases} M_y & \text{if } \lambda_d \leq 0.673 \\ \left(1 - 0.22 \cdot \left(\frac{M_{crd}}{M_y}\right)^{0.5}\right) \cdot \left(\frac{M_{crd}}{M_y}\right)^{0.5} \cdot M_y & \text{else} \end{cases}$$

$M_{cn3} = 1374 \text{ kgf} \cdot \text{m}$

Resistencia nominal a momento sentido fuerte

Factor de minoración a flexión $\phi_{bc} := 0.90$

Momento resistente máximo $M_{rf} := \phi_{bc} \cdot \min(M_{cn1}, M_{cn2}, M_{cn3}) = 1052.2 \text{ kgf} \cdot \text{m}$

Tipo de Falla **T.FALLA = "Pandeo Lateral"**

Capacidad resistente al cortante

Resistencia nominal a corte sentido fuerte

Coefficiente de pandeo por corte $k_v := 5.34$

Factor de minoración al corte $\phi_{vc} := 0.95$

Esfuerzo de corte nominal resistente (Eq. C3.2.1-(2,3,4) AISI 2007) $F_{v1} := 0.6 \cdot f_{ys} = 150 \text{ MPa}$

$$F_{v2} := \frac{0.6 \cdot \sqrt{E_s \cdot k_v \cdot f_{ys}}}{\left(\frac{h_c}{e_c}\right)} = 196.08 \text{ MPa}$$

$$F_{v3} := \frac{\pi^2 \cdot E_s \cdot k_v}{12 \cdot (1 + \mu^2) \cdot \left(\frac{h_c}{e_c}\right)^2} = 322.35 \text{ MPa}$$

$$F_v := \begin{cases} \text{if } \frac{h_c}{e_c} \leq \sqrt{\frac{E_s \cdot k_v}{f_{ys}}} \\ \quad \parallel \\ \quad F_{v1} \\ \text{else} \\ \quad \text{if } \sqrt{\frac{E_s \cdot k_v}{f_{ys}}} < \frac{h_c}{e_c} \leq 1.51 \cdot \sqrt{\frac{E_s \cdot k_v}{f_{ys}}} \\ \quad \quad \parallel \\ \quad \quad F_{v2} \\ \quad \quad \text{else} \\ \quad \quad \parallel \\ \quad \quad F_{v3} \end{cases}$$

$$F_v = 150 \text{ MPa}$$

Resistencia nominal al corte

$$V_n := \phi_{vc} \cdot F_v \cdot h_c \cdot e_c = 6538.93 \text{ kgf}$$

7.5. CAPACIDAD RESISTENTE SENTIDO DÉBIL

Capacidad resistente al momento flector

Resistencia nominal a momento por fluencia

Módulo elástico de la sección efectiva calculado con la fibra extrema comprimida o traccionada a F_y (Art. C3.1.1 AISI 2007)

$$S_{cy} = 12.67 \text{ cm}^3$$

Tensión de fluencia de cálculo (Art. C3.1.1 AISI 2007)

$$F_{ya} = 317.13 \text{ MPa}$$

Momento de fluencia efectivo en base a la resistencia de la sección (Ec. C3.1.1-1 AISI 2007)

$$M_{cny1} := S_{cy} \cdot F_{ya} = 409.65 \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

Resistencia nominal a momento por pandeo lateral torsional

Esfuerzo de pandeo lateral sentido fuerte
Eq. C3.1.2.1-11 AISI 2007

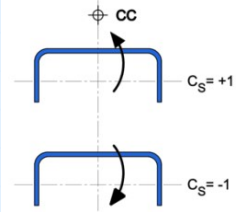
$$\sigma_{exc} := \frac{\pi^2 \cdot E_s}{\left(K_{xc} \cdot \frac{L_{xc}}{r_{cx}} \right)^2} = 198.09 \text{ MPa}$$

Factor de distorsión por momento flector

$$C_s := -1 \nabla$$

Cuando el momento flector en cualquier punto de una longitud no arriostrada es mayor que en los dos extremos de dicha longitud, CTF se debe tomar igual a la unidad.

$$C_{tf} := 1 \nabla$$



Esfuerzo de pandeo lateral torsional
Ec. C3.1.2-810 AISI 2007

$$\sigma_{etc} = 125.81 \text{ MPa}$$

Esfuerzo elástico crítico
Eq. C3.1.2.1-10 AISI 2007

$$F_{ey} := \frac{C_s \cdot A_c \cdot \sigma_{exc}}{C_{tf} \cdot S_{cy}} \cdot \left(j_c + C_s \cdot \sqrt{j_c^2 + r_{oc}^2 \cdot \frac{\sigma_{etc}}{\sigma_{exc}}} \right) = 330.44 \text{ MPa}$$

Tensión crítica de pandeo lateral torsional

$$F_{cy} := \begin{cases} \text{if } F_{ey} \geq 2.78 F_{ya} \\ F_{ya} \\ \text{else} \\ \text{if } 2.78 F_{ya} > F_{ey} > 0.56 F_{ya} \\ \frac{10}{9} \cdot F_{ya} \cdot \left(1 - \frac{10 \cdot F_{ya}}{36 \cdot F_{ey}} \right) \\ \text{else} \\ F_{ey} \end{cases}$$

$F_{cy} = 258.43 \text{ MPa}$

Momento de resistencia nominal al pandeo lateral
Ec. C3.1.2-1 AISI 2007

$$M_{cny2} := S_{cy} \cdot F_{cy} = 333.82 \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

Resistencia nominal a momento sentido débil

Factor de minoración a flexión

$$\phi_{bc} = 0.9$$

Momento resistente máximo

$$M_{rd} := \phi_{bc} \cdot \min(M_{cny1}, M_{cny2}) = 300.44 \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

Tipo de Falla

T.FALLAy = "Fluencia"

7.6. RESUMEN DE DISEÑO POR CAPACIDAD RESISTENTE DE COSTANERAS

Diseño a flexión biaxial

Momento actuante máximo de diseño sentido fuerte

$$M_{acf} = 760.95 \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

$$\frac{M_{acf}}{M_{rf}} = 0.72$$

Momento resistente máximo sentido fuerte

$$M_{rf} = 1052.2 \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

Momento actuante máximo sentido débil $N_{lat} = 1$

$$M_{acd} = 30.94 \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

$$\frac{M_{acd}}{M_{rd}} = 0.1$$

Momento resistente máximo sentido débil

$$M_{rd} = 300.44 \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

Factor de utilización a momento

$$FUM := \frac{M_{acf}}{M_{rf}} + \frac{M_{acd}}{M_{rd}} = 0.83$$

$F_{UM} = \text{"OK"}$

Diseño a corte

Cortante actuante máximo de diseño sentido fuerte

$$V_{acf} = 507.3 \text{ kgf}$$

Resistencia nominal al corte sentido fuerte

$$V_n = 6538.93 \text{ kgf}$$

Diseño a cortante

$$FUV := \frac{V_{acf}}{V_n} = 0.08$$

$F_{UV} = \text{"OK"}$

08 DISEÑO POR CAPACIDAD DE SERVICIO

8.1. DISEÑO POR DEFLEXIÓN

La norma NCh427/1 2016 especifica en su disposición L1 que para los estados límites de servicio, las cargas y las combinaciones de carga apropiadas se encuentran en el documento Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures (ASCE/SEI7), Anexo C.

Sentido fuerte

Deformación límite
Anexo C ASCE/SEI7

$$D_{lim} := \frac{L_x}{240} = 25 \text{ mm}$$

Deformación máxima de la viga

$$D_{max} := \frac{5 \cdot q_{cs} \cdot L_x^4}{384 \cdot E_s \cdot I_{cx}} = 22.02 \text{ mm}$$

Factor de utilización por deflexión $FUD := \frac{D_{max}}{D_{lim}} = 0.88$

$F_{UD} = \text{"OK"}$