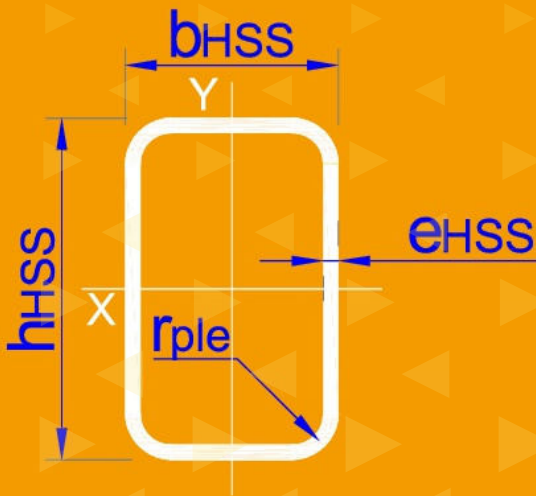


ABRIL 2023



AISC 360-22

VIGAS TUBULARES

ANGEL MANRIQUE
INGENIERO CIVIL ESPECIALISTA EN
ESTRUCTURAS

STEEL DESIGN 05

INDICE

03

INTRODUCCIÓN

03

OBJETIVO

03

BASES PARA EL DISEÑO

04

CALIDAD DE LOS MATERIALES

04

GEOMETRÍA Y CONDICIONES DE APOYO

05

CARGAS Y SOLICITACIONES

06

DISEÑO POR CAPACIDAD RESISTENTE

12

DISEÑO POR CAPACIDAD DE SERVICIO

01 INTRODUCCIÓN

Las secciones tubulares al estar fabricadas mediante el proceso de laminado en frío, es decir, mediante el plegado de planchas son susceptibles al sufrir pandeo local del alma o del ala en compresión.

Por tanto, la capacidad resistente a flexión de este tipo de perfiles está limitado por la posibilidad de falla por pandeo local. Para evitar que el pandeo local controle el estado límite de capacidad resistente a momento se deben utilizar perfiles con almas y alas compactas. Es decir, los elementos que componen la sección transversal deben cumplir con la relación ancho-espesor límite establecida en la tabla B4.1 de la AISC360-2022.

Se debe destacar también que esta última a diferencia de la normativa AISI permite para perfiles compactos la plastificación de la sección transversal en el diseño a flexión. Por lo que, para el cálculo del momento por fluencia de la sección la norma AISC360-22 considera el módulo de sección plástico en lugar del módulo de sección elástico utilizado en la norma AISI.

Para el cálculo del módulo de sección plástico, se debe ubicar el eje que divide en partes iguales el área de la sección transversal. Luego, el módulo de sección elástico se obtiene multiplicando el valor de cada área por la distancia entre el eje y el centroide del área correspondiente.

En perfiles tubulares se debe prestar atención al estado límite por capacidad de servicio y limitar adecuadamente las deformaciones por deflexión, ya que se pueden generar vibraciones excesivas en entresijos y daños o mal funcionamiento en elementos no estructurales como puertas, ventanas y cerramientos con vidrios.

02 OBJETIVO

El presente documento está referido al diseño mediante el método de los estados límites por de capacidad resistente y de servicio, para vigas I compactas doblemente simétricas.

03 BASES PARA EL DISEÑO

Normas Nacionales

1. NCh427/1 2016. Construcción - Estructuras de acero - Parte 1: Requisitos para el cálculo de estructuras de acero para edificios

Normas Internacionales

1. ANSI/AISC 360-22. Specification for Structural Steel Buildings
2. AISI Manual Cold-Formed Steel Design 2008 Edition

Documentos Técnicos

1. STEEL DESIGN GUIDE 9. Torsional Analysis of Structural Steel Members

04 CALIDAD DE LOS MATERIALES

4.1 ACERO ESTRUCTURAL

Esfuerzo del fluencia $f_{ys} := 250 \text{ MPa}$

Modulo de elasticidad $E_s := 200000 \text{ MPa}$

Peso unitario del acero $\gamma_a := 7850 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^3}$

Modulo de Poisson $\mu := 0.3$

Modulo de corte $G_s := \frac{E_s}{2 \cdot (1 + \mu)} = 76923.08 \text{ MPa}$

05 GEOMETRÍA Y CONDICIONES DE APOYO

5.1. CONDICIONES DE APOYO

Separación entre apoyos

$L_x := 6000 \text{ mm}$

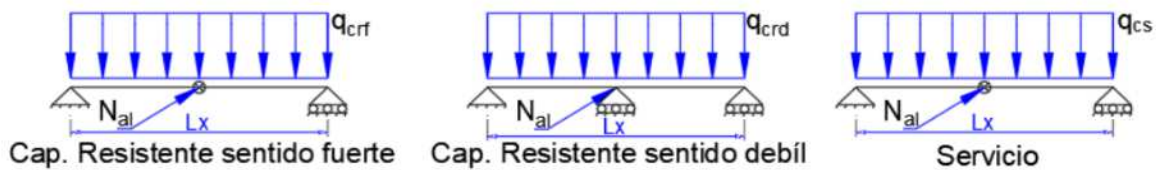


Figura 1. Condiciones de apoyo de viga

Numero de arriostramientos laterales N_{lat}

1

5.2. GEOMETRÍA Y PROPIEDADES MECÁNICAS

Tipo de perfil

HSS200x100x6

Altura total de del perfil $h_{HSS} = 200 \text{ mm}$

Ancho del ala del perfil $b_{HSS} = 200 \text{ mm}$

Espesor del perfil $e_{HSS} = 6 \text{ mm}$

Radio de plegado $r_{ple} = 9 \text{ mm}$

Área de la sección $A_{HSS} = 45.6329 \text{ cm}^2$

Peso por ml $P_{mlHSS} = 35.82 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$

Inercia X $I_{xHSS} = 2830.31 \text{ cm}^4$

Inercia Y $I_{yHSS} = 2830.31 \text{ cm}^4$

Modulo elástico X $S_{xHSS} = 283.03 \text{ cm}^3$

Modulo elástico Y $S_{yHSS} = 283.03 \text{ cm}^3$

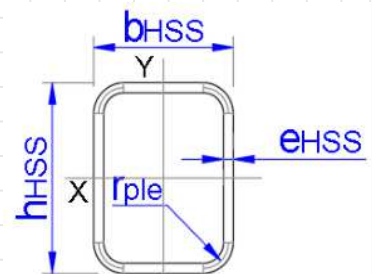


Figura 2. Geometría

Modulo Plástico X $Z_{xHSS} = 329.67 \text{ cm}^3$

Modulo Plástico Y $Z_{yHSS} = 329.67 \text{ cm}^3$

Constante Torsional $J_{HSS} = 3271.07 \text{ cm}^4$

06 CARGAS Y SOLICITACIONES

6.1. CARGAS MAYORADAS

Carga de diseño sentido fuerte (Incluye peso propio)

$$q_{crf} := 500 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$$

Carga de diseño por deflexión (Incluye peso propio)

$$q_{cs} := 350 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$$

6.2. SOLICITACIONES

Sentido fuerte

Momento actuante máximo de diseño sentido fuerte

$$M_{acf} := \frac{q_{crf} \cdot L_x^2}{8} = 2250 \text{ kgf m}$$

Cortante actuante máximo de diseño sentido fuerte

$$V_{acf} := q_{crf} \cdot \frac{L_x}{2} = 1500 \text{ kgf}$$

07 DISEÑO POR CAPACIDAD RESISTENTE

7.1. LIMITACIONES GEOMÉTRICAS

Alas atezadas

Relación límite ancho/espesor de alas compactas
Tabla B4.1b AISC360-22

$$\lambda_{pf} := 1.12 \cdot \sqrt{\frac{E_s}{f_{ys}}} = 31.68$$

Relación límite ancho/espesor de alas esbeltas
Tabla B4.1b AISC360-22

$$\lambda_{rf} := 1.4 \cdot \sqrt{\frac{E_s}{f_{ys}}} = 39.6$$

Relación ancho/espesor del alas
Tabla B4.1b AISC360-22

$$\lambda_{fE} := \frac{b_{HSS} - (2 \cdot r_{ple} + e_{HSS})}{e_{HSS}}$$

$$\lambda_{fE} = 29.33 \quad \text{"ALA COMPACTA"}$$

Almas atezadas

Relación límite ancho/espesor de almas compactas
Tabla B4.1b AISC360-22

$$\lambda_{pw} := 2.42 \cdot \sqrt{\frac{E_s}{f_{ys}}} = 68.45$$

Relación límite ancho/espesor de almas esbeltas
Tabla B4.1b AISC360-22

$$\lambda_{rw} := 5.70 \cdot \sqrt{\frac{E_s}{f_{ys}}} = 161.22$$

Relación ancho/espesor del alma
Tabla B4.1b AISC360-22

$$\lambda_{wE} := \frac{h_{HSS} - 2 \cdot e_{HSS}}{e_{HSS}}$$

$$\lambda_{wE} = 31.33 \quad \text{"ALMA COMPACTA"}$$

7.2. CAPACIDAD RESISTENTE SENTIDO FUERTE

Capacidad resistente al momento flector

Factor de minoración al momento flector
Art. F1.a. AISC360-22

$$\phi_b := 0.90$$

Resistencia nominal a momento por fluencia

Esfuerzo del fluencia

$$f_{ys} = 250 \text{ MPa}$$

Módulo de sección plástica

$$Z_{xHSS} = 329.67 \text{ cm}^3$$

Momento resistente nominal por fluencia
Ec. F7-1. AISC360-22

$$M_{nfl} := f_{ys} \cdot Z_{xHSS} = 8404.14 \text{ kgf m}$$

Resistencia nominal a momento por pandeo local del ala

Alas compactas

Momento por pandeo local del ala $M_{nf2a} := M_{nf1} = 8404.14 \text{ kgf m}$ "APLICA"
 Ec. F7-2. AISC360-22

Alas no compactas

Relación límite ancho/espesor de alas compactas $\lambda_{pf} = 31.68$
 Tabla B4.1b AISC360-22

Relación ancho/espesor de las alas $\lambda_{fE} = 29.33$
 Tabla B4.1b AISC360-22

Momento por pandeo local del ala $M_{nf2b1} := M_{nf1} - (M_{nf1} - f_{ys} \cdot S_{xHSS}) \cdot \left(\frac{\lambda_{fE} - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}} \right)$
 Ec. F7-2. AISC360-22

$$M_{nf2b1} = 8756.17 \text{ kgf m}$$

$$M_{nf2b} := \min \left(\left[M_{nf2b1} \quad M_{nf1} \right] \right)$$

$$M_{nf2b} = 8404.14 \text{ kgf m} \quad \text{"NO APLICA"}$$

Alas esbeltas

Relación límite ancho/espesor de alas esbeltas $\lambda_{rf} = 39.6$
 Tabla B4.1b AISC360-22

Relación ancho/espesor del alas $\lambda_{fE} = 29.33$
 Tabla B4.1b AISC360-22

Forma de la sección transversal "CUADRADA"

Ancho efectivo real de la sección $b := b_{HSS} - (2 \cdot r_{ple} + e_{HSS}) = 176 \text{ mm}$

Ancho efectivo de alas esbeltas para sección rectangular $b_{e1} := 1.92 \cdot e_{HSS} \cdot \sqrt{\frac{E_s}{f_{ys}}} \cdot \left(1 - \frac{e_{HSS} \cdot 0.38}{b} \cdot \sqrt{\frac{E_s}{f_{ys}}} \right)$
 Ec. F7-4. AISC360-22

$$b_{e1} = 206.4457 \text{ mm} \quad \text{"NO APLICA"}$$

Ancho efectivo de alas esbeltas para sección cuadrada $b_{e2} := 1.92 \cdot e_{HSS} \cdot \sqrt{\frac{E_s}{f_{ys}}} \cdot \left(1 - \frac{e_{HSS} \cdot 0.34}{b} \cdot \sqrt{\frac{E_s}{f_{ys}}} \right)$
 Ec. F7-5. AISC360-22

$$b_{e2} = 219.013 \text{ mm} \quad \text{"APLICA"}$$

Ancho efectivo máximo de la sección $b_{e3} := b = 176 \text{ mm}$



Ancho efectivo $b_e = 176 \text{ mm}$

Modulo elástico de la sección efectiva $S_{xHSSbe} = 283.0305 \text{ cm}^3$

Momento por pandeo local del ala
Ec. F7-3. AISC360-22

$$M_{nf2c} := f_{ys} \cdot S_{xHSSbe}$$

$$M_{nf2c} = 7215.27 \text{ kgf m}$$

"NO APLICA"



Resistencia nominal a momento por
pandeo local del ala
Art. F7.2 AISC360-22

$$M_{nf2} = 8404.14 \text{ kgf m}$$

"ALA COMPACTA"

Resistencia nominal a momento por pandeo local del alma

Almas compactas

Momento por pandeo local del alma
Ec. F7-2. AISC360-22

$$M_{nf3a} := M_{nf1} = 8404.14 \text{ kgf m}$$

"APLICA"

Almas no compactas

Relación límite ancho/espesor de almas compactas
Tabla B4.1b AISC360-22

$$\lambda_{pw} = 68.45$$

Relación ancho/espesor de las almas
Tabla B4.1b AISC360-22

$$\lambda_{wE} = 31.33$$

Momento por pandeo local del alma
Ec. F7-6. AISC360-22

$$M_{nf3b1} := M_{nf1} - \left(M_{nf1} - f_{ys} \cdot S_{xHSS} \right) \cdot \left(\frac{\lambda_{wE} - \lambda_{pw}}{\lambda_{rw} - \lambda_{pw}} \right)$$

$$M_{nf3b1} = 8879.76 \text{ kgf m}$$

$$M_{nf3b} := \min \left(\left[M_{nf3b1} \quad M_{nf1} \right] \right)$$

$$M_{nf3b} = 8404.14 \text{ kgf m}$$

"NO APLICA"

Alas esbeltas

Relación límite ancho/espesor de almas esbeltas
Tabla B4.1b AISC360-22

$$\lambda_{rw} = 161.22$$

Relación ancho/espesor del almas
Tabla B4.1b AISC360-22

$$\lambda_{wE} = 31.33$$

Relación de 2 veces el área del alma en
compresión al área del ala en compresión

$$a_w := \frac{2 \cdot (h_{HSS} - 2 \cdot e_{HSS}) \cdot e_{HSS}}{(b_{HSS} - (2 \cdot r_{ple} + e_{HSS})) \cdot e_{HSS}} = 2.1364$$

Doble de la distancia desde el CG del perfil
al interior del ala en compresión
Art. F4.2.6.ii. AISC360-22

$$h_{CHSS} := 2 \cdot \left(\frac{h_{HSS}}{2} - e_{HSS} \right) = 188 \text{ mm}$$

Factor de reducción de la
resistencia a la flexión
Ec. F5-6. AISC360-22

$$R_{pg} := \min \left(\left[1 - \frac{a_w}{1200 + 300 \cdot a_w} \cdot \left(\frac{h_{CHSS}}{e_{HSS}} - 5.7 \cdot \sqrt{\frac{E_s}{f_{ys}}} \right) (1) \right] \right)$$

$$R_{pg} = 1$$

Momento por pandeo local del alma
Ec. F7-7. AISC360-22

$$M_{nf3c} := R_{pg} \cdot f_{ys} \cdot S_{xHSS}$$

$$M_{nf3c} = 7215.2697 \text{ kgf m}$$

"NO APLICA"

Resistencia nominal a momento por
pandeo local del alma
Art. F7.2 AISC360-22

$$M_{nf3} = 8404.14 \text{ kgf m}$$

"ALMA COMPACTA"

Resistencia nominal a momento por pandeo lateral torsional

Longitud de arriostramiento
Art. F2.2. AISC360-22

$$L_b := \frac{L_x}{|N_{lat}| + 1} = 3000 \text{ mm}$$

Longitud límite no arriostrada para el estado
límite de fluencia
Ec. F7-12. AISC360-22

$$L_p := 0.13 \cdot E_s \cdot r_{yHSS} \cdot \frac{\sqrt{J_{HSS} \cdot A_{HSS}}}{M_{nf1}} = 9598.89 \text{ mm}$$

Longitud límite no arriostrada para el estado
límite de torsión lateral inelástica
Ec. F7-13. AISC360-22

$$L_r := 2 \cdot E_s \cdot r_{yHSS} \cdot \frac{\sqrt{J_{HSS} \cdot A_{HSS}}}{0.7 \cdot f_{ys} \cdot S_{xHSS}} = 245725.34 \text{ mm}$$

Factor de modificación de pandeo lateral torsional

Momento ubicado a un cuarto
del segmento no arriostrado

$$M_A := \frac{3}{4} \cdot \frac{q_{crf} \cdot L_x^2}{8} = 1687.5 \text{ kgf m}$$

Momento ubicado en el centro
del segmento no arriostrado

$$M_B := \frac{q_{crf} \cdot L_x^2}{8} = 2250 \text{ kgf m}$$

Momento ubicado tres cuartos
del segmento no arriostrado

$$M_C := \frac{3}{4} \cdot \frac{q_{crf} \cdot L_x^2}{8} = 1687.5 \text{ kgf m}$$

Factor de modificación de
pandeo lateral torsional
Ec. F2-1. AISC360-22

$$C_b := \frac{12.5 \cdot M_{acf}}{2.5 \cdot M_{acf} + 3 \cdot M_A + 4 \cdot M_B + 3 \cdot M_C} = 1.14$$

Momento resistente nominal
por pandeo lateral torsional
Ec. F7-(10, 11). AISC360-22

$$M_{nf4a} := M_{nf1} = 8404.14 \text{ kgf m} \quad "L_b \leq L_p. \text{ APLICA}"$$

$$M_{nf4b} := \min \left[\left[C_b \cdot \left(M_{nf1} - (M_{nf1} - 0.7 \cdot f_{ys} \cdot S_{xHSS}) \cdot \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right) \right] M_{nf4a} \right]$$

$$M_{nf4b} = 8404.14 \text{ kgf m}$$

"NO APLICA"

$$M_{nf4c} := \min \left[\left[2 \cdot E_s \cdot C_b \cdot \frac{r_{yHSS} \cdot \sqrt{J_{HSS} \cdot A_{HSS}}}{L_b} M_{nf4a} \right] \right]$$

$$M_{nf4c} = 8404.14 \text{ kgf m}$$

"NO APLICA"

$$M_{nf4} = 8404.14 \text{ kgf m}$$

Momento resistente nominal

Momento resistente nominal

$$M_{nf} := \phi_b \cdot \min \left(\left[M_{nf1} \quad M_{nf2} \quad M_{nf3} \quad M_{nf1} \right] \right)$$

$$M_{nf} = 7563.72 \text{ kgf m}$$

Capacidad resistente al cortante

Resistencia nominal al corte sentido fuerte

Factor de minoracion al cortante
Art. G1. AISC360-22

$$\phi_v := 0.9$$

Altura resistente al esfuerzo cortante

$$h_{vw} := h_{HSS} - 2 \cdot e_{HSS} - 2 \cdot r_{ple} = 170 \text{ mm}$$

Área del alma

Art. G4. AISC360-22

$$A_w := 2 \cdot h_{vw} \cdot e_{HSS} = 20.4 \text{ cm}^2$$

Coefficiente de pandeo por cortante del alma
Art. G4. AISC360-22

$$k_v := 5$$

Coefficiente de resistencia al pandeo por cortante del alma

$$C_{v2a} := 1$$

$$\frac{h_{vw}}{e_{HSS}} \leq 1.10 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E_s}{f_{ys}}}$$

"APLICA"

$$C_{v2b} := \frac{e_{HSS}}{h_{vw}} \cdot 1.10 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E_s}{f_{ys}}} \left(1.10 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E_s}{f_{ys}}} < \frac{h_{vw}}{e_{HSS}} \right) \leq 1.37 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E_s}{f_{ys}}}$$

"NO APLICA"

$$C_{v2b} = 2.46$$

$$C_{v2c} := \frac{1.51 \cdot k_v \cdot E_s}{\left(\frac{h_{vw}}{e_{HSS}} \right)^2 \cdot f_{ys}} = 7.52$$

$$\frac{h_{vw}}{e_{HSS}} > 1.37 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E_s}{f_{ys}}}$$

"NO APLICA"

$$C_{v2} = 1$$

Cortante resistente nominal

$$V_{nf} := \phi_v \cdot 0.6 \cdot A_w \cdot C_{v2} \cdot f_{ys} = 28082.98 \text{ kgf}$$



7.4. RESUMEN DE DISEÑO POR CAPACIDAD RESISTENTEDiseño a flexión uniaxial

Momento actuante máximo de diseño sentido fuerte

$$M_{acf} = 2250 \text{ kgf m}$$

Momento resistente máximo sentido fuerte

$$M_{nf} = 7563.72 \text{ kgf m}$$

Factor de utilización a momento
Ec. H1-1b. AISC360-22 29.75 %

$$\frac{M_{acf}}{M_{nf}} \leq 1$$

"OK"

Diseño a corte

Cortante actuante máximo de diseño sentido fuerte

$$V_{acf} = 1500 \text{ kgf}$$

Resistencia nominal al corte sentido fuerte

$$V_{nf} = 28082.98 \text{ kgf}$$

Factor de utilización a cortante 5.34 %

$$\frac{V_{acf}}{V_{nf}} \leq 1$$

"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

$$D_{lim} := \frac{L_x}{360} = 16.67 \text{ mm}$$

Deformación máxima de la viga

$$D_{max} := \frac{5 \cdot q_{CS} \cdot L_x^4}{384 \cdot E_s \cdot I_{xHSS}} = 10.23 \text{ mm}$$

Factor de utilización por deflexión 61.39 %

$$\frac{D_{max}}{D_{lim}} \leq 1 \quad \text{"OK"}$$