

APLICACIÓN DEL MÉTODO DE DISEÑO LRFD PARA PERFILERÍA NACIONAL CONFORMADA EN FRÍO BAJO NORMAS AISI

Ing. José Luis Allauca C.

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
Universidad Nacional de Chimborazo
allaucacruz@yahoo.com

RESUMEN

Las bondades que nos brinda el acero por su capacidad para absorber los esfuerzos son de gran importancia, así también la rapidez de ensamblaje hace que el acero este por encima de otros materiales.

En el presente trabajo se presenta una alternativa para el diseño de estructuras de acero basado en el método de diseño LRFD para perfiles conformados en frío de producción nacional, método que viene siendo adoptado de forma masiva en los Estados Unidos, estructuras que a su vez estarán bajo requerimientos AISI.

Para la aplicación del método fue necesario realizar una investigación de los perfiles conformados en frío de nuestro país desarrollando así propiedades geométricas y resistentes de la sección transversal de dichos perfiles indispensables para el método.

Posteriormente se realizó una revisión de las especificaciones North American Specification for the Design of Cold – Formed Steel Structural Members (AISI 2001) debido a que en nuestro país no contamos con un código para este tipo de diseños.

1. Introducción

En nuestro medio es de gran incertidumbre tener en claro un método para el diseño de estructuras de acero, la falta de códigos de diseño para este tipo de estructuras en nuestro país nos obliga a utilizar normas extranjeras. El método de diseño a ser utilizada resulta una ampliación del original por la incorporación de perfiles nacionales conformados en frío.

En los Estados Unidos en la mayoría de estructuras se utiliza el acero como principal material. Bajo un consecuente uso del acero en estructuras se han desarrollado varios Métodos de Diseño, Códigos y Normas con los que deben cumplir dichas estructuras.

Lamentablemente en nuestro país no se han aprovechado adecuadamente todavía las amplias posibilidades y ventajas que tienen las construcciones de acero.

La perfilería con la que se cuenta en nuestro país es conformada en frío puesto que las laminadas en caliente en su mayoría son importadas. Basados en esta necesidad se tomo la iniciativa de desarrollar este trabajo que esta a su vez incorpore la información necesaria para poder aplicar el método de diseño en mención.

Aceros al carbono

Las características de un acero al carbono son: (1) el contenido especificado para los elementos de aleación no sobrepasa las siguientes cantidades: manganeso, 1.65%; silicio, 0.60%; cobre, 0.60%; (2) el mínimo especificado para el cobre no sobrepasa el 0.40%; (3) no especifica un contenido mínimo para otros elementos añadidos con el fin de obtener un efecto deseado de aleación.

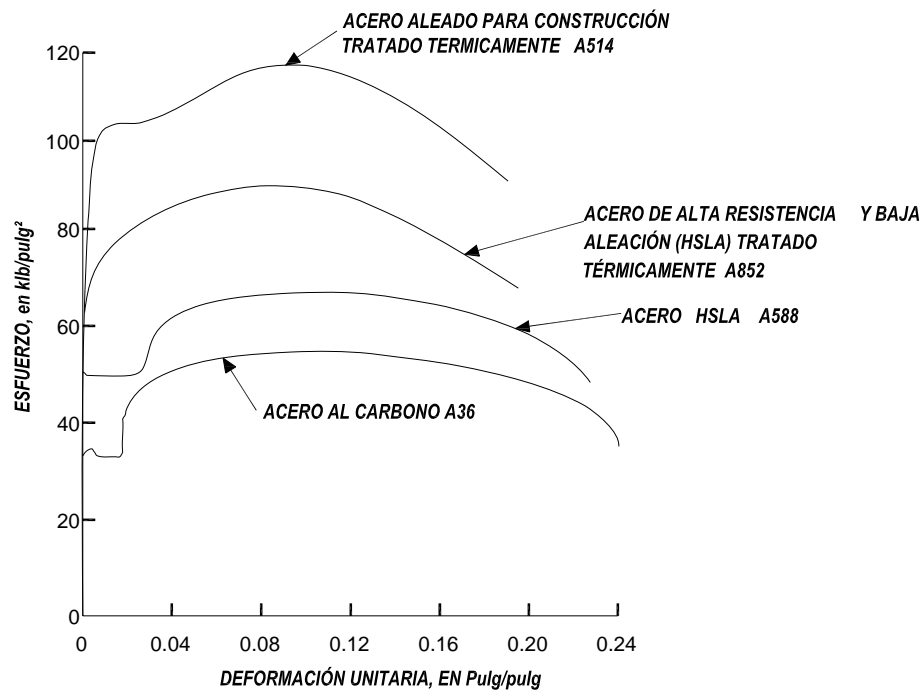


Figura 2.6 Curvas Típicas de esfuerzo - deformación para aceros estructurales

El acero A36 es el que normalmente se encuentra en nuestro país es el principal acero al carbono para puentes, edificios y otros usos estructurales. Asimismo, éste proporciona un punto de cedencia mínimo de 36 klb/pulg² (2536.369 kg/cm²) en todos los perfiles y placas estructurales de hasta 8 pulg. (20.32 cm.) de espesor.

DISEÑO DE MIEMBROS A TENSIÓN

El esfuerzo nominal a tensión, T_n , será el valor mas bajo obtenido de acuerdo al estado limite (a) Fluencia en el área gruesa (b) fractura en la sección neta fuera de las uniones.

(a) Por fluencia:

$$T_n = A_g F_y \quad (Eq. C2.1 AISI 2001)$$

$$\phi_t \text{ (LFRD)} = 0.90$$

(b) Fractura en la sección neta fuera de las uniones:

$$T_n = A_n F_u \quad (Eq. C2.2 AISI 2001)$$

$$\phi_t \text{ (LFRD)} = 0.75$$

(c) Fractura en la unión

El esfuerzo nominal a tensión esta limitada por la sección E2.7, E3 y E5 para miembros a tensión usando uniones por soldadura, uniones empennadas y uniones atornilladas.

DISEÑO DE MIEMBROS A FLEXIÓN

Flexión

La resistencia nominal a flexión [momento resistente], M_n , será el más pequeño de los valores calculados en concordancia a las Secciones C3.1.1, C3.1.2, C3.1.3, C3.1.4 y C3.1.5 del AISI 2001¹, donde sea aplicable.

Los requerimientos de esta sección no consideran efectos de torsión, como es resultado de las cargas que pasan a través del centro de corte de la sección transversal. Mire la sección D3 (AISI 2001) para el diseño de arriostramientos requeridos a restricción de flexión lateral o torsión.

La resistencia nominal de la sección

La resistencia a flexión o Momento resistente M_n se calculará en la base de la iniciación del rendimiento (*Procedimiento I*) o basados en la capacidad de reserva inelástica (*Procedimiento II*).

Para secciones rigidizadas o con alas comprimidas parcialmente rigidizadas:

ϕ_b (LFRD) = 0.95 USA y México

Para secciones con alas comprimidas no rigidizadas:

ϕ_b (LFRD) = 0.90 USA y México

Procedimiento I Basado Rendimiento de Iniciación

El momento de rendimiento eficaz basado en el esfuerzo de la sección, M_n , será determinado como a continuación.

$$M_n = S_e F_y$$

(Eq. C3.1.1-1 AISI 2001)

donde:

F_y = Esfuerzo a fluencia como lo determinado en la Sección A7.1 (AISI 2001)

S_e = Módulo de sección elástica o sección calculada efectiva, relativa de la fibra extrema del esfuerzo de compresión o tensión, F_y .

Procedimiento II En Base a la Capacidad de Reserva de Inelástica

En Base a la Capacidad de Reserva de Inelástica es permitida cuando esta dentro de las siguientes condiciones.

- (1) El miembro no debe estar sujeto a torsión o lateral, o pandeo flexional torsional.
- (2) El efecto del trabajo en conformar en frío no incluye en la determinación del límite de fluencia F_y .
- (3) La relación de altura de la porción en compresión del área del alma a su espesor no debe exceder de λ_1 .
- (4) La fuerza cortante no deberá exceder de $0.6F_y$ veces el área del alma (ht para elementos no rigidizados o wt para elementos no rigidizados), para LFRD y LSD.
- (5) El ángulo entre cualquier alma y la vertical no deberá exceder los 30° .

Cualquier Momento nominal do debe exceder $1.25 S_e F_y$ determinado de acuerdo al *Proceso I* o que causando un esfuerzo de compresión máxima de $C_y e_y$ (en ningún límite se pone el esfuerzo de tensión máxima)

donde:

e_y = rendimiento en tensión = F_y / E

E = modulo de elasticidad

C_y = factor de esfuerzo de compresión como a continuación a continuación:

h = altura libre del alma

t = espesor de la base de acero de elemento

w = ancho libre el elemento

¹ North American Specification for the Design of Cold – Formed Steel Structural Members, 2001 Edition, Approved in Canada by the Canadian Standards Association, Approved in Mexico by Canacero, 1st Printing – June 2002, Supplement 2004 to the North American Specification for the Design of Cold – Formed Steel Structural Members, 2001 Edition.

(a) Elementos comprimidos rigidizados sin rigidización intermedia.

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

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

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

Donde

$$\lambda_1 = \frac{1.11}{\sqrt{\frac{F_y}{E}}} \quad (\text{Eq. C3.1.1-2 AISI 2001})$$

$$\lambda_2 = \frac{1.28}{\sqrt{\frac{F_y}{E}}} \quad (\text{Eq. C3.1.1-3 AISI 2001})$$

(b) Elementos comprimidos no rigidizados.

(i) Elementos comprimidos rigidizados bajo pendiente de rigidización causando compresión a un borde longitudinal y tensión al otro borde longitudinal:

$$C_y = 3.0 \quad \text{donde} \quad \lambda \leq \lambda_3 \quad (\text{Eq. C3.1.1-4 AISI 2001})$$

$$C_y = 3 - 2[(\lambda - \lambda_3)/(\lambda_4 - \lambda_3)] \quad \text{donde} \quad \lambda_3 < \lambda < \lambda_4 \quad (\text{Eq. C3.1.1-5 AISI 2001})$$

$$C_y = 1 \quad \text{donde} \quad \lambda \geq \lambda_4 \quad (\text{Eq. C3.1.1-6 AISI 2001})$$

donde:

$$\lambda_3 = 0.43$$

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

y ψ esta definido en la Sección B3.2. (AISI 2001)

(ii) Elementos comprimidos no rigidizados pendiente de rigidización causando a compresión a ambos bordes longitudinales:

$$C_y = 1$$

(iii) Elementos no rigidizados bajo compresión uniforme:

$$C_y = 1$$

(c) Elementos comprimidos con rigidización múltiple y elementos comprimidos con bordes rigidizadores.

$$C_y = 1$$

Resistencia al pandeo lateral.

Resistencia al pandeo lateral de miembros con sección abierta.

Los requisitos de esta sección es aplicable para I-, Z-, C- y otras secciones simétricas individuales de miembros a flexión (no se incluye multi-almas de tableros, U- y miembros de flexión tipo caja, y miembros tipo curva o arco). Los requisitos de esta sección no son aplicables para alas en compresión no arriostradas lateralmente por otra parte las secciones lateralmente estables. Con referencia a C3.1.3 (AISI 2001)-para C- y correa Z- en la que el ala de tensión se ata al revestimiento mediante sujetadores pasantes sujetas a pandeo lateral.

Para segmentos no arriostrados lateralmente de sección simple, doble y puntos simétricos sujetos a pandeo lateral, el momento resistente o nominal se calcula como a continuación:

$$M_n = S_c F_c \quad (\text{Eq. C3.1.2.1-1 AISI 2001})$$

ϕ_b (LFRD) = 0.90 USA y México

donde:

S_c = Módulo de sección elástica de la sección efectiva calculada relativa al extremo de la fibra de F_c .

F_c se determina como a continuación:

Para $F_c \geq 2.78 F_y$

El segmento del miembro no esta sujeto a pandeo lateral a momento flexionante menor o iguales que M_y . El diseño a esfuerzo flexionante [momento resistente] se determinará de acuerdo con la Sección C3.1.1(a) (AISI 2001).

Para $2.78 F_y > F_e > 0.56 F_y$

$$F_e = \frac{10}{9} F_y \left(1 - \frac{10 F_y}{36 F_e} \right) \quad (\text{Eq. C3.1.2.1-2 AISI 2001})$$

Para $F_e \leq 0.56 F_y$

$$F_e = F_e \quad (\text{Eq. C3.1.2.1-3 AISI 2001})$$

donde:

F_e = Tensión Elástica crítica de pandeo lateral de acuerdo a los literales (a) y (b)

(a) Para secciones simétricas simples, dobles y simétricas puntuales:

$$F_e = \frac{C_b r_o A}{S_f} \sqrt{\sigma_{ey} \sigma_t} \quad (\text{Eq. C3.1.2.1-5 AISI 2001})$$

para flexión sobre el eje simétrico

Para secciones simétricas simples, el eje de simetría eje - x orientado de tal forma que el cortante en el centro tenga un valor negativo en la ordenada.

Para secciones simétricas puntuales, use $0.5 F_e$. Secciones Z el eje - x es el eje centroidal perpendicular al alma.

Alternativamente, F_e puede ser calculado usando la ecuación dada en la parte (b) para secciones simétricas dobles secciones I, secciones simétricas simples secciones C o secciones simétricas puntuales secciones Z.

Para secciones simétricas puntuales (asimétricas) a flexión del eje centroidal perpendicular al eje de simetría.

$$F_e = \frac{C_s A \sigma_{ex}}{C_{TF} S_f} \left[j + C_s \sqrt{j^2 + r_o^2 (\sigma_t / \sigma_{ex})} \right] \quad (\text{Eq. C3.1.2.1-6 AISI 2001})$$

C_s = +1 para momento que provoca compresión en el lado centro del cortante del centroide.

C_s = -1 para momento que provoca tensión en el lado centro del cortante del centroide.

$$\sigma_{ex} = \frac{\pi^2 E}{(K_x L_x / r_x)^2} \quad (\text{Eq. C3.1.2.1-7 AISI 2001})$$

$$\sigma_{ey} = \frac{\pi^2 E}{(K_y L_y / r_y)^2} \quad (\text{Eq. C3.1.2.1-8 AISI 2001})$$

$$\sigma_t = \frac{1}{A r_o^2} \left[GJ + \frac{\pi^2 E C_w}{(K_t L_t)^2} \right] \quad (\text{Eq. C3.1.2.1-9 AISI 2001})$$

A = Área de sección completa no reducida (área gruesa).

S_f = Modulo de sección elástica de la sección gruesa relativa al fibra extrema de compresión.

$$C_b = \frac{12.5 M_{max}}{2.5 M_{max} + 3 M_A + 4 M_{B+} + 3 M_C} \quad (\text{Eq. C3.1.2.1-10 AISI 2001})$$

donde:

M_{max} = Valor absoluto del momento máximo del segmento no arriostrado

M_A = Valor absoluto del momento a un cuarto del segmento no arriostrado

M_B = Valor absoluto del momento a la mitad del segmento no arriostrado

M_C = Valor absoluto del momento a tres cuartos del segmento no arriostrado

C_b es permitido conservar para ser la unidad par todos los casos. Para cantilevers o proyecciones cuando este tramo final es no arriostrado, C_b se tomará como la unidad.

E = Módulo de elasticidad

$$C_{TF} = 0.6 - 0.4 (M_1 - M_2) \quad (\text{Eq. C3.1.2-11 AISI 2001})$$

donde:

M_1 es el momento más pequeño y M_2 es el momento más grande flexionante en los extremos de la longitud no arriostrada en el plano de flexión, y cuando M_1/M_2 , la relación de extremo, es positivo cuando M_1 y M_2 tiene el mismo signo (curvatura inversa en flexión). Cuando el momento de flexión esta en cualquier punto dentro de la longitud no arriostrada es más grande que cualquiera de ambos extremos de esta longitud, C_{TF} se tomara como la unidad.

r_o = radio polar de giro de la sección transversal sobre el cortante medio.

$$= \sqrt{r_x^2 + r_y^2 + x_0^2} \quad (\text{Eq. C3.1.2-12 AISI 2001})$$

r_x, r_y	= Radio de giro de la sección transversal con relación al eje centroidal principal.
G	= Modulo de corte
k_x, k_y, k_t	= Factor de longitud efectiva para flexión con relación al eje - x y eje - y y torsión.
L_x, L_y, L_t	= Longitud no arriostrada de miembros a flexión con relación al eje - x y eje - y y torsión.
x_o	= Distancia desde el centroide al plano del eje principal del área de la sección total.
J	= Constante de torsión de Saint-Venant del área transversal
C_w	= Constante de alabeo torsional del área transversal
j	= $\frac{1}{2I_y} [\int_A x^3 dA + \int_A xy^2 dA] - x_o$ (Eq. C3.1.2-13 AISI 2001)

(b) Para secciones I, simétricas simples secciones - C, o secciones Z doblado sobre el eje centroidal perpendicular al alma (eje - x), se permite las siguientes ecuaciones para ser usadas en lugar del literal (a) para calcular F_e :

$$F_e = \frac{C_b \pi^2 E d I_{yc}}{S_f (K_y L_y)^2} \quad (\text{Eq. C3.1.2.1-14 AISI 2001})$$

secciones simétricas dobles secciones I
y secciones simétricas simples secciones C

$$F_e = \frac{C_b \pi^2 E d I_{yc}}{2 S_f (K_y L_y)^2} \quad (\text{Eq. C3.1.2.1-15 AISI 2001})$$

secciones simétricas puntuales secciones Z

donde:

d	= altura de la sección
I_{yc}	= Momento de inercia de la porción comprimida de la sección completa, respectivamente, respecto al eje baricéntrico paralelo al alma.

Resistencia al pandeo lateral de miembros con sección de caja cerrada.

Para elementos de sección de caja cerrada, el esfuerzo nominal a flexión [momento resistente] M_n será determinado como a continuación:

Si la longitud de un miembro no arriostrado lateralmente es menos de o igual a L_u , el esfuerzo nominal a flexión [momento resistente] se determinará por lo usado en la sección C3.1.1.

$$L_u = \frac{0.36 C_b \pi}{F_y S_f} \sqrt{E G J I_y} \quad (\text{Eq. C3.1.2.2-1 AISI 2001})$$

Si la longitud no arriostrada lateralmente de un miembro es más grande a L_u , la resistencia nominal a la flexión [momento resistente] se determinara en acuerdo con C3.1.1.1 (AISI 2001), cuando el esfuerzo crítico al pandeo lateral, F_e , es calculado como a continuación:

$$F_e = \frac{C_b \pi}{K_y L_y S_f} \sqrt{E G J I_y} \quad (\text{Eq. C3.1.2.2-2 AISI 2001})$$

donde:

I_y	= Momento de inercia de la sección completa no reducida con respecto al eje centroidal paralelo al alma.
-------	--

J = Constante torsional de sección de caja cerrada

Las otras variables están definidas anteriormente.

Corte

Esfuerzo a corte [resistencia] de almas sin agujeros

La resistencia nominal a corte [resistencia], V_n , se calculará como a continuación:

$$V_n = A_w F_v \quad (\text{Eq. C3.2.1-1 AISI 2001})$$

(a) Para $h/t \leq \sqrt{E k_v / F_y}$

$$F_v = 0.60 F_y \quad (\text{Eq. C3.2.1-2 AISI 2001})$$

(b) Para $\sqrt{EK_v/F_y} < h/t \leq 1.5 \sqrt{EK_v/F_y}$

$$F_v = \frac{0.60 \sqrt{EK_v/F_y}}{(h/t)} \quad (\text{Eq. C3.2.1-3 AISI 2001})$$

(c) Para $h/t > 1.51 \sqrt{EK_v/F_y}$

$$F_v = \frac{\pi^2 Ek_v}{12(1-\mu^2)(h/t)^2} = 0.904 Ek_v / (h/t)^2 \quad (\text{Eq. C3.2.1-4 AISI 2001})$$

ϕ_v (LFRD) = 0.95 USA y México

donde:

A_w = Área del alma del elemento = ht

E = Modulo de elasticidad del acero

F_v = Tensión nominal a corte

V_n = Esfuerzo nominal a corte [resistencia]

t = Espesor del alma

h = Altura de la porción del ala del alma medida a lo largo del plano del alma

μ = Relación de poisson = 0.3

k_v = Coeficiente de pandeo por corte determinado como a continuación:

1. Para almas no reforzadas, $k_v = 5.34$

2. Para almas con atezadores transversales que satisfagan los requerimientos de la Sección C3.6 (AISI 2001)

cuando $a/h \leq 1.0$

$$k_v = 4.00 + \frac{5.34}{(a/h)^2} \quad (\text{Eq. C3.2.1-5 AISI 2001})$$

cuando $a/h > 1.0$

$$k_v = 5.34 + \frac{4.00}{(a/h)^2} \quad (\text{Eq. C3.2.1-6 AISI 2001})$$

donde

a = longitud de tablero de corte del alma del elemento no reforzado.

= distancia libre de elementos de refuerzo de alma entre atezadores.

Para un alma que sostiene de dos o más planchas, cada plancha será considerado por separado el elemento cargado en porción de la fuerza de corte.

Esfuerzo a corte [resistencia] de secciones – C con almas con agujeros

Estos requisitos serán aplicables dentro de los siguientes límites:

(1) $d_0/h \leq 0.7$

(2) $h/t \leq 200$

(3) Agujeros centrados a la media altura del alma

(4) Distancia libre entre agujeros ≥ 18 pulg. (457 mm.)

(5) Agujeros no circulares, relación de esquina $\geq 2t$

(6) Agujeros no circulares, $d_0 \leq 2.5$ pulg. (64 mm.) y $b \leq 4.5$ pulg. (114 mm.)

(7) Agujeros circulares, diámetro ≤ 6 pulg. (152 mm.)

(8) $d_0 > 9/16$ pulg. (14 mm.)

El esfuerzo nominal a corte [resistencia], V_n , determinado por la sección C3.1.1 se multiplicará por q_s .

cuando $c/t \geq 54$

$$q_s = 1.0 \quad (\text{Eq. C3.2.2-1 AISI 2001})$$

cuando $5 \leq c/t < 54$

$$q_s = c / (54t) \quad (\text{Eq. C3.2.2-2 AISI 2001})$$

donde:

$c = h/2 - d_0 / 2.83$ para agujeros circulares (Eq. C3.2.2-3 AISI 2001)

= $h/2 - d_0 / 2$ para agujeros no circulares (Eq. C3.2.2-4 AISI 2001)

d_0 = Altura del alma perforada

b = Longitud del alma perforada

h = Altura de la porción del ala del alma medida a lo largo del plano del alma

Combinación de flexión y corte Método LRFD

Para vigas sujetas a combinaciones de corte y flexión, la resistencia a flexión requerida [momento factorado], \bar{M} , y la resistencia a corte requerida [cortante factorado], \bar{V} , no exceda $\phi_b M_n$ y $\phi_v V_n$, respectivamente.

Para vigas con almas no reforzadas la resistencia a flexión requerida [momento factorado], \bar{M} , y la resistencia a corte requerida [cortante factorado], \bar{V} , también deberá satisfacer la ecuación de interacción:

$$\sqrt{\left(\frac{\bar{M}}{\phi_b M_{nxo}}\right)^2 + \left(\frac{\bar{V}}{\phi_v V_n}\right)^2} \leq 1.0 \quad (\text{Eq. C3.3.2-1 AISI 2001})$$

Para vigas con atezadores de alma transversos, cuando $\bar{M} / (\phi_b M_{nxo}) > 0.5$ y $\bar{V} / (\phi_v V_n) > 0.7$, \bar{M} y \bar{V} también satisfaga la siguiente ecuación de interacción:

$$0.6 \left(\frac{\bar{M}}{\phi_b M_{nxo}}\right)^2 + \left(\frac{\bar{V}}{\phi_v V_n}\right)^2 \leq 1.3 \quad (\text{Eq. C3.3.2-2 AISI 2001})$$

donde:

ϕ_b	= Factor de resistencia a flexión
ϕ_v	= Factor de resistencia a corte
M_n	= Resistencia nominal a flexión [momento resistente] cuando exclusivamente es considerada la flexión
M_{nxo}	= Resistencia nominal a flexión [momento resistente] alrededor del eje centroidal eje - x determinado en acuerdo a la Sección C3.1.1 (AISI 2001)
\bar{M}	= Resistencia a flexión requerida [momento factorizado] $\bar{M} = M_u$ (LRFD)
V_n	= Resistencia nominal a corte [resistencia] cuando es considerado a corte exclusivamente.
\bar{V}	= Resistencia requerida a corte [cortante factorizado] $\bar{V} = V_u$ (LRFD)

Resistencia a la abolladura del alma

Resistencia a la abolladura del alma [resistencia] de almas sin agujeros

La resistencia nominal a la abolladura [resistencia], P_n , se determinará como a continuación:

$$P_n = C t^2 F_y \sin \theta \left(1 - C_R \sqrt{\frac{R}{t}}\right) \left(1 + C_N \sqrt{\frac{N}{t}}\right) \left(1 - C_h \sqrt{\frac{h}{t}}\right) \quad (\text{Eq. C3.3.2-2 AISI 2001})$$

donde:

P_n	= Resistencia nominal a la abolladura del alma
C	= Coeficientes de Tablas C3.1.1-1, C3.1.1-2, C3.1.1-3, C3.1.1-4 o C3.1.1-5 (AISI 2001)
C_h	= Coeficiente de esbeltez de alma de Tablas C3.4.1-1, C3.4.1-2, C3.4.1-3, C3.4.1-4 o C3.4.1-5. (AISI 2001)
C_N	= Coeficiente de longitud portante de Tablas C3.4.1-1, C3.4.1-2, C3.4.1-3, C3.4.1-4 o C3.4.1-5 (AISI 2001)
C_R	= Coeficiente del interior de la curvatura de radio de Tablas C3.4.1-1, C3.4.1-2, C3.4.1-3, C3.4.1-4 o C3.4.1-5 (AISI 2001)
F_y	= Límite de fluencia de diseño como está determinado en la Sección A7.1 (AISI 2001)
h	= Dimensión libre medida del alma en el plano del alma.
N	= Longitud portante [3/4 pulg. (19 mm) mínimo]
R	= Radio interior de curvatura

t =Espesor del alma
 θ = Angulo comprendido entre el plano del alma y el, plano de superficie del alma, $45^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$

Almas de miembros en flexión para que h/t mayor que 200 se proporcionará de medios adecuados para transmitir cargas concentradas o reacciones directamente en ele alma.

Pn representa el esfuerzo nominal [resistencia] para carga o reacción para un alma sólida conectada del extremo superior al extremo inferior de las alas. Para almas constituidas de dos o mas dichas planchas, Pn, se calculará para cada plancha individual y la suma obtenida será el esfuerzo nominal del área total.

Una ala cargada o reacción ocurre cuando la distancia libre entre los bordes portantes del lado adyacente concentra cargas o reacciones es igual o mayor que 1.5h.

Dos alas cargadoras o reacción ocurre cuando la distancia libre entre los bordes portantes del lado adyacente concentra cargas o reacciones es menor que 1.5h.

Carga del extremo o reacción ocurre cuando la distancia de el borde portante del final del miembro es igual a o mayor que 1.5h.

Carga interior o, reacción ocurre cuando la distancia del borde portante del miembro final es mayor que 1.5h, excepto lo que no esta notado aquí dentro.

Los factores de seguridad y resistencia se proporcionan en las Tablas C3.4.1-1 a C3.4.1-5(AISI 2001)

Tabla C3.4.1-1(AISI 2001)
 Secciones Construidas

Condición de Apoyo y Ala		Tipo de Carga		C	C _R	C _N	C _h	LRFD ϕ_w	Limites
Sujetado al Apoyo	Alas Rigidizadas o parcialmente rigidizadas	Una Ala cargada o reacción	extremo	10	0.14	0.28	0.001	0.75	R/t ≤ 5
			interior	20	0.15	0.05	0.003	0.90	R/t ≤ 5
No Sujetados	Alas Rigidizadas o parcialmente rigidizadas	Una Ala cargada o reacción	extremo	10	0.14	0.28	0.001	0.75	R/t ≤ 5
			interior	20.5	0.17	0.11	0.001	0.85	R/t ≤ 3
		Dos Alas cargada o reacción	extremo	15.5	0.09	0.08	0.04	0.75	R/t ≤ 3
			interior	36	0.14	0.08	0.04	0.75	
	Alas no rigidizadas	Una Ala cargada o reacción	extremo	10	0.14	0.28	0.001	0.75	R/t ≤ 5
			interior	20.5	0.17	0.11	0.001	0.85	R/t ≤ 3

Tabla 2.7 Tabla de Coeficientes para el chequeo de la abolladura del alma. (AISI 2001, Pág. 72).

Nota:

Esta tabla es aplicable a vigas I hechas de dos canales de espaldas

Los coeficientes anteriores son aplicables cuando $h/t \leq 200$, $N/t \leq 210$, $N/h \leq 1.0$ y $\theta = 90^\circ$.

Tabla C3.4.1-2(AISI 2001)
Almas Simples de Canal y Secciones C

Condición de Apoyo y Ala		Tipo de Carga		C	C _R	C _N	C _h	LRFD φ _w	Limites
Sujetado al Apoyo	Alas Rigidizadas o parcialmente rigidizadas	Una Ala cargada o reacción	extremo	4	0.14	0.35	0.02	0.85	R/t ≤ 9
			interior	13	0.23	0.14	0.01	0.90	R/t ≤ 5
		Dos Alas cargada o reacción	extremo	7.5	0.08	0.12	0.048	0.85	R/t ≤ 12
			interior	20	0.10	0.08	0.031	0.85	R/t ≤ 12
No Sujetado	Alas Rigidizadas o parcialmente rigidizadas	Una Ala cargada o reacción	extremo	4	0.14	0.35	0.02	0.80	R/t ≤ 5
			interior	13	0.23	0.14	0.01	0.90	
		Dos Alas cargada o reacción	extremo	13	0.32	0.05	0.04	0.90	R/t ≤ 3
			interior	24	0.52	0.15	0.001	0.80	
	Alas no rigidizadas	Una Ala cargada o reacción	extremo	4	0.40	0.60	0.03	0.85	R/t ≤ 2
			interior	13	0.32	0.10	0.01	0.85	R/t ≤ 1
		Dos Alas cargada o reacción	extremo	2	0.11	0.37	0.01	0.75	R/t ≤ 1
			interior	13	0.47	0.25	0.04	0.80	

Tabla 2.8 Tabla de Coeficientes para el chequeo de la abolladura del alma. (AISI 2001, Pág. 72).

Nota:

- (1) Los coeficientes anteriores son aplicables cuando $h/t \leq 200$, $N/t \leq 210$, $N/h \leq 1.0$ y $\theta = 90^\circ$.
- (2) Para dos alas de carga interior o reacción, de miembros que tienen los bordes sujetos a el apoyo, la distancia entre el borde de presión al extremo del miembro se extenderá por lo menos $2.5h$. Para casos no sujetos, la distancia entre el borde de presión al extremo del miembro se extenderá por lo menos $1.5h$.

Tabla C3.4.1-3(AISI 2001)
Almas Simples Secciones Z

Condición de Apoyo y Ala		Tipo de Carga		C	C _R	C _N	C _h	LRFD φ _w	Limites
Sujetado al Apoyo	Alas Rigidizadas o parcialmente rigidizadas	Una Ala cargada o reacción	extremo	4	0.14	0.35	0.02	0.85	R/t ≤ 9
			interior	13	0.23	0.14	0.01	0.90	R/t ≤ 5
		Dos Alas cargada o reacción	extremo	9	0.05	0.16	0.052	0.85	R/t ≤ 12
			interior	24	0.07	0.07	0.04	0.80	R/t ≤ 12
No Sujetado	Alas Rigidizadas o parcialmente rigidizadas	Una Ala cargada o reacción	extremo	5	0.09	0.02	0.001	0.85	R/t ≤ 5
			interior	13	0.23	0.14	0.01	0.90	
		Dos Alas cargada o reacción	extremo	13	0.32	0.05	0.04	0.90	R/t ≤ 3
			interior	24	0.52	0.15	0.001	0.80	
	Alas no rigidizadas	Una Ala cargada o reacción	extremo	4	0.40	0.60	0.03	0.85	R/t ≤ 2
			interior	13	0.32	0.10	0.01	0.85	R/t ≤ 1
		Dos Alas cargada o reacción	extremo	2	0.11	0.37	0.01	0.75	R/t ≤ 1
			interior	13	0.47	0.25	0.04	0.80	

Tabla 2.9 Tabla de Coeficientes para el chequeo de la abolladura del alma. (AISI 2001, Pág. 73)

Nota:

- (1) Los coeficientes anteriores son aplicables cuando $h/t \leq 200$, $N/t \leq 210$, $N/h \leq 1.0$ y $\theta = 90^\circ$.
- (2) Para dos alas de carga interior o reacción, de miembros que tienen los bordes sujetos a el apoyo, la distancia entre el borde de presión al extremo del miembro se extenderá por lo menos 2.5h. Para casos no sujetos, la distancia entre el borde de presión al extremo del miembro se extenderá por lo menos 1.5h.

Tabla C3.4.1-4(AISI 2001)
Secciones Simples Tipo Sombrero

Condición de Apoyo y Ala	Tipo de Carga		C	C _R	C _N	C _h	LRFD ϕ_w	Límites
Sujetado al Apoyo	Una Ala cargada o reacción	extremo	4	0.25	0.68	0.04	0.75	R/t ≤ 5
		interior	17	0.13	0.13	0.04	0.80	R/t ≤ 10
	Dos Alas cargada o reacción	extremo	9	0.10	0.07	0.03	0.85	R/t ≤ 10
		interior	10	0.14	0.22	0.02	0.85	
No Sujetado	Una Ala cargada o reacción	extremo	4	0.25	0.68	0.04	0.75	R/t ≤ 4
		interior	17	0.13	0.13	0.04	0.90	R/t ≤ 4

Tabla 2.10 Tabla de Coeficientes para el chequeo de la abolladura del alma. (AISI 2001, Pág. 74).

Nota:

- Los coeficientes anteriores son aplicables cuando $h/t \leq 200$, $N/t \leq 210$, $N/h \leq 1.0$ y $\theta = 90^\circ$.

Tabla C3.4.1-5(AISI 2001)
Secciones multi alma tipo cubierta

Condición de Apoyo y Ala	Tipo de Carga		C	C _R	C _N	C _h	LRFD ϕ_w	Límites
Sujetado al Apoyo	Una Ala cargada o reacción	extremo	4	0.04	0.25	0.025	0.90	R/t ≤ 20
		interior	8	0.10	0.17	0.004	0.85	R/t ≤ 10
	Dos Alas cargada o reacción	extremo	9	0.12	0.14	0.040	0.85	R/t ≤ 10
		interior	10	0.11	0.21	0.020	0.85	
No Sujetado	Una Ala cargada o reacción	extremo	3	0.04	0.29	0.028	0.60	R/t ≤ 20
		interior	8	0.10	0.17	0.004	0.85	
	Dos Alas cargada o reacción	extremo	6	0.16	0.15	0.050	0.90	R/t ≤ 5
		interior	17	0.10	0.10	0.046	0.90	

Tabla 2.11 Tabla de Coeficientes para el chequeo de la abolladura del alma. (AISI 2001, Pág. 74).

Nota:

- (1) Los coeficientes anteriores son aplicables cuando $h/t \leq 200$, $N/t \leq 210$, $N/h \leq 1.0$ y $\theta = 90^\circ$.

Resistencia a la abolladura del alma [resistencia] de secciones C con almas perforadas.

Cuando un agujero está dentro de la longitud portante, se usará un rigidizador Portante.

Para vigas de alma con agujeros, la resistencia a la abolladura del alma [resistencia] se calculará usando la Sección C3.4.1 multiplicado por el factor de reducción, R_C , dado en esta sección.

Estos requisitos generales se aplicaran par los siguientes límites.

- (1) $d_0/h \leq 0.7$
- (2) $h/t \leq 200$
- (3) Agujero centrado a la media altura del alma
- (4) La distancia libre entre agujeros ≥ 18 pulg. (457 mm.)
- (5) La distancia entre el fin del miembro y el borde del agujero $\geq d$
- (6) Para agujeros no circulares, la relación de esquina $\geq 2t$
- (7) Para agujeros no circulares, $d_0 \leq 2.5$ pulg. (64 mm.) y $b \leq 4.5$ pulg. (114 mm.)
- (8) Agujeros circulares, diámetros ≤ 6 pulg. (152 mm.)
- (9) $d_0 > 9/16$ pulg. (14 mm.)

Para la reacción del final del ala (Ec. C4.1.1-1 con la Tabla C3.4.1-2 AISI 2001) con el alma perforada no esta dentro de la longitud portante:

$$R_C = 1.01 - 0.325 d_0/h + 0.083 x/h \leq 1.0$$

$$N \geq 1 \text{ pulg. (25mm.)}$$

Para la reacción interior del ala (Ec. C4.1.1-1 con la Tabla C3.4.1-2 AISI 2001) cuando una porción del alma perforada no esta dentro de la longitud portante:

$$R_C = 0.90 - 0.047 d_0/h + 0.053 x/h \leq 1.0$$

$$N \geq 3 \text{ pulg. (76 mm.)}$$

donde:

- b = Longitud del alma perforada
d = Altura de la sección transversal
 d_0 = Altura del alma perforada
h = Longitud libre de la porción del alma
x = distancia aproximada entre el agujeros del alma y el borde portante
N = Longitud portante

Combinación de flexión y abolladura del alma

Método LRFD

Almas simples no reforzadas de perfiles sujetos a una combinación de flexión y cargas concentradas o reacciones se diseñarán para encontrarse los siguientes requerimientos.

- (a) Para perfiles teniendo una alma sin reforzamiento

$$0.91 \left(\frac{P}{P_n} \right) + \left(\frac{M}{M_{nxo}} \right) \leq 1.33\phi \quad (\text{Eq. C3.5.2-1 AISI 2001})$$

donde:

$$\phi = 0.90 \text{ LRFD}$$

Excepción: A los apoyos interiores de vanos continuos, la ecuación anterior no es aplicable a tableros de acero (tipo deck) con dos o mas almas simples, con tal que los bordes de compresión de almas adyacentes se apoye lateralmente en la región de momento negativo por continuo o intermitentes elementos unidos por la pestaña, envolturas rígidas (de los elementos estructurales de un edificio), o arriostamiento lateral, y los espaciamientos entre almas adyacentes no deberá exceder 10 pulg. (254 mm.).

- (b) Para perfiles que tienen multi almas sin reforzar como secciones I hecho de dos secciones C conectadas de espaldas, o secciones similares que proveen un alto grado de restricción contra la rotación del alma (como secciones I hechas con dos ángulos o una sección C soldadas);

$$0.88 \left(\frac{P}{P_n} \right) + \left(\frac{M}{M_{nxo}} \right) \leq 1.46\phi \quad (\text{Eq. C3.5.2-2 AISI 2001})$$

donde:

$$\phi = 0.90 \text{ LRFD}$$

Excepción: En lugar de la Ecuación C3.5.2-2 (AISI 2001), cuando $h/t \leq 2.33 / \sqrt{F_y/E}$ y $\lambda \leq 0.673$, se permitirá a determinar la resistencia para una carga concentrada o reacción por el uso $\phi_w P_n$ de la Sección C3.4 AISI 2001.

En las anteriores ecuaciones:

ϕ_b = Factor de resistencia a flexión

ϕ_w = Factor de resistencia a la abolladura del alma

\bar{P} = Resistencia requerida para cargas concentradas o reacción [carga concentrada factorada o reacción] en presencia de momento flexionante

$$\bar{P} = P_u \text{ (LRFD)}$$

P_n = Resistencia Nominal [resistencia] para carga concentrada o reacción en ausencia de momento flexionante determinado en acuerdo con la Sección C3.4 (AISI 2001)

\bar{M} = Esfuerzo a flexión requerido [momento factorado] o inmediato adyacente a el punto de aplicación de la carga concentrada o reacción \bar{P}

$$\bar{M} = M_u \text{ (LRFD)}$$

M_{nxo} = Resistencia nominal a flexión [momento resistente] alrededor del eje centroidal eje - x determinado en acuerdo a la sección C3.1.1 (AISI 2001)

w = Ancho libre del ala de viga que contactos de base portantes

t = Espesor del alma o ala

l = Factor de esbeltez dado en la Sección B2.1

(c) Para dos perfiles Z anidados

$$0.86 \left(\frac{\bar{P}}{P_n} \right) + \left(\frac{\bar{M}}{M_{nxo}} \right) \leq 1.65 \phi \quad (\text{Eq. C3.5.2-3 AISI 2001}) \text{ donde}$$

$$\phi = 0.90 \text{ LRFD}$$

Además, el momento \bar{M} , y la carga concentrada o reacción, \bar{P} , debe satisfacer $\bar{M} \leq \phi_b M_{no}$ y $\bar{P} \leq \phi_w P_n$

donde:

\bar{M} = Esfuerzo a flexión requerido [momento factorado] de la sección bajo consideración

M_{no} = Resistencia nominal a flexión para sección Z anidadas, i.e., suma de dos secciones evaluadas de forma individual, determinado de acuerdo a la sección C3.1.1 (AISI 2001)

\bar{P} = Resistencia requerida para cargas concentradas o reacción [carga concentrada factorada o reacción] en presencia de momento flexionante

P_n = Resistencia nominal a la abolladura del alma [resistencia] asumiendo alma simple interior con carga en una ala para secciones Z, i.e., suma de dos almas evaluadas individualmente

La ecuación anterior es válida para perfiles que están dentro de los límites siguientes:

$$h/t \leq 150$$

$$N/t \leq 140$$

$$F_y \leq 70 \text{ ksi (480MPa o 4910 kg/cm}^2\text{)}$$

$$R/t \leq 5.5$$

Beberá satisfacer las siguientes condiciones:

- (1) El final de cada sección será unida a otra sección por un mínimo de dos de pernos A307 de 1/2 pulg. (12.7 mm.) de diámetro mediante el alma
- (2) La combinación de secciones se conectará a el apoyo por un mínimo de dos de pernos A307 de 1/2 pulg. (12.7 mm.) de diámetro mediante las alas
- (3) Las almas de secciones estarán en contacto.
- (4) La relación entre piezas de mayor a menor espesor no excederá de 1.3

DISEÑO DE COLUMNAS

Miembros comprimidos con carga concéntrica

Esta sección aplica a los miembros en que el resultante de todas las cargas que actúan en el miembro es una carga axial que atraviesa el centroide de la sección efectiva calculados a la tensión, F_n , definido en esta sección.

(a) La fuerza axial nominal [resistencia a compresión], P_n , se calculará como a continuación:

$$P_n = A_e F_n \quad (\text{Eq. C4-1 AISI 2001})$$

$$\phi_c (\text{LFRD}) = 0.85 \quad \text{USA y México}$$

donde:

A_e = Area efectiva calculada a tensión F_n . Para secciones circulares perforadas, A_e se determinará de acuerdo a la sección B2.2(a), sujetos a las limitaciones de esta sección. Si el número de agujeros en la región de longitud efectiva en el momento de dividir el diámetro del agujero para la longitud eficaz no debe exceder 0.015, A_e puede determinarse ignorando los agujeros.

F_n es determinado como a continuación:

$$\text{Para } \lambda_c \leq 1.5 \quad F_n = (0.658 \lambda_c^2) F_y \quad (\text{Eq. C4-2 AISI 2001})$$

$$\text{Para } \lambda_c > 1.5 \quad F_n = \frac{(0.877 \lambda_c^2)}{\lambda_c^2} F_y \quad (\text{Eq. C4-3 AISI 2001})$$

donde:

$$\lambda_c = \sqrt{\frac{F_y}{F_e}} \quad (\text{Eq. C4-4 AISI 2001})$$

F_e = El menor del flexado elástico, a pandeo torsional y a pandeo torsional flexional determinada de acuerdo a la Sección C4.1 a través de C4.4. (AISI 2001)

(b) Secciones de ángulos cargadas concentradamente se diseñan por un momento de flexión adicional como especifica en las definiciones de \bar{M}_x y \bar{M}_y (LRFD o LSD) en la Sección C5.2.(AISI 2001)

Secciones no sometidas a pandeo torsional ni a pandeo torsional flexional

Para secciones simétricas dobles, secciones transversales cerradas y cualquier otra sección que puede mostrarse para no estar sujeto a pandeo torsional o pandeo torsional flexional, la tensión de pandeo flexional elástico, F_e , se determinará como a continuación:

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{(KL/r)^2} \quad (\text{Eq. C4.1-1 AISI 2001})$$

donde:

E = Modulo de elasticidad

K = Factor de longitud efectiva

L = Longitud de miembro no arriostrada lateralmente

r = Radio de giro de la sección transversal total no reducida con respecto al eje de pandeo

En marcos donde la estabilidad lateral es proporcionado por la diagonal arriostrada, muros de corte, unida a una estructura adyacente que tiene estabilidad lateral adecuada, o losas del piso tipo deck o el tejado asegurado horizontalmente por paredes o sistemas de arriostramiento paralelas al plano de el marco, y en armaduras El factor de longitud efectiva, K, para miembros en compresión que no depende en su propia rigidez del pandeo por estabilidad lateral del marco o armadura, se tomará como unidad, a menos que el análisis presente un valor mas pequeño se permitirá usar. En marcos que dependan en su propia rigidez de flexión para estabilidad estructural, la longitud efectiva, KL, del miembro a compresión se determinará por un método racional y no será menos que la longitud real no arriostrada.

Secciones simétricas simples y dobles sujetas a pandeo torsional y pandeo torsional flexional

Para secciones simétricas simples sujetas a pandeo torsional y pandeo torsional flexional, F_e se tomará como el más pequeño de F_e calculada de acuerdo a la Sección C4.1 (AISI 2001) y F_e calculado como a continuación:

$$F_e = \frac{1}{2\beta} \left[(\sigma_{ex} + \sigma_t) - \sqrt{(\sigma_{ex} + \sigma_t)^2 - 4\beta\sigma_{ex}\sigma_t} \right] \quad (\text{Eq. C4.1-1 AISI 2001})$$

Alternativamente, una estimación conservadora de F_e puede obtenerse usando la ecuación siguiente:

$$F_e = \frac{(\sigma_t \sigma_{ex})}{(\sigma_{ex} + \sigma_t)} \quad (\text{Eq. C4.1-2 AISI 2001})$$

donde σ_t y σ_{ex} están definidos en la Sección C3.1.2.1 (AISI 2001):

$$\beta = 1 - (x_o/r_o)^2 \quad (\text{Eq. C4.1-3 AISI 2001})$$

Para secciones simétricas simples, el eje x se asume que es eje de simetría.

Para secciones simétricas dobles sujetas a pandeo torsional flexional, F_e se tomará como el más pequeño de F_e calculado de acuerdo a la Sección C4.1 (AISI 2001) y $F_e = \sigma_t$, donde σ_t es definido en la sección C3.1.2.1 (AISI 2001).

Para secciones simétricas simples sin rigidizar, secciones de ángulos, para que el área efectiva a tensión F_y sea igual al área transversal completa no reducida (A), F_e se calculará utilizando la Ec. C4.1-1 (AISI 2001) donde r es el radio de giro más bajo.

Secciones simétricas puntuales

Para secciones simétricas puntuales, F_e se tomará como los más bajos de σ_t como se definió en la sección C3.1.2.1 (AISI 2001) y F_e es calculado en la Sección C4.1 (AISI 2001) usando el eje principal menor de la sección.

Secciones no simétricas

Para perfiles cuyas secciones transversales no tienen simetría, o sobre un eje o sobre un punto, F_e se determinará por análisis racional. Alternativamente, se permitirán miembros a compresión compuestos de tal forma que sea probado de acuerdo con el Capítulo F (AISI 2001).

Miembros de sección armada

Para miembros a compresión compuestas de dos secciones en contacto, la resistencia axial nominal [resistencia a compresión] se determinará en acuerdo a la Sección C4(a) (AISI 2001) sujeto a las modificaciones siguientes. Si el modo de pandeo involucra deformaciones relativas que produzcan fuerzas cortantes en los conectores entre los perfiles individuales, KL/r es reemplazado por $(KL/r)_m$ determinado como a continuación:

$$\left(\frac{KL}{r}\right)_m = \sqrt{\left(\frac{KL}{r}\right)_0^2 + \left(\frac{a}{r_i}\right)^2} \quad (\text{Eq. C4.5-1 AISI 2001})$$

donde:

$(KL/r)_0$ = Relación de esbeltez global con relación al eje del miembro de sección entera armada

a = Espaciamiento intermedio de sujetadores o puntos de soldadura

r_i = Radio de giro menor del área transversal completa no reducida, área de un perfil individual en un miembro armado

Los otros símbolos están definidos en C4.1.

Adicionalmente, la resistencia de pasadores [resistencia] y espaciamiento deberá satisfacer lo siguiente:

- (1) El espaciamiento intermedio de sujetadores o puntos de soldadura, se limitará a esta relación a/r_i no excederá la relación una mitad de regulación de esbeltez de miembros armados.
- (2) Los extremos de los miembros armados a compresión se conectarán por una soldadura que tenga una longitud no menor que el ancho máximo del miembro o por conectores espaciados longitudinalmente no mas de 4 diámetros aparte de una distancia igual a 1.5 veces del máximo ancho del miembro.
- (3) Cada conector continuo será capaz de transmitir una fuerza de corte longitudinal de 2.5% de la fuerza total (fuerza factorada para LRFD y LSD) en los miembros de sección armada.

Miembros comprimidos que tienen un ala unida al tablero o revestimiento mediante sujetadores pasantes

Estos requerimientos son aplicables a secciones C o Z cargados concéntricamente a lo largo del eje longitudinal, con un ala única atada al tablero o al revestimiento mediante sujetadores con pasantes.

La resistencia axial nominal [resistencia] de vano simple o secciones continuas C o Z se calcularán como a continuación:

(a) Para el eje débil la fuerza nominal [resistencia]

$$P_n = C_1 C_2 C_3 A E / 29500 \quad \text{kips (Newtons)} \quad (\text{Eq. C4.6-1 AISI 2001})$$

ϕ_c (LFRD) = 0.85 USA y México

donde:

$C_1 = (0.79x + 0.54) \quad (\text{Eq. C4.6-2 AISI 2001})$

$C_2 = (1.17x + 0.93) \quad (\text{Eq. C4.6-3 AISI 2001})$

$C_3 = \alpha(2.5b - 1.63d) + 22.8 \quad (\text{Eq. C4.6-4 AISI 2001})$

Para secciones Z:

x = La distancia del conector del borde externo del alma dividida para el ancho del ala es mostrado en la figura C4.6 (AISI 2001).

Para secciones C:

x = El ala de menor ancho la distancia del conector del borde externo del alma dividido para el ancho del ala, es mostrado en la figura C4.6 (AISI 2001)

t = Espesor de secciones C o Z

b = Ancho del ala de secciones C o Z

d = Altura de secciones C o Z

A = Area completa no reducida transversal de la secciones C o Z

E = Modulo de elasticidad del acero

= 29500 ksi para unidades habituales en USA

= 203000 MPa para unidades SI

= 2070000 kg/cm² para unidades MKS

$\alpha = 1$ cuando t, b y d estén en pulgadas

= 0.0394 cuando t, b y d estén en milímetros

= 0.394 cuando t, b y d estén en centímetros

La Ec. 4.6-1 (AISI 2001) se limitara a la cubierta y al sistema de paredes que se encuentran en las condiciones siguientes:

(1) $t \leq 0.125$ pulg. (3.22 mm)

(2) 6 pulg. (152 mm) $\leq d \leq 12$ pulg. (305 mm)

(3) Las alas serán de borde rigidizador en elementos de compresión

(4) $70 \leq d/t \leq 170$

(5) $2.8 \leq d/b \leq 5$

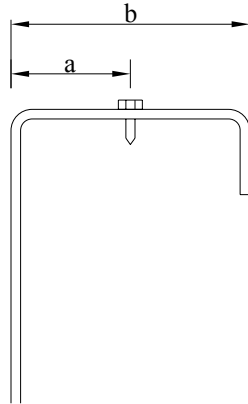
(6) $16 \leq$ ancho libre del ala / $t \leq 50$

(7) Se impedirá el movimiento lateral de ambas alas de los apoyos

(8) Cubiertas de acero o tableros de pared de acero con sujetadores espaciado a 12 pulg. En el centro o menos y que tenga una rigidez mínima con una rotacional lateral de 0.0015 k. / pulg. / pulg. (10300 N / m / m) (sujetadores a media ala para determinación de

- rigidizadores) se determinará por el procedimiento de prueba AISI.
- (9) Secciones C y Z tendrán un mínimo de límite de fluencia de 33 ksi (230 MPa o 2320 kg/cm²)
- (10) La longitud de vano no excederá 33 pies (10 m.)
- (b) Para el eje fuerte el esfuerzo nominal [resistencia], la ecuación que contenidas en la Sección C4 y C4.1 (AISI 2001) de la especificación será usada.

Figura C4.6 Definición de x



Para secciones Z $x = \frac{a}{b}$ (Eq. C4.6-5 AISI 2001)

Para secciones C $x = \frac{b-a}{b}$ (Eq. C4.6- AISI 2001)

Figura 2.7 Figura de definición de x

Nota:

Mas halla de la información sobre el procedimiento de ensayo se debe obtener del “Método de Ensayo de Rigidizadores Rotacional – Lateral para Vigas-Panel Armadas” AISI *Cold-Formed Steel Design Manual, Part VI*.

Combinación de carga axial y flexión

Combinación de tracción axial y flexión

Método LRFD

Los esfuerzos requeridos [tensiones y momentos factorados] \bar{T} , \bar{M}_x , \bar{M}_y satisfaga las siguientes ecuaciones de interacción.

$$\frac{\bar{M}_x}{\phi_b M_{nxt}} + \frac{\bar{M}_y}{\phi_b M_{nyt}} + \frac{\bar{T}}{\phi_t P_n} \leq 1.0 \quad (\text{Eq. C5.1.2-1 AISI 2001})$$

$$\frac{\bar{M}_x}{\phi_b M_{nx}} + \frac{\bar{M}_y}{\phi_b M_{ny}} - \frac{\bar{T}}{\phi_t P_n} \leq 1.0 \quad (\text{Eq. C5.1.2-2 AISI 2001})$$

donde:

\bar{T} = Esfuerzo de tracción axial requerido [tracción factorada]
 $= \bar{T} = T_u$ (LRFD)

\bar{M}_x, \bar{M}_y = Esfuerzo a flexión requerido [momentos factorados] con respecto al eje centroidal
 $\bar{M}_x = M_{ux}, \bar{M}_y = M_{uy}$ (LRFD)

T_n = Esfuerzo axial nominal determinado de acuerdo con la Sección C2 (AISI 2001)

$\bar{M}_{nx}, \bar{M}_{ny}$ = $S_{ft} F_y$

S_{ft} = Modulo de sección de la sección completa no reducida relativo a la fibra extrema de tensión con relación al eje apropiado

ϕ_b = Para esfuerzo a flexión [resistencia]

ϕ_t = 0.95 (LRFD)

Combinación de compresión axial y flexión

Método LRFD

Los esfuerzos requeridos [fuerza axial y momentos requeridos] \bar{P} , \bar{M}_x , \bar{M}_y satisfaga las siguientes ecuaciones de interacción. Adicionalmente, cada relación individual en las ecuaciones C5.2.2-1 a C5.2.2-3 no excederá la unidad.

$$\frac{\bar{P}}{\phi_c P_n} + \frac{C_{mx} \bar{M}_x}{\phi_b M_{nx} \alpha_x} + \frac{C_{my} \bar{M}_y}{\phi_b M_{ny} \alpha_y} \leq 1.0 \quad (\text{Eq. C5.2.2-1 AISI 2001})$$

$$\frac{\bar{P}}{\phi_c P_{no}} + \frac{\bar{M}_x}{\phi_b M_{nx}} + \frac{\bar{M}_y}{\phi_b M_{ny}} \leq 1.0 \quad (\text{Eq. C5.2.2-2 AISI 2001})$$

Cuando $\bar{P} / \phi_c P_n \leq 0.15$, la siguiente ecuación se permitirá ser usado en lugar de las dos ecuaciones anteriores:

$$\frac{\bar{P}}{\phi_c P_n} + \frac{\bar{M}_x}{\phi_b M_{nx}} + \frac{\bar{M}_y}{\phi_b M_{ny}} \leq 1.0 \quad (\text{Eq. C5.2.2-3 AISI 2001})$$

donde :

\bar{P} = Esfuerzo de compresión axial requerido [fuerza de compresión requerido]
 \bar{M}_x, \bar{M}_y = Esfuerzos a flexión requeridos [momentos factorados] con respecto al eje centroidal de la sección efectiva de la sección efectiva determinada por el esfuerzo a compresión requerida [fuerza axial factorada] exclusivamente. Para secciones simétricas simples no rigidizados de ángulos con área efectiva no reducidas, \bar{M}_y se permitirá solo ser tomado como la fuerza del flexión requerida [momento factorado]. Para otras secciones de ángulos o simétricas simples no rigidizadas ángulos para que el área efectiva (A_e) a tensión F_y tiene menor que el área completa no reducida de la sección transversal (A), o \bar{M}_y , se tomará como el mayor esfuerzo a flexión requerida [momento factorado] $(\bar{P}) L / 1000$, resultado en un valor permisible menor de \bar{P} .

$M_x = M_{ux}, M_y = M_{uy}$ (LRFD)

P_n = Esfuerzo axial nominal [resistencia axial] determinado de acuerdo con la Sección C4 y C6 (AISI 2001).

P_{no} = Esfuerzo axial nominal [resistencia axial] determinado de acuerdo con la Sección C4 (AISI 2001), con $F_n = F_y$

M_{nx}, M_{ny} = Esfuerzo nominal a flexión [momento resistente] sobre el eje centroidal determinado de acuerdo con la Sección C3.1 (AISI 2001)

$$\alpha_x = 1 - \frac{P}{P_{Ex}} \quad (\text{Eq. C5.2.2-4 AISI 2001})$$

$$\alpha_y = 1 - \frac{P}{P_{Ey}} \quad (\text{Eq. C5.2.2-5 AISI 2001})$$

$$P_{Ex} = \frac{\pi^2 E I_x}{(K_x L_x)^2} \quad (\text{Eq. C5.2.2-6 AISI 2001})$$

$$P_{Ey} = \frac{\pi^2 E I_y}{(K_y L_y)^2} \quad (\text{Eq. C5.2.2-7 AISI 2001})$$

ϕ_b, ϕ_c = Factores de acuerdo al método LRFD

I_x = Momento de inercia de la sección completa no reducida sobre el eje x

I_y = Momento de inercia de la sección completa no reducida sobre el eje y

L_x = Longitud no arriostrada a flexión sobre el eje x

L_y = Longitud no arriostrada a flexión sobre el eje y

K_x = Factor de longitud efectiva para pandeo sobre el eje x

K_y = Factor de longitud efectiva para pandeo sobre el eje y

C_{mx}, C_{my} = Coeficientes cuyos valores se determinarán como a continuación

1. Para miembros a compresión en marcos sujetos a traslación en la junta
 $C_m = 0.85$

2. Para miembros restringidos a compresión en marcos arriostrados en contra la traslación de juntas y no sujetos a cargas transversales entre sus apoyos en el

plano de flexión.

$$C_m = 0.6 - 0.4 (M_1 / M_2) \quad (\text{Eq. C5.2.2-8 AISI 2001})$$

donde:

M_1 / M_2 es la relación del más pequeño al más grande momento de los extremos de la porción del miembro bajo consideración que es no arriostrado en el plano de flexión. M_1 / M_2 es positivo cuando el miembro está doblado en curvatura inversa y negativo cuando está doblado en sola curvatura.

3. Para miembros a compresión en marcos arriostrados contra la traslación de juntas en el plano de carga y sujeto a cargas de traslación entre sus apoyos, el valor de C_m se permitirá ser determinado por análisis racional (razonable). sin embargo, en lugar del tal análisis, se permitirán ser usados los valores siguientes:

(a) Para miembros que se restrinjan los extremos, $C_m = 0.85$

(b) Para miembros que no se restrinjan los extremos, $C_m = 1.0$

UNIONES Y JUNTAS

Uniones soldadas

El siguiente criterio de diseño es regido por uniones soldadas usadas para miembros estructurales conformados en frío en el que el espesor de la parte conectada más delgada es 3/16 pulg. (4.76 mm) o menor. Para el diseño de uniones soldadas usadas para miembros estructurales conformados en frío en el que el espesor de la parte conectada más delgada es mayor que 0.18 pulg (4.57 mm), consulte las especificaciones o normas estipuladas en la correspondiente Sección E2 del Apéndice A, B, o C.

Soldaduras de ranura en uniones a tope

El esfuerzo nominal [resistencia], P_n , de una soldadura de ranura en uniones de tope, soldado de uno o ambos lados, se determinará como a continuación:

- (a) Tensión o compresión normal al área efectiva o paralela al eje de la suelda.

$$P_n = L t_e F_y \quad (\text{Eq. E2.1-1 AISI 2001})$$

$$\phi (\text{LFRD}) = 0.90 \text{ USA y México}$$

- (b) Corte al área efectiva, el más pequeño de las Ec. Eq. E2.1-2 o Eq. E2.1-3

$$P_n = L t_e 0.6 F_{xx} \quad (\text{Eq. E2.1-2 AISI 2001})$$

$$\phi (\text{LFRD}) = 0.80 \text{ USA y México}$$

$$P_n = L t_e F_y / \sqrt{3} \quad (\text{Eq. E2.1-3 AISI 2001})$$

$$\phi (\text{LFRD}) = 0.90 \text{ USA y México}$$

donde:

P_n = Esfuerzo Nominal [resistencia] de las soldaduras de ranura

F_{xx} = Esfuerzo a tensión de la clasificación del electrodo

F_y = Limite de fluencia de acero de baja resistencia

L = Longitud de suelda

t_e = Distancia efectiva de la garganta de la suelda de ranura

Puntos de soldadura por arco

Los puntos de soldadura por arco permitido en esta Especificación son para soldar planchas de acero o plancha – plancha a los miembros de apoyo más espesos en posición plana. Los puntos de soldadura (charco de suelda) en acero no se hará donde la parte conectada más delgada excede 0.15 pulg. (3.81 mm) en espesor, ni a través de una combinación de hojas de acero que tienen un espesor mayor de 0.15 (3.81 mm).

Las arandelas de suelda, mostradas en las Figuras E2.2-1 y E2.2-2 se usará cuando el espesor de la plancha es menor que 0.028 pulg. (0.711 mm). Las arandelas de sueldas tienen un espesor entre 0.05 pulg. (1.27 mm) y 0.08 pulg. (2.03 mm) con un agujero preperforado mínimo de 3/8

pulg. (9.53 mm) de diámetro. Para aplicaciones en diagramas se deberá usar la Sección D5 (AISI 2001). Las soldaduras de plancha a plancha no requieren arandelas de suelda. Los puntos de soldadura por arco se especifican por un diámetro mínimo de área fundida, d_e . Diámetro mínimo efectivo aceptable es 3/8 pulg. (9.5 mm).

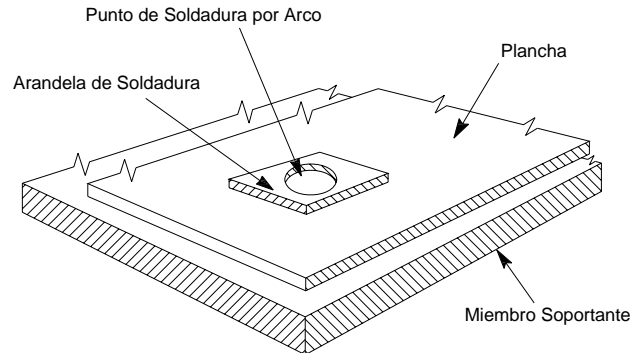


Figura 2.8 Típica arandela de soldadura

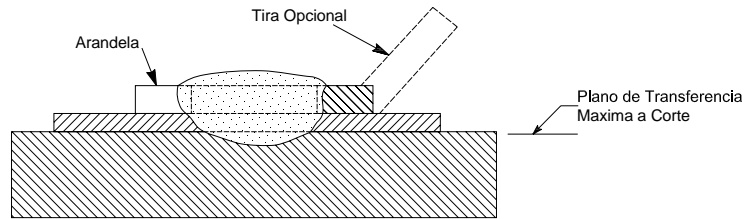


Figura 2.9 Puntos de soldadura por arco usando arandelas

Corte

El esfuerzo nominal a corte [resistencia], P_n , de cada punto de soldadura por arco entre plancha o planchas y miembros de apoyo será determinado usando el más pequeño de ambos.

(a) $P_n = \frac{\pi d_a^2}{4} 0.75 F_{xx}$ (Eq. E2.2.1-1 AISI 2001)

ϕ (LFRD) = 0.60 USA y México

(b) Para $(d_a/t) \leq 0.815 \sqrt{\left(\frac{E}{F_u}\right)}$

$P_n = 2.20 t d_a F_u$

ϕ (LFRD) = 0.70 USA y México

Para $0.815 \sqrt{\left(\frac{E}{F_u}\right)} < (d_a/t) < 1.397 \sqrt{\left(\frac{E}{F_u}\right)}$

$P_n = 0.280 \left[1 + 5.59 \frac{\sqrt{\left(\frac{E}{F_u}\right)}}{d_a/t} \right] t d_a F_u$

ϕ (LFRD) = 0.55 USA y México

Para $(d_a/t) \geq 1.379 \sqrt{\left(\frac{E}{F_u}\right)}$

$P_n = 1.40 t d_a F_u$

ϕ (LFRD) = 0.50 USA y México

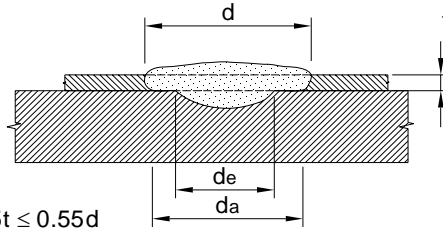
donde:

- P_n = Esfuerzo Nominal a Corte [resistencia] de puntos de soldadura por arco
- d = Diámetro visible de la superficie exterior de puntos de soldadura por arco
- d_a = Diámetro medio de puntos de soldadura por arco a medio espesor de t donde $d_a = (d - t)$ para planchas simples o planchas múltiples no mayor que cuatro planchas sobrepuestas encima del miembro de apoyo.
- d_e = Diámetro efectivo del área fusionada del plano de corte máximo.
= $0.7d - 1.5t \leq 0.55d$
- t = Espesor total combinado de bases de acero (exclusivo de capas) de planchas involucradas en el plano de transferencia de corte máximo.

- F_{xx} = Resistencia a Tensión de la clasificación del electrodo.
 F_u = Esfuerzo a Tensión como lo especificado en la Sección A2.1, A2.2 o A2.3.2 (AISI 2001)
 Nota: Observe las figuras E2.2.1-1 y E2.2.1-2 (AISI 2001) para definición de diámetros

Distancia mínima de borde

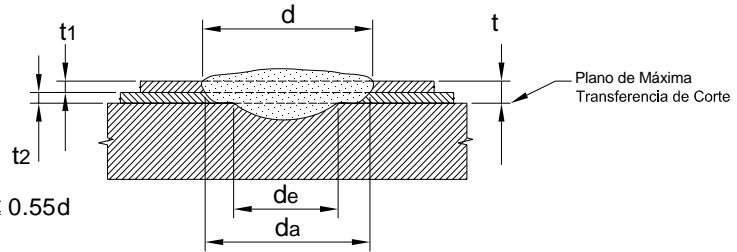
La distancia medida en la línea de fuerza desde la línea centro de una soldadura al borde más cercano de soldadura adyacente o al extremo de la conexión de la parte conectada en dirección hacia la fuerza estará menos del valor de e_{min} como dado debajo



$$d_e = 0.7d - 1.5t \leq 0.55d$$

$$d_a = d - t$$

Figura 2.10 Puntos de soldadura por arco - Espesor Simple de Planchas



$$d_e = 0.7d - 1.5t \leq 0.55d$$

$$d_a = d - t$$

Figura 2.11 Puntos de soldadura por arco - Espesor Doble de Planchas

$$e_{min} = \frac{P_u}{\phi F_u t} \quad \text{Para LRFD} \quad (\text{Eq. E2.2.1-6b AISI 2001})$$

Cuando $F_u / F_{sy} \geq 1.08$

ϕ (LRFD) = 0.70 USA y México

Cuando $F_u / F_{sy} < 1.08$

ϕ (LRFD) = 0.60 USA y México

donde:

P_u = Esfuerzo requerido [fuerza nominal] transmitido por la soldadura

t = Espesor total de la combinación de bases de acero (exclusivo de capas) de planchas i de planchas involucradas en el plano de transferencia de corte máximo.

F_{sy} = Límite de fluencia como lo especificado en la Sección A2.1, A2.2 o A2.3.2 (AISI 2001)

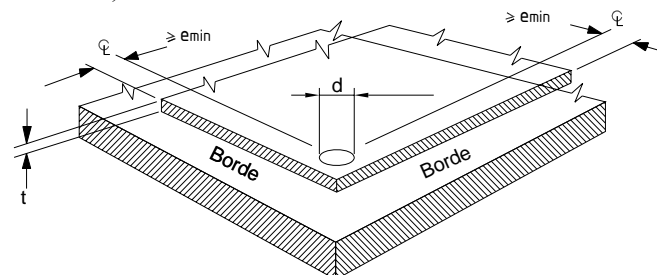


Figura 2.12 Distancia de Borde para Puntos de soldadura por arco – Plancha Simple

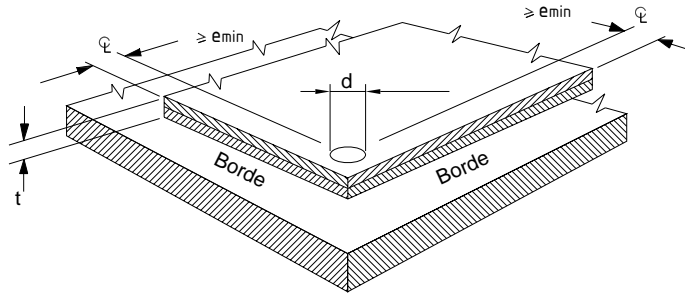


Figura 2.13 Distancia de Borde para Puntos de soldadura por arco – Plancha Doble

Nota: Mire las figuras E2.2.1-3 y E2.2.1-4 (AISI 2001) para distancias de borde de soldadura de arco.

Adicionalmente, la distancia desde el línea centro de cualquier soldadura del extremo o del borde del miembro conectado no será menor que 1.5 d. En ningún caso la distancia libre entre soldaduras y el extremo del miembro será menor que 1.0 d.

Esfuerzo a corte [resistencia] para plancha(s) soldada al miembro de apoyo mas espeso

El esfuerzo nominal a corte [resistencia], P_n , de cada punto de soldadura por arco entre plancha o planchas al miembro apoyo mas espeso se determinará usando el mas pequeño de

(a) $P_n = \frac{\pi d_e^2}{4} 0.75 F_{XX}$ (Eq. E2.2.1.2-1 AISI 2001)

ϕ (LFRD)= 0.60 USA y México

(b) Para $(d_a/t) \leq 0.815 \sqrt{(E/F_u)}$

$P_n = 2.20t d_a F_u$ (Eq. E2.2.1.2-2 AISI 2001)

Para $0.815 \sqrt{(E/F_u)} < (d_a/t) < 1.397 \sqrt{(E/F_u)}$

$P_n = 0.280 \left[1 + 5.59 \frac{\sqrt{(E/F_u)}}{d_a/t} \right] t d_a F_u$ (Eq. E2.2.1.2-3 AISI 2001)

ϕ (LFRD)= 0.55 USA y México

Para $(d_a/t) \geq 1.397 \sqrt{(E/F_u)}$

$P_n = 1.40t d_a F_u$ (Eq. E2.2.1.2-4 AISI 2001)

ϕ (LFRD)= 0.50 USA y México

donde:

P_n = Esfuerzo nominal acorte [resistencia] de la soldadura de punto por arco

d = Diámetro visible de la superficie externa de la soldadura de punto por arco

d_a = Diámetro promedio de la soldadura de punto por arco a medio espesor de t donde $d_a = (d - t)$ para planchas simples o múltiples planchas no mayor que cuatro planchas sobrepuestas encima del miembro de apoyo.

d_e = Diámetro efectivo del área de fusión al plano de transferencia a corte máximo

$= 0.7d - 1.5t \leq 0.55d$ (Eq. E2.2.1.2-5 AISI 2001)

t = Espesor unido base total de acero (exclusivo de capas) de planchas envueltas en transferencia de corte sobre el plano de transferencia a corte máximo

F_{XX} = Esfuerzo a tensión de la clasificación del electrodo

F_u = Esfuerzo de tensión como esta especificado en la Sección A2.1, A2.2 o A2.3.2 (AISI 2001)

Nota: Mire las figuras E2.2.2-1 y E2.2.1.2-2 para la definición de los diámetros.

Esfuerzo a corte [resistencia] para uniones plancha a plancha.

El esfuerzo nominal a corte [resistencia] para cada soldadura entre dos planchas de igual espesor se determinará como a continuación:

$$P_n = 1.65 t d_a F_u$$

$$\phi \text{ (LFRD)} = 0.70 \text{ USA y México}$$

$$F_u \leq 59 \text{ ksi (407 MPa o 4150 kg/cm}^2\text{)}$$

$$F_{xx} > F_u$$

$$0.028 \text{ pulg. (0.71 mm.)} \leq t \leq 0.0635 \text{ pulg. (1.61 mm.)}$$

Nota: Mire la Figura E2.2.2.1.3-1(AISI 2001) para definición de diámetros.

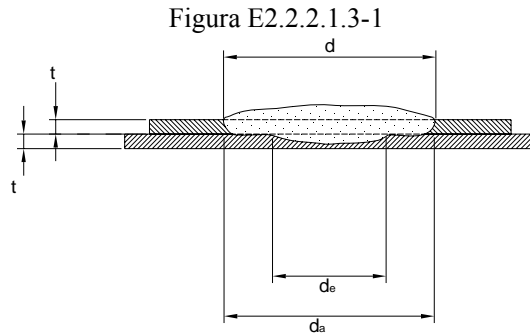


Figura 2.14 Puntos de soldadura por arco – Plancha a Plancha

Tensión

La elevación del esfuerzo nominal a tensión [resistencia], P_n , de cada unión de punto de soldadura por arco de planchas y miembros de apoyo cargadas concéntricamente, se calculará como el menor de cualquiera de los siguientes:

$$P_n = \frac{\pi d_e^2}{4} F_{xx} \quad (\text{Eq. E2.2.2-1 AISI 2001})$$

o

$$P_n = 0.8(F_u/F_y)^2 t d_a F_u \quad (\text{Eq. E2.2.2-2 AISI 2001})$$

Para aplicaciones de paneles y tableros

$$\phi \text{ (LFRD)} = 0.60 \text{ USA y México}$$

Para todas las otras aplicaciones

$$\phi \text{ (LFRD)} = 0.50 \text{ USA y México}$$

Se aplicarán las siguientes aplicaciones:

$$t d_a F_u \leq 3 \text{ kips (13.34 kN)}$$

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

$$F_{xx} \geq 60 \text{ ksi (410 MPa o 4220 kg/cm}^2\text{)}$$

$$F_u \leq 82 \text{ ksi (565 MPa o 5770 kg/cm}^2\text{)}$$

$$F_{xx} > F_u$$

Todos los otros parámetros están definidos anteriormente

Para cargas excéntricas para puntos de soldadura por arco sujetas a un aumento de carga de tensión, el esfuerzo nominal a tensión [resistencia] se tomará como el 50% del valor anterior.

Para uniones que tengan múltiples planchas, el esfuerzo [resistencia] se determinará por el uso de la suma de espesores como lo dado por la Ecuación E2.2.2-2 (AISI 2001).

En el lado de una unión solapada dentro de un sistema de tableros, el esfuerzo nominal [resistencia] de la unión de soldadura será el 70 % del valor anterior.

Soldaduras de filete

Las soldaduras del filete cubiertas por esta especificación se aplican a las soldaduras de juntas en cualquier posición, uno u otro.

- (a) Plancha a plancha
- (b) Plancha a al miembro de acero mas espeso

El esfuerzo nominal a corte nominal a corte [resistencia], P_n , de una soldadura de filete se determinará como a continuación.

(a) Para carga longitudinal:

Para $L/t < 25$:

$$P_n = \left(1 - \frac{0.01L}{t}\right) LtF_u \quad (\text{Eq. E2.4-1 AISI 2001})$$

ϕ (LFRD) = 0.60 USA y México

Para $L/t \geq 25$:

$$P_n = 0.75 tLF_u \quad (\text{Eq. E2.4-2 AISI 2001})$$

ϕ (LFRD) = 0.50 USA y México

(b) Para carga transversal

$$P_n = tLF_u \quad (\text{Eq. E2.4-3 AISI 2001})$$

donde:

t = valor menor de t_1 o t_2 , como lo mostrado en las figuras 2.9 y 2.10

Adicionalmente, para $t > 0.10$ pulg. (2.54 mm.), el esfuerzo nominal [resistencia] determinado anteriormente no excederá el siguiente valor de P_n :

$$P_n = 0.75 t_w LF_{xx} \quad (\text{Eq. E2.4-4 AISI 2001})$$

ϕ (LFRD) = 0.60 USA y México

donde:

P_n = Esfuerzo nominal [resistencia] de la soldadura de filete

L = Longitud de la soldadura de filete

t_w = Garganta efectiva = $0.707 w_1$ o $0.707 w_2$, es el mas pequeño cualquiera sea. Una garganta efectiva más grande se permitirá si las muestras de la medida que el procedimiento de la soldadura a ser usado de forma consistente rinde un valor más grande de t_w .

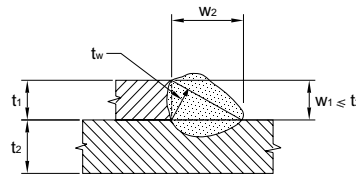


Figura 2.15 Soldadura de filete – unión solapada

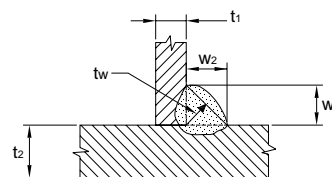


Figura 2.16 Soldadura de filete – unión T

w_1 y w_2 = soldadura de canto (mire las figuras E2.4-2 AISI 2001). $w_1 \leq t_1$ en uniones solapadas. F_u y F_{xx} son definidos en la Sección E2.2.1. AISI 2001

Soldaduras de ranura biselada

Las soldaduras de ranura biseladas cubiertas por esta especificación aplicadas a soldaduras de uniones en cualquier posición, uno u otro.

- (a) Plancha a plancha para soldadura de ranura biselada – V, o
- (b) Plancha a plancha para soldadura de ranura biselada – V, o
- (c) Plancha al miembro de acero más espeso para soldaduras de ranura biselada

La resistencia nominal a corte [resistencia], P_n , de una soldadura de ranura biselada se determinará como a continuación:

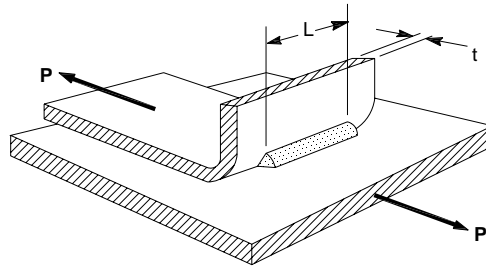


Figura 2.17 Soldadura de ranura biselada

- (a) Para soldadura de ranura biselada, carga transversal (mire la figura 2.11)
 $P_n = 0.833tLF_u$ (Eq. E2.5-1 AISI 2001)
 ϕ (LFRD) = 0.60 USA y México

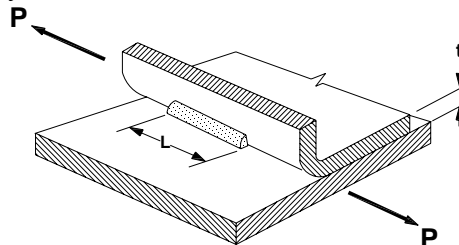


Figura 2.18 Cortante en soldadura de ranura biselada

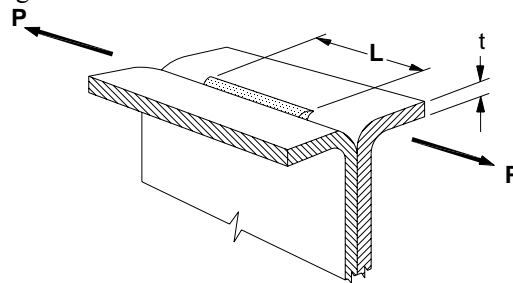


Figura 2.19 Cortante en soldadura de ranura biselada – V

- (b) Para soldaduras de ranura biselada, carga longitudinal (mire la figura 2.12 a través de la figura 2.17):

- (1) Para $t \leq t_w < 2t$ o si la altura del labio, h, es mayor o igual que la longitud de suelda L:
 $P_n = 0.75tLF_u$ (Eq. E2.5-2 AISI 2001)

ϕ (LFRD) = 0.55 USA y México

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

$$P_n = 1.50tLF_u \quad (\text{Eq. E2.5-3 AISI 2001})$$

ϕ (LFRD) = 0.55 USA y México

Adicionalmente, para $t > 0.10$ pulg. (2.54 mm), el esfuerzo nominal [resistencia] determinado anteriormente no deberá exceder el siguiente valor de P_n :

$$P_n = 1.50t_wLF_{XX} \quad (\text{Eq. E2.5-3 AISI 2001})$$

ϕ (LFRD) = 0.55 USA y México

donde:

P_n = Limite del esfuerzo nominal [resistencia] de suelda

h = Altura del labio

L = Longitud de suelda

t_w = garganta eficaz de la soldadura de ranura biselada emparejada a la superficie (mire las figuras 10.4 y 10.5):

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

Para soldadura de ranura biselada-V = $1/2R$ ($3/8R$ cuando $R > 1/2$ pulg. (12.7 mm.))

= Garganta efectiva de soldadura de ranura biselada no llena emparejada a la

superficie = $0.707 w_1$ o $0.707 w_2$, cualquiera el mas pequeño (mire las figuras 2.16 y 2.17)

= Una garganta efectiva más grande que los anteriores se permitirá si las muestras de la medida que el procedimiento de la soldadura a ser usado de forma consistente rinde un valor más grande de t_w .

= Radio externo de la curvatura de la superficie.

= Extensión de suelda (mire las figuras 2.16 y 2.17)

= son definidos anteriormente.

R
 w_1 y w_2
 F_u y F_{XX}

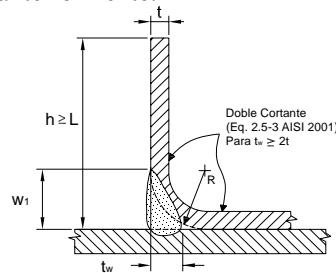


Figura 2.20 Soldadura de ranura biselada
 (La soldadura está emparejada al nivel de la superficie $w_1=R$)

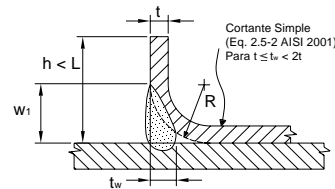


Figura 2.21 Soldadura de ranura biselada
 (La soldadura está emparejada al nivel de la superficie $w_1=R$)

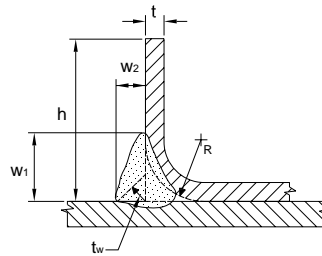


Figura 2.22 Soldadura de ranura biselada
 (La soldadura no está emparejada al nivel de la superficie $w_1 > R$)

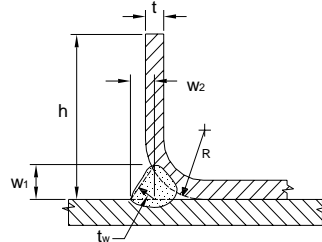


Figura 2.23 Soldadura de ranura biselada
 (La soldadura está emparejada al nivel de la superficie $w_1=R$)

Uniones emperradas

Los siguientes criterios de diseño y los requerimientos estipulados en la Sección E3.a del Apéndice A, B y C (AISI 2001) regidas por uniones usadas para miembros estructurales conformadas en frío es menor que 3/16 pulg. (4.76 mm.) Para uniones emperradas en la que el espesor mas delgado de la parte unidad es igual o mayor que 3/16 pulg. (4.76 mm.), refiérase a

las especificaciones y estándares estipulados en Sección E3a del Apéndice A, B y C.
 Pernos, tuercas y arandelas generalmente conforme a uno las especificaciones siguientes:
 ASTM A194/A194M, Carbón y Aleación de Acero Tuercas para Pernos para Alta Presión Servicio de Alta Temperatura
 ASTM A307 (Type A), Pernos y Montantes de Acero al Carbono, 60,000 PSI Esfuerzo a Tensión
 ASTM A325M, Pernos Estructurales, Acero, Tratados Térmicamente, 120/105 ksi Esfuerzo a Tensión Mínimo.
 ASTM A354 (Grade BD), Pernos y Montantes de Aleados de Acero Apagados y Templados y Otros Sujetadores Enhebrados Externamente (para diámetros de pernos menores que ½ pulg.)
 ASTM A490, Pernos Tratados Térmicamente, 150 ksi Esfuerzo a Tensión Mínimo
 ASTM A490M, Pernos Tratados Térmicamente, Clase 10.9 y 10.9.3 Para Juntas Estructurales [Metric]
 ASTM A563, Tuercas de Acero Aleadas de Carbono
 ASTM A563M, Tuercas de Acero Aleadas de Carbono [Metric]
 ASTM F463, Arandelas de Acero Endurecidas
 ASTM F463M, Arandelas de Acero Endurecidas [Metric]
 ASTM F844, Arandelas de Acero Planas, No Endurecidas para Uso General
 ASTM F959, Arandelas - Tipo Comprimbiles con indicadores de Tensión para uso como en sujetadores Estructurales
 ASTM F959M, Arandelas - Tipo Comprimbiles con indicadores de Tensión para uso como en sujetadores Estructurales [Metric]
 Cuando se usa otra cosa que los anteriores, los dibujos indicarán el tipo y tamaño de sujetadores a ser empleados claramente y el esfuerzo nominal se asumirá en el diseño.
 Se instalará los pernos y se apretarán para lograr actuación satisfactoria de las uniones.

Cortante, espaciamiento y distancia de borde

Los requerimientos de esta sección se dan en las Sección E3.1 (AISI 2001) de los Apéndices.

Fractura en la sección neta (corte retrasado)

Los requerimientos de esta sección se dan en las Sección E3.1 (AISI 2001) de los Apéndices.

Apoyos

El esfuerzo de diseño de los apoyos [resistencia factorada] de uniones empernadas se determinará de acuerdo a la Sección E3.3.1. y E3.3.2. (AISI 2001). Para condiciones no mostradas, el esfuerzo de diseño del apoyo [resistencia factorada] de uniones empernadas se determinara por ensayos.

Esfuerzo [Resistencia] sin la consideración de la deformación del agujero del perno

Cuando la deformación alrededor del agujero del perno no es diseñada con esta consideración, el esfuerzo nominal del apoyo [resistencia], P_n , de las planchas unidas para cada perno de carga se determinará como a continuación:

$$P_n = m_f C d t F_u \quad (\text{Eq. E3.3.1-1 AISI 2001})$$

ϕ (LFRD)= 0.60 USA y México

donde

- C = Factor de apoyo que se determinará según la Tabla E3.3.1-1 (AISI 2001)
- d = Diámetro nominal del perno
- t = Espesor no recubierto de la plancha
- F_u = Esfuerzo a tensión de plancha como lo definido en la Sección A2.1 o A2.2 (AISI 2001)

m_f = Factor de modificación por tipo de unión de apoyo, que se determinará según la Tabla E3.3.1-2 (AISI 2001)

Tabla E3.3.1-1

Espesor de la parte conectada, t, pulg. (mm)	Relación del Sujetador Diámetro a Espesor del Miembro, d/t	C
0.024 ≤ t < 0.1875 (0.61 ≤ t < 4.76)	d/t < 10	3.0
	10 ≤ d/t ≤ 22	4 - 0.1(d/t)
	d/t > 22	1.8

Tabla 2.12 Tabla de Factor de Apoyo C

Tabla E3.3.1-2

Tipo de Apoyo Unión	m_f
Uniones de cortante simple y planchas externas de doble cortante con arandelas ambos bajo la cabeza del perno y la tuerca	1.00
Uniones de cortante simple y planchas externas de doble cortante sin arandelas ambos bajo la cabeza del perno y la tuerca, o únicamente con una arandela	0.75
Dentro de la plancha de unión de corte doble con o sin arandelas	1.33

Tabla 2.13 Factor de Modificación, m_f , para uniones tipo apoyo

Esfuerzo [Resistencia] con la consideración de la deformación del agujero del perno

Cuando la deformación alrededor del agujero del perno es diseñada con esta consideración, el esfuerzo nominal del apoyo [resistencia], P_n , también se limitará por los siguientes valores:

$$P_n = (4.64\alpha t + 1.53)dtF_u \quad (\text{Eq. E3.3.2-1 AISI 2001})$$

$$\phi (\text{LFRD}) = 0.65 \quad \text{USA y México}$$

donde:

- α = Coeficiente para unidades de conversión
- = 1 para unidades americanas acostumbradas (con t en pulg.)
- = 0.0394 para sistema de unidades SI (con t en mm.)
- = 0.394 para el sistema de unidades MKS (con t en cm.)
- Los otros términos están anteriormente definidos

Uniones atornilladas

Todos los requerimientos de uniones atornilladas se aplican a los tornillos con 0.08 pulg. (2.03 mm.) ≤ d ≤ 0.25 pulg. (6.35 mm.). Los tornillos serán de hilo – formado o hilo - cortado, con o sin punto de auto taladrado. Se instalarán los tornillos y se apretarán de acuerdo con las recomendaciones de los fabricantes.

El esfuerzo nominal de conexión del tornillo también será limitado a través por la Sección C2 (AISI 2001).

Para aplicaciones en diagramas, se usará la Sección D5 (AISI 2001).

El siguiente factor de seguridad o factor de resistencia se usará para las Sub secciones de la Sección E4 (AISI 2001), exceptúe por otra parte como indica.

$$\phi (\text{LFRD}) = 0.50 \quad \text{USA y México}$$

Alternativamente, se permitirán valores basados en pruebas para el diseño en aplicaciones particulares, con factor de seguridad y resistencia, f, determinado de acuerdo al Capítulo F.

La siguiente notación es aplicable para uniones atornilladas.

- d = Diámetro nominal del tornillo.
- d_w = Diámetro mas grande de la cabeza o diámetro de la arandela.
- P_{ns} = Esfuerzo nominal a corte [resistencia] por el tornillo.
- P_{ss} = Esfuerzo nominal a corte [resistencia] del tonillo informado por el fabricante o

	determinado por comprobación de un laboratorio independiente.
P_{not}	=Esfuerzo nominal a arrancamiento [resistencia] por el tornillo.
P_{nov}	=Esfuerzo nominal a aplastamiento [resistencia] por el tornillo.
P_{ts}	=Esfuerzo nominal a tensión [resistencia] del tornillo informado por el fabricante o determinado por comprobación de un laboratorio independiente.
t_1	=Espesor del miembro en contacto con la cabeza del tornillo.
t_2	=Espesor del miembro que no está en contacto con la cabeza del tornillo.
t_c	=Altura menor de penetración y espesor t_2 .
F_{u1}	=Esfuerzo de tensión del miembro en contacto con la cabeza del tornillo
F_{u2}	=Esfuerzo de tensión del miembro que no está en contacto con la cabeza del tornillo.

Espaciamiento mínimo

La distancia mínima entre el centro de sujetadores no deberá ser menor que 3d.

Distancias mínimas a los bordes y a los extremos

La distancia entre el centro de un sujetador a el borde de cualquier parte no deberá ser menor que 1.5d. Si la distancia del extremo es paralela a la fuerza en el sujetador, la resistencia nominal a corte para el tornillo, P_{ns} , será limitada por la Sección E4.3.2. (AISI 2001).

Corte

Conexiones sometidas a corte limitada por la inclinación y apoyo

El esfuerzo nominal a corte [resistencia] por tornillo, P_{ns} , se determinará como a continuación:

Para $t_2/t_1 \leq 1.0$, P_{ns} se tomará como el menor de

$$P_{ns} = 4.2(t_2^3)^{1/2} F_{u2}$$

(Eq. E4.3.1-1 AISI 2001)

$$P_{ns} = 2.7 t_1 d F_{u1}$$

(Eq. E4.3.1-2 AISI 2001)

$$P_{ns} = 2.7 t_2 d F_{u2}$$

(Eq. E4.3.1-3 AISI 2001)

Para $t_2/t_1 \geq 2.5$, P_{ns} se tomará como el menor de

$$P_{ns} = 2.7 t_1 d F_{u1}$$

(Eq. E4.3.1-4 AISI 2001)

$$P_{ns} = 2.7 t_2 d F_{u2}$$

(Eq. E4.3.1-5 AISI 2001)

Para $1.0 < t_2/t_1 < 2.5$, P_{ns} se determinará por una interpolación lineal entre los dos anteriores casos.

Conexiones sometidas a corte limitada por la distancia del extremo

Los requisitos de esta sección se dan en la Sección E4.3.2 (AISI2001) de los Apéndices.

Corte en los tornillos

La resistencia nominal a corte [resistencia] de los tornillos se tomará como a continuación:

$$P_{ns} = 0.8P_{ss}$$

(Eq. E4.3.3-1 AISI 2001)

En lugar del valor proporcionado en Sección E4, el factor de seguridad o factor de resistencia se permitirá ser determinado de acuerdo con sección F1 y se tomará como

$$\phi / 1.25 \geq 0.50 \text{ (LRFD)}$$

Tensión

Para tornillos que llevan tornillos, la cabeza del tornillo o la arandela, si se proporciona arandela, deberá tener un diámetro d_w no menor que 5/16 pulg. (7.94 mm.). Las arandelas

deberán tener un espesor de por lo menos 0.050pulg. (1.27 mm.) de espesor.

Arrancamiento

El esfuerzo nominal al arrancamiento [resistencia], P_{not} , se calculará como a continuación:

$$P_{not} = 0.85 t_c d F_{u2} \quad (Eq.E4.4.4.1-1 AISI 2001)$$

Aplastamiento

El esfuerzo nominal al aplastamiento [resistencia], P_{nov} , se calculará como a continuación:

$$P_{nov} = 1.5 t_1 d_w F_{u1} \quad (Eq.E4.4.4.2-1 AISI 2001)$$

donde:

d_w se tomará no mayor que ½ pulg. (12.7 mm.).

Tensión en los tornillos

El esfuerzo nominal en los tornillos [resistencia], P_{nt} , por tornillo se deberá calcular como a continuación.

$$P_{nt} = 0.8 P_{ts} \quad (Eq.E4.4.4.3-1 AISI 2001)$$

Combinación de cortante y aplastamiento

Método LRFD y LSD

Para uniones empernadas sujetas a combinación de fuerzas de corte y tensión los deberán cumplir los siguientes requerimientos.

$$\frac{\bar{Q}}{P_{ns}} + 0.71 \frac{\bar{T}}{P_{nov}} \leq 1.10\phi \quad (Eq.E4.5.2-1 AISI 2001)$$

Adicionalmente, \bar{Q} y \bar{T} no deberá exceder el esfuerzo de diseño correspondiente determinado por la Sección E4.3 y E4.4, respectivamente.

donde:

P_{ns} = Esfuerzo nominal a corte [resistencia] de la unión

$$= 2.7 t_1 d F_{u1}$$

P_{nov} = Esfuerzo nominal al aplastamiento [resistencia] de la unión

$$= 1.5 t_1 d_w F_{u1}$$

\bar{T} = Esfuerzo a tensión requerida [fuerza de tensión factorada] de la unión

$$\bar{T} = T_u \quad \text{para LRFD}$$

$$\bar{T} = T_f \quad \text{para LSD}$$

\bar{Q} = Esfuerzo nominal a corte [fuerza factorada a corte] de la unión

$$\bar{Q} = V_u \quad \text{para LRFD}$$

$$\bar{Q} = V_f \quad \text{para LSD}$$

ϕ = 0.65 (LRFD)

$$= 0.55 \text{ (LSD)}$$

La Eq. E4.5.2-1(AISI 2001) es valida para uniones del conjunto de los siguientes límites:

- (1) 0.0285 pulg. (0.724 mm.) $\leq t_1 \leq$ 0.0445 pulg. (1.13 mm.)
- (2) No. 12 y No. 14 tornillos auto taladradores con o sin arandela
- (3) $d_w \leq$ 0.75pulg. (19.1 mm)
- (4) $F_{u1} \leq$ 70 ksi (483 MPa o 4920 kg/cm²)
- (5) $t_2/t_1 \geq$ 2.5

Para cargas excéntricas en uniones esto produce un aplastamiento no – uniforme en el sujetador, el esfuerzo nominal al aplastamiento se tomara como el 50% de P_{nov} .

DESARROLLO DEL TRABAJO

Estudio de las Especificaciones North American Specification for the Design of Cold – Formed Steel Structural Members, 2001

Las North American Specification for the Design of Cold – Formed Steel Structural Members, 2001, son de mucha ayuda para el diseño de estructuras con perfiles de acero conformados en frío puesto que en nuestro país no contamos con especificaciones de esta naturaleza, que garanticen el diseño de estas estructuras. En el estudio de las especificaciones se puede apreciar que al igual factores de seguridad y coeficientes de diseño tienen cierta variación en comparación a los utilizados por las normas AISC.

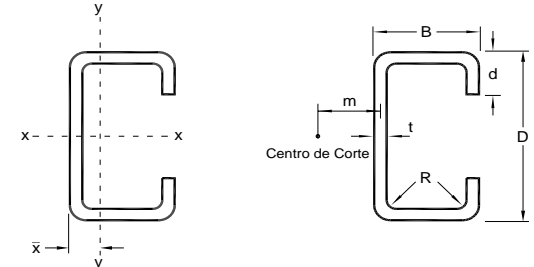
Propiedades geométricas de una sección

Las propiedades geométricas de una sección transversal de un elemento estructural son de gran importancia para su diseño, ya que el diseño está basado básicamente en dichas propiedades. Es entonces necesario determinar las propiedades geométricas de los perfiles conformados en frío de producción nacional para un adecuado uso y diseño de estructuras con la utilización de estos perfiles metálicos.

Propiedades resistentes de una sección

Una vez que se obtengan las propiedades geométricas es necesario determinar sus propiedades resistentes las mismas que son indispensables para el método de diseño de los diferentes elementos basados en las propiedades geométricas antes obtenidas.

PERFILES ESTRUCTURALES C CON BORDES RIGIDIZADORES (G)
 CONFORMADOS EN FRÍO
 BAJO NT INEN 1623:2000
 ELABORADO POR : JOSÉ LUIS ALLAUCA



ID	Dimensiones							Propiedades de la Sección Completa												
	D	B	t	d	R	Area	W/m	Eje x-x			Eje y-y				m	J	C _w	j	r _o	x _o
								I _x	S _x	r _x	I _y	S _y	r _y	x̄						
mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	cm. ²	kg.	cm. ⁴	cm. ³	cm	cm. ⁴	cm. ³	cm	cm	cm.	cm. ⁴	cm. ⁶	cm.	cm.	cm.
G175X75X30X6	175.00	75.00	6.00	30.00	12.00	20.11	15.81	881.408	100.732	6.62	143.111	29.011	2.67	2.57	3.59	2.414	11435.304	10.23	9.23	-5.86
G200X50X15X2	200.00	50.00	2.00	15.00	3.00	6.30	4.95	351.496	35.150	7.47	18.324	4.828	1.71	1.21	1.95	0.084	1503.138	11.72	8.25	-3.06
G200X50X15X3	200.00	50.00	3.00	15.00	4.50	9.23	7.25	502.600	50.260	7.38	24.898	6.556	1.64	1.20	1.89	0.277	2085.658	12.23	8.11	-2.95
G200X50X15X4	200.00	50.00	4.00	15.00	6.00	12.01	9.44	637.632	63.763	7.29	29.880	7.859	1.58	1.20	1.84	0.641	2568.376	12.84	7.98	-2.83
G200X50X15X5	200.00	50.00	5.00	15.00	7.50	14.64	11.51	756.863	75.686	7.19	33.368	8.767	1.51	1.19	1.78	1.220	2960.298	13.60	7.83	-2.72
G200X75X25X4	200.00	75.00	4.00	25.00	6.00	14.81	11.64	880.979	88.098	7.71	107.805	20.780	2.70	2.31	3.39	0.790	9593.285	11.16	9.85	-5.50
G200X75X25X5	200.00	75.00	5.00	25.00	7.50	18.14	14.26	1058.603	105.860	7.64	126.148	24.273	2.64	2.30	3.33	1.512	11319.657	11.30	9.71	-5.38
G200X100X25X5	200.00	100.00	5.00	25.00	7.50	20.64	16.22	1296.259	129.626	7.92	260.057	38.664	3.55	3.27	4.55	1.720	22647.415	12.34	11.52	-7.58
G200X75X30X6	200.00	75.00	6.00	30.00	12.00	21.61	16.99	1219.628	121.963	7.51	150.282	29.519	2.64	2.41	3.45	2.594	14938.043	11.44	9.71	-5.56
G250X75X25X4	250.00	75.00	4.00	25.00	6.00	16.81	13.21	1500.582	120.047	9.45	115.663	21.266	2.62	2.06	3.16	0.897	15462.885	14.01	11.01	-5.02
G250X100X25X5	250.00	100.00	5.00	25.00	7.50	23.14	18.19	2185.941	174.875	9.72	280.450	39.763	3.48	2.95	4.29	1.928	36643.065	14.41	12.47	-6.99
G250X100X30X6	250.00	100.00	6.00	30.00	12.00	27.61	21.70	2549.992	203.999	9.61	336.557	48.495	3.49	3.06	4.43	3.314	47492.629	14.62	12.50	-7.19
G300X100X30X4	300.00	100.00	4.00	30.00	6.00	21.21	16.67	2828.523	188.568	11.55	269.948	37.639	3.57	2.83	4.31	1.131	51075.492	16.58	13.94	-6.94
G300X100X35X5	300.00	100.00	5.00	35.00	7.50	26.64	20.94	3509.089	233.939	11.48	344.915	48.924	3.60	2.95	4.44	2.220	68146.984	16.46	13.99	-7.14
G300X100X35X6	300.00	100.00	6.00	35.00	12.00	31.21	24.53	4026.250	268.417	11.36	385.270	54.432	3.51	2.92	4.38	3.746	78468.817	17.02	13.80	-7.00

Diseño de elementos a Tensión

Ejemplo 1.

Determine la resistencia de diseño por tensión de una C50x25x2 con dos líneas de tornillos de $\frac{3}{4}$ pulg. (19.05 mm) en el alma usando acero ASTM A36 ($F_y = 2536,369 \text{ kg/cm}^2$, $F_u = 4086,372 \text{ kg/cm}^2$) bajo las especificaciones AISC y AISI con tres tornillos en cada línea con una separación de los tornillos de 50 mm.

Solución.

Para una C50x25x2

$$A_g = 1.85 \text{ cm}^2, t = 2 \text{ mm} = 0.20 \text{ cm}, \bar{x} = 0.72 \text{ cm}$$

AISC

Por fluencia:

$$P_n = A_g F_y \quad (\text{Eq. D2-1 AISC 2005})$$

$$\phi_t (\text{LFRD}) = 0.90$$

$$P_n = 0.90 * 1.85 * 2536.369 = 4223.05 \text{ kg.} = 4.22 \text{ T}$$

Por cortante:

$$P_n = A_e F_u \quad (\text{Eq. D2-2 AISC 2005})$$

$$\phi_t (\text{LFRD}) = 0.75$$

$$A_e = U * A_n \quad (\text{2.1-1 LRFD 2000})$$

$$A_n = A_g - A_{\text{pernos}}$$

$$A_{\text{pernos}} = 2\left(\frac{3}{4} \text{ pulg} + \frac{1}{16} \text{ pulg}\right) * t \text{ (pulg)} \quad (\text{D3.2 AISC 2005})$$

$$A_{\text{pernos}} = 2(1.905 \text{ cm} + 0.158 \text{ cm}) * 0.20 \text{ cm} = 0.825 \text{ cm}^2$$

$$A_n = 1.85 - 0.825 = 1.025 \text{ cm}^2$$

$$U = 1 - \frac{\bar{x}}{L} \leq 0.90 \quad (\text{2.1-2 LRFD 2000})$$

L = distancia entre el primero y el último tornillo

$$U = 1 - (0.72/10) = 0.928 \text{ por lo tanto } U = 1.0$$

Pero U no será menor que 0.60

$$A_e = 1.0 * 1.025 = 1.025 \text{ cm}^2$$

$$P_n = 0.75 * 1.025 * 4086.372 = 3141.398 \text{ kg} = 3.14 \text{ T} \quad \text{rige este valor}$$

AISI

Por fluencia:

$$P_n = A_g F_y \quad (\text{Eq. D2-1 AISC 2005})$$

$$\phi_t (\text{LFRD}) = 0.90$$

$$P_n = 0.90 * 1.85 * 2536.369 = 4223.054 \text{ kg.} = 4.22 \text{ T}$$

Por cortante sin la unión del extremo:

$$P_n = A_n F_u \quad (\text{Eq. D2-2 AISC 2005})$$

$$\phi_t (\text{LFRD}) = 0.75$$

$$A_n = A_g - A_{\text{pernos}}$$

$$A_{\text{pernos}} = 2(1.905 \text{ cm} + 0.158 \text{ cm}) * 0.20 \text{ cm} = 0.825 \text{ cm}^2$$

$$A_n = 1.85 - 0.825 = 1.025 \text{ cm}^2$$

$$P_n = 0.75 * 1.025 * 4086.372 = 3141.398 \text{ kg.} = 3.14 \text{ T}$$

Por cortante en la unión del extremo:

$$P_n = A_e F_u \quad (\text{Eq. E3.2-1 AISI 2001})$$

$$\phi_t (\text{LFRD}) = 0.65$$

$$A_e = U * A_n \quad (\text{E3.2-3 AISI 2001})$$

$$U = 1.0 - 0.36 \frac{\bar{x}}{L} < 0.9 \quad (\text{Eq. 3.2-10 AISI 2001})$$

Pero U no será menor que 0.50

$$U = 1.0 - 0.36 (0.72/10) = 0.97 > 0.9 \text{ por lo tanto } U = 1.0$$

$$A_n = A_g - A_{\text{pernos}}$$

$$A_{\text{pernos}} = 2(3/4 \text{ pulg} + 1/16 \text{ pulg}) * t \text{ (pulg)}$$

$$1/16 \text{ pulg}$$

(Table E3.a AISI 2001)

$$A_{\text{pernos}} = 2(1.905 \text{ cm} + 0.158 \text{ cm}) * 0.20 \text{ cm} = 0.825 \text{ cm}^2$$

$$A_n = 1.85 - 0.825 = 1.025 \text{ cm}^2$$

$$A_e = 1.0 * 1.025 = 1.025 \text{ cm}^2$$

$$P_n = 0.65 * 1.025 * 4086.372 = 2722.55 \text{ kg.} = 2.72 \text{ T}$$

Nota: Como se pudo observar los requerimientos mínimos de AISI son más conservadores puesto que el factor de resistencia a la fractura es mas bajo además presenta una variación para la obtención de U.

Ejemplo 2.

Determine la resistencia de diseño por tensión de una L40x40x2 unido por una línea de tornillos de 3/4 pulg. (19.05 mm) en una ala usando un acero ASTM A36 ($F_y = 2536,369 \text{ kg/cm}^2$, $F_u = 4086,372 \text{ kg/cm}^2$) bajo las especificaciones AISC y AISI con tres tornillos en cada línea con una separación de los tornillos de 50 mm.

Solución.

Para una L40x40x2

$$A_g = 1.526 \text{ cm}^2, t = 2 \text{ mm} = 0.20 \text{ cm}, \bar{x} = 1.098 \text{ cm}$$

AISC

Por fluencia:

$$P_n = A_g F_y$$

(Eq. D2-1 AISC 2005)

$$\phi_t \text{ (LFRD)} = 0.90$$

$$P_n = 0.90 * 1.526 * 2536.369 = 3483.45 \text{ kg.} = 3.48 \text{ T}$$

Por cortante:

$$P_n = A_e F_u$$

(Eq. D2-2 AISC 2005)

$$\phi_t \text{ (LFRD)} = 0.75$$

$$A_e = U * A_n$$

(2.1-1 LRFD 2000)

$$A_n = A_g - A_{\text{pernos}}$$

$$A_{\text{pernos}} = (3/4 \text{ pulg} + 1/16 \text{ pulg}) * t \text{ (pulg)}$$

$$1/16 \text{ pulg}$$

(D3.2 AISC)

$$A_{\text{pernos}} = (1.905 \text{ cm} + 0.158 \text{ cm}) * 0.20 \text{ cm} = 0.413 \text{ cm}^2$$

$$A_n = 1.526 - 0.413 = 1.113 \text{ cm}^2$$

$$U = 1 - \frac{\bar{x}}{L} \leq 0.90 \quad L = \text{distancia entre el primero y el último tornillo} \quad (2.1-2 \text{ LRFD } 2000)$$

$$U = 1 - (1.098/10) = 0.89$$

$$A_e = 0.89 * 1.113 = 0.991 \text{ cm}^2$$

$$P_n = 0.75 * 0.991 * 4086.372 = 3037.20 \text{ kg} = 3.04 \text{ T}$$

Por lo tanto este perfil puede soportar una carga de tensión $P_u = 3.04 \text{ T}$

AISI

Por fluencia:

$$P_n = A_g F_y$$

(Eq. D2-1 AISC 2005)

$$\phi_t \text{ (LFRD)} = 0.90$$

$$P_n = 0.90 * 1.526 * 2536.369 = 3483.45 \text{ kg.} = 3.48 \text{ T}$$

Por cortante sin la unión del extremo:

$$P_n = A_n F_u$$

(Eq. D2-2 AISC 2005)

$$\phi_t \text{ (LFRD)} = 0.75$$

$$A_n = A_g - A_{\text{pernos}}$$

$$A_{\text{pernos}} = (1.905 \text{ cm} + 0.158 \text{ cm}) * 0.20 \text{ cm} = 0.413 \text{ cm}^2$$

$$A_n = 1.526 - 0.413 = 1.113 \text{ cm}^2$$

$$P_n = 0.75 * 1.113 * 4086.372 = 3411.10 \text{ kg.} = 3.41 \text{ T}$$

Por cortante en la unión del extremo:

$$P_n = A_e F_u \quad (\text{Eq. E3.2-1 AISI 2001})$$

$$\phi_t \text{ (LFRD)} = 0.65$$

$$A_e = U * A_n \quad (\text{E3.2-3 AISI 2001})$$

$$U = 1.0 - 1.20 \frac{\bar{x}}{L} < 0.9 \quad (\text{Eq. 3.2-9 AISI 2001})$$

$$U = 1.0 - 1.20 (1.098/10) = 0.86$$

$$A_n = A_g - A_{\text{pernos}}$$

$$A_{\text{pernos}} = 2(3/4 \text{ pulg} + 1/16 \text{ pulg}) * t \text{ (pulg)} \quad (\text{Table E3.a AISI 2001})$$

$$1/16 \text{ pulg}$$

$$A_{\text{pernos}} = (1.905 \text{ cm} + 0.158 \text{ cm}) * 0.20 \text{ cm} = 0.413 \text{ cm}^2$$

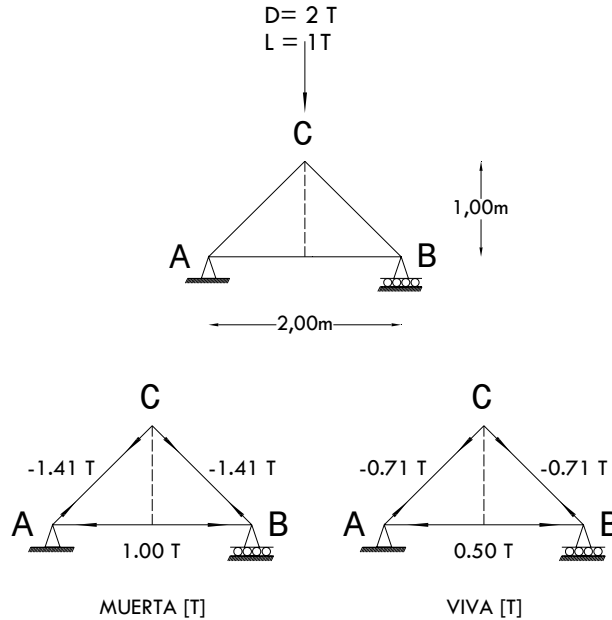
$$A_n = 1.526 - 0.413 = 1.113 \text{ cm}^2$$

$$A_e = 0.86 * 1.113 = 0.957 \text{ cm}^2$$

$$P_n = 0.65 * 0.957 * 4086.372 = 2541.93 \text{ kg.} = 2.54 \text{ T}$$

Ejemplo 3.

Diseñar el elemento a tensión de la armadura (AB) con un acero ASTM A36 ($F_y = 2536,369 \text{ kg/cm}^2$ $F_u = 4086,372 \text{ kg/cm}^2$), unido mediante soldaduras transversales.



Solicitaciones de carga

$$1.2D + 1.6L + 0.5 (Lr \text{ o } S \text{ o } R)$$

(A4-2 ASCE)

$$P_u = 1.2 (1 \text{ T}) + 1.6 (0.50 \text{ T})$$

$$P_u = 2 \text{ T}$$

AISC

Por fluencia:

$$P_n = A_g F_y$$

$$\phi_t (LFRD) = 0.90$$

$$A_g = P_n / F_y$$

$$A_g = 2000 \text{ kg} / (0.90 * 2536,369 \text{ kg/cm}^2) = 0.88 \text{ cm}^2$$

Por cortante:

$$P_n = A_n F_u$$

$$\phi_t (LFRD) = 0.75$$

$$A_n = A_g$$

$$A_g = \frac{P_u}{\phi F_u A_n}$$

$$U = 1.0$$

(Table D3.1 AISC 2005)

$$A_g = \frac{2000}{(0.75)(4086.372)(1.0)} = 0.65 \text{ cm}^2$$

Esbitez:

$$r = L/r < 300$$

(D1 AISC 2005)

$$L/300 = 200/300 = 0.667 \text{ cm.}$$

Probamos con una L25X25X2 ($A_g = 0.926 \text{ cm}^2$ $r_x = r_y = 0.778 \text{ cm}$)

$$P_n = A_g F_y$$

$$\phi_t (LFRD) = 0.90$$

$$P_n = 0.90 * 0.926 * 2536.369 = 2113.81 \text{ kg} = 2.11 \text{ T} > 2 \text{ T ok}$$

Por cortante:

$$P_n = A_e F_u$$

$$\phi_t (LFRD) = 0.75$$

$$U = 1.0$$

$$A_e = 1.0 * 0.926 = 0.926 \text{ cm}^2$$

$$P_n = 0.75 * 0.926 * 4086.372 = 2837.99 \text{ kg} = 2.84 \text{ T} > 2 \text{ T ok}$$

$$L/r < 300$$

$$200/0.778 = 257.07 < 300 \text{ ok}$$

AISI

Por fluencia:

$$P_n = A_g F_y$$

$$\phi_t (LFRD) = 0.90$$

$$A_g = P_n / F_y$$

$$A_g = 2000 \text{ kg} / (0.90 * 2536,369 \text{ kg/cm}^2) = 0.88 \text{ cm}^2$$

Por cortante:

$$P_n = A_n F_u$$

$$\phi_t (LFRD) = 0.75$$

$$A_n = \frac{P_u}{\phi F_u}$$

$$A_n = \frac{2000}{(0.75)(4086.372)(1.0)} = 0.65 \text{ cm}^2$$

Por cortante en la unión del extremo:

$$P_n = A_e F_u$$

(Eq. E3.2-1 AISI 2001)

$$\phi_t (LFRD) = 0.65$$

$$A_e = U * A_n$$

(E3.2-3 AISI 2001)

$$A_e = \frac{P_u}{\phi F_u U}$$

$$U = 1.0$$

(Table D3.1 AISC 2005)

$$A_g = \frac{2000}{(0.65)(4086.372)(1.0)} = 0.75 \text{ cm}^2$$

Esbeltez

$$r = L/300 = 200/300 = 0.667 \text{ cm.}$$

Probamos con una L25X25X2 ($A_g = 0.926 \text{ cm}^2$ $r_x = r_y = 0.778 \text{ cm}$)

$$P_n = A_g F_y$$

$$\phi_t (\text{LFRD}) = 0.90$$

$$P_n = 0.90 * 0.926 * 2536.369 = 2113.81 \text{ kg} = 2.11 \text{ T} > 2 \text{ T ok}$$

Por cortante:

$$P_n = A_e F_u$$

$$\phi_t (\text{LFRD}) = 0.75$$

$$U = 1.0$$

$$A_e = 1.0 * 0.926 = 0.926 \text{ cm}^2$$

$$P_n = 0.75 * 0.926 * 4086.372 = 2837.99 \text{ kg} = 2.84 \text{ T} > 2 \text{ T ok}$$

Por cortante en la unión del extremo:

$$P_n = A_e F_u$$

$$\phi_t (\text{LFRD}) = 0.65$$

$$A_e = U * A_n$$

$$U = 1.0$$

$$A_n = A_g$$

$$A_e = 1.0 * 0.926 \text{ cm}^2 = 0.926 \text{ cm}^2$$

$$P_n = 0.65 * 0.926 * 4086.372 = 2459.59 \text{ kg.} = 2.46 \text{ T} > 2 \text{ ok}$$

Esbeltez

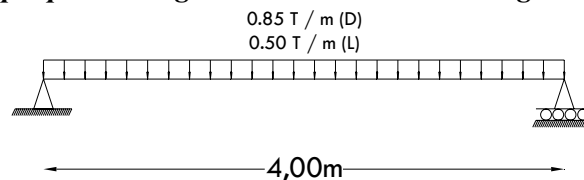
$$L/r < 300$$

$$200 / 0.778 = 257.07 < 300 \text{ ok}$$

Diseño de elementos a Flexión

Ejemplo 4.

Determinar si la siguiente viga a flexión simple con un perfil C200x100x10 con un acero A36 es apta para las siguientes condiciones de carga.



Solución

$$C200x100x10, A_g = 35.85 \text{ cm}^2, W \text{ por } m = 28.18 \text{ kg } m$$

$$M = w l^2 / 8$$

$$M_D = (0.85 + 0.028) (4)^2 / 8 = 1.76 \text{ T } m$$

$$M_L = 0.50 (4)^2 / 8 = 1.0 \text{ T } m$$

Solicitaciones de carga

$$1.2D + 1.6L + 0.5 (Lr \text{ o } S \text{ o } R)$$

(A4-2 ASCE)

$$M_u = 1.2 (1.76 \text{ T } m) + 1.6 (1.0 \text{ T } m)$$

$$M_u = 3.71 \text{ T } m$$

AISC

Dentro de los requisitos generales AISC el diseño de miembros sujetos a Flexión se

aplicará únicamente a perfiles laminados en caliente de acuerdo con las especificaciones ASTM A6/AM por lo que no es aplicable para perfiles conformados en frío.

AISI

$$M_n = S_e F_y \quad (\text{Eq. C3.1.2.1-5})$$

S_e = Módulo de sección elástica

$$S_e = 207203,443 \text{ mm}^3 = 207.203 \text{ cm}^3$$

$$\phi (\text{LFRD}) = 0.90$$

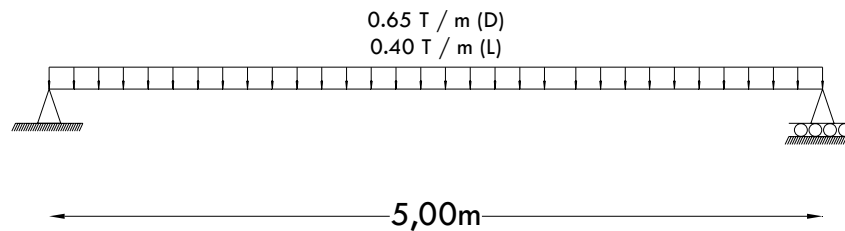
$$M_n = 0.90 * 2536.369 * 207.203 = 472988.939 \text{ kg.cm} = 4.73 \text{ T.m} > 3.71 \text{ok}$$

Nota: Es importante notar que las solicitaciones AISI están limitadas únicamente para un diseño elástico a diferencia de las solicitaciones AISC se han desarrollado para un diseño plástico.

Diseño de elementos sujetos a pandeo lateral

Ejemplo 5.

Determinar si la siguiente viga esta sujeta a pandeo lateral, con un perfil C200x100x8 con acero A36.



Solución

$$C200x100x12, A_g = 42.03 \text{ cm}^2, W / m = 33.03 \text{ kg m}$$

$$M = w l^2 / 8$$

$$M_D = (0.65+0.033) (5)^2/8 = 2.13 \text{ T m}$$

$$M_L = 0.40 (5)^2/8 = 1.25 \text{ T m}$$

Solicitaciones de carga

$$1.2D + 1.6L + 0.5 (Lr \text{ o } S \text{ o } R) \quad (\text{A4-2 ASCE})$$

$$M_u = 1.2 (2.13 \text{ T m}) + 1.6 (1.25 \text{ T m})$$

$$M_u = 4.56 \text{ T m}$$

AISC

Dentro de los requisitos generales AISC el diseño de miembros sujetos a Flexión se aplicará únicamente a perfiles laminados en caliente de acuerdo con las especificaciones ASTM A6/AM por lo que no es aplicable para perfiles conformados en frío.

AISI

$$M_n = S_c F_c$$

$$(\text{Eq. C3.1.2.1-1 AISI 2001})$$

$$\phi_b (\text{LFRD}) = 0.90$$

S_c =Módulo de sección elástica relativa al extremo de la fibra F_c

$$S_c = 236.29 \text{ cm}^3$$

Para $2.78 F_y > F_e > 0.56 F_y$ El miembro esta sujeto a pandeo lateral

$$F_c = \frac{10}{9} F_y \left(1 - \frac{10F_y}{36F_e} \right) \quad \text{si} \quad (\text{Eq. C3.1.2.1-3 AISI 2001})$$

$$F_e = \frac{C_b r_o A}{S_f} \sqrt{\sigma_{ey} \sigma_t} \quad (\text{Eq. C3.1.2.1-5 AISI 2001})$$

$$\sigma_{ey} = \frac{\pi^2 E}{(K_y L_y / r_y)^2} \quad (\text{Eq. C3.1.2.1-8 AISI 2001})$$

$$\sigma_{ey} = 760,203 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_t = \frac{1}{A r_o^2} \left[GJ + \frac{\pi^2 E C_w}{(K_t L_t)^2} \right] \quad (\text{Eq. C3.1.2.1-9 AISI 2001})$$

$$\sigma_t = 4212,89 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_e = 3228,27 \text{ kg/cm}^2$$

$$2.78 F_y = 7051.11 \text{ kg/cm}^2 \quad 0.56 F_y = 1420.37 \text{ kg/cm}^2$$

$$\therefore 2.78 F_y > F_e > 0.56 F_y$$

$$F_c = 2203.13 \text{ kg/cm}^2$$

$$M_n = 0.9 * 236.29 * 2203.13 = 468519.83 \text{ kg cm} = 4.69 \text{ T m.} > 4.55 \text{ ok}$$

Diseño de elementos a corte

Ejemplo 6.

Del Ejemplo 5. Diseñar a corte

Solución

$$V = w l / 2$$

$$V_D = (0.65 + 0.033) * 5 / 2 = 1.71 \text{ T}$$

$$V_L = (0.40) * 5 / 2 = 1.00 \text{ T}$$

Solicitaciones de carga

$$1.2D + 1.6L + 0.5(L_r \text{ o } S \text{ o } R) \quad (\text{A4-2 ASCE})$$

$$V_u = 1.2 (1.71 \text{ T}) + 1.6 (1.00 \text{ T})$$

$$V_u = 3.65 \text{ T}$$

AISC

Dentro de los requisitos generales AISC el diseño de miembros sujetos a Corte se aplicará únicamente a perfiles laminados en caliente de acuerdo con las especificaciones ASTM A6/AM por lo que no es aplicable para perfiles conformados en frío.

AISI

$$V_n = A_w F_v \quad (\text{Eq. C3.2.1-1 AISI 2001})$$

$$\phi_v (\text{LFRD}) = 0.95$$

$$h/t = 116/12 = 9.67$$

$$k_v = 5.34$$

$$(\text{C3.2.1 AISI 2001})$$

$$\sqrt{E k_v / F_y} = 66.57$$

$$\text{Para } h/t \leq \sqrt{E k_v / F_y}$$

$$F_v = 0.60 F_y \quad (\text{Eq. C3.2.1-2 AISI 2001})$$

$$F_v = 1521.82 \text{ kg/cm}^2$$

$$A_w = 12 * 116 = 1392 \text{ mm}^2 = 13.92 \text{ cm}^2$$

$$V_n = 0.95 * 13.92 * 1521.82 = 20124.55 \text{ kg} = 20.124 \text{ T} > 3.65 \text{ T ok}$$

Combinación de esfuerzos flexión y corte

Ejemplo 7.

Determinar si el Ejemplo 5.1.1 esta dentro de las solicitaciones AISI 2001 de combinación de flexión y corte.

$$\sqrt{\left(\frac{\bar{M}}{\phi_b M_{nxo}}\right)^2 + \left(\frac{\bar{V}}{\phi_v V_n}\right)^2} \leq 1.0 \quad (\text{Eq. C3.3.2-1 AISI 2001})$$

$$\bar{M} = Mu = 4.56 \text{ T m}$$

$$\bar{V} = Vu = 3.65 \text{ T}$$

$$\phi M_n = 4.69 \text{ T m}$$

$$\phi V_n = 20.214 \text{ T}$$

$$\sqrt{\left(\frac{4.56}{4.69}\right)^2 + \left(\frac{3.65}{20.214}\right)^2} \leq 1.0$$

$$0.98 \leq 1.0 \text{ ok}$$

Resistencia a la abolladura del alma

Ejemplo 8.

Determinar si en el Ejemplo 5.1.1 el alma del perfil no tiene problemas de abolladura de alma.

$$P = w l / 2$$

$$P_D = (0.65 + 0.033) * 5 / 2 = 1.71 \text{ T}$$

$$P_L = (0.40) * 5 / 2 = 1.00 \text{ T}$$

Solicitaciones de carga

$$1.2D + 1.6L + 0.5(Lr \text{ o } S \text{ o } R) \quad (\text{A4-2 ASCE})$$

$$Pu = 1.2 (1.71 \text{ T}) + 1.6 (1.00 \text{ T})$$

$Pu = 3.65 \text{ T}$ por las condiciones de carga son iguales en ambos extremos

$$P_n = C t^2 F_y \sin \theta \left(1 - C_R \sqrt{\frac{R}{t}}\right) \left(1 + C_N \sqrt{\frac{N}{t}}\right) \left(1 - C_h \sqrt{\frac{h}{t}}\right) \quad (\text{Eq. C3.3.2-2 AISI 2001})$$

$$C = 4$$

$$C_R = 0.14$$

$$C_N = 0.35$$

$$C_h = 0.02$$

$$\phi_w = 0.80$$

$$R/t \leq 5 \therefore 24/12 = 2 \text{ ok}$$

Estos valores son tomados de la Tabla C3.4.1-2 (AISI 2001), Tabla 2.7 Tabla de Coeficientes para el chequeo de la abolladura del alma. (AISI 2001, Pág. 72).

$$P_n = 4 * 12^2 * 25.36 * \sin 90 * \left(1 - 0.14 \sqrt{\frac{24}{12}}\right) \left(1 + 0.35 \sqrt{\frac{100}{12}}\right) \left(1 - 0.02 \sqrt{\frac{116}{12}}\right)$$

$$P_n = 14607.36 * 0.802 * 2.010 * 0.938$$

$$P_n = 22087.420 \text{ kg.} = 22.09 \text{ T.}$$

$$\phi_w P_n = 0.80 * P_n = 17.67 \text{ T} > 3.65 \text{ T ok}$$

Combinación de flexión y abolladura del alma

Ejemplo 9.

Determinar si el Ejemplo 5.1.1 esta dentro de las solicitaciones AISI 2001 de combinación de flexión y abolladura del alma.

Para perfiles teniendo un alma sin reforzamiento

$$0.91 \left(\frac{\bar{P}}{P_n} \right) + \left(\frac{\bar{M}}{M_{nxx0}} \right) \leq 1.33\phi \quad (\text{Eq. C3.5.2-1 AISI 2001})$$

$$\phi = 0.90$$

$$\bar{P} = P_u$$

$$\bar{M} = M_u$$

$$P_u = 3.65 \text{ T}$$

$$M_u = 4.56 \text{ T m}$$

$$P_n = 22.09 \text{ T}$$

$$M_n = 5.21 \text{ T m}$$

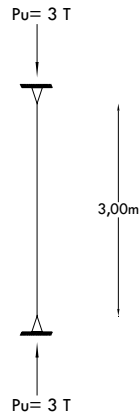
$$0.91 \left(\frac{3.65}{22.09} \right) + \left(\frac{4.56}{5.21} \right) \leq 1.33\phi$$

$$1.03 \leq 1.197 \text{ ok}$$

Diseño de elementos a compresión

Ejemplo 10.

Determinar si un perfil G125x50x15x2 puede absorber la siguiente carga factorizada a compresión, en condiciones ideales de apoyo.



Solución:

Perfil G125x50x15x2

$$A_g = 4,80 \text{ cm}^2, I_x = 115.07 \text{ cm}^4, I_y = 15.92 \text{ cm}^4, r_x = 4.89 \text{ cm}, r_y = 1.82 \text{ cm}$$

$$L = 3.0 \text{ m} = 300 \text{ cm.}$$

AISC

Relación ancho- espesor

Alma

$$\lambda_p = 3.76 \sqrt{E/F_y} \quad \text{compacto} \quad (\text{Table B4.1 AISI 2005})$$

$$\lambda_p = 107.42$$

$$\lambda_r = 5.70 \sqrt{E/F_y} \quad \text{no compacto} \quad (\text{Table B4.1 AISI 2005})$$

$$\lambda_p = 162.84$$

$$h_o / t < \lambda_p \quad \therefore \text{compacto}$$

$$\lambda_r > h_o / t > \lambda_p \quad \therefore \text{no compacto}$$

$$h_o / t$$

$h_o =$ altura libre del alma

$$h_o = D - (2r - t) = 115 \text{ mm}$$

$$h_o / t = 115 / 2 = 57.5 < \lambda_p \therefore \text{es compacto}$$

Alas

$$\lambda_p = 0.38 \sqrt{E/F_y} \quad \text{compacto} \quad (\text{Table B4.1 AISC 2005})$$

$$\lambda_p = 10.86$$

$$\lambda_r = 1.00 \sqrt{E/F_y} \quad \text{no compacto} \quad (\text{Table B4.1 AISC 2005})$$

$$\lambda_p = 28.56$$

$$w / t < \lambda_p \therefore \text{compacto}$$

$$\lambda_r > w / t > \lambda_p \therefore \text{no compacto}$$

w / t

$$w / t = 40 / 2 = 20 \therefore \lambda_r > 20 > \lambda_p \text{ no es compacto}$$

(E3.1 AISC 2005)

$$P_n = F_{cr} A_g$$

$$\phi_c = 0.90 \text{ (LRFD)}$$

Esbeltez

$$KL/r < 200$$

$$K = 1.0$$

$$KL/r_x = 500 / 4.89 = 102.25 < 200 \text{ ok}$$

$$KL/r_y = 500 / 1.82 = 274.73 > 200 \text{ se considera un elemento esbelto}$$

Cambiamos de Perfil

G150x75x25x5

$$A_g = 15.64 \text{ cm}^2, I_x = 533.27 \text{ cm}^4, I_y = 113.93 \text{ cm}^4, r_x = 5.84 \text{ cm } r_y = 2.70 \text{ cm}$$

Relación ancho- espesor

Alma

$$\lambda_p = 3.76 \sqrt{E/F_y} \quad \text{compacto} \quad (\text{Table B4.1 AISC 2005})$$

$$\lambda_p = 107.42$$

$$\lambda_r = 5.70 \sqrt{E/F_y} \quad \text{no compacto} \quad (\text{Table B4.1 AISC 2005})$$

$$\lambda_p = 162.84$$

$$h_o / t < \lambda_p \therefore \text{compacto}$$

$$\lambda_r > h_o / t > \lambda_p \therefore \text{no compacto}$$

$$h_o / t$$

h_o = altura libre del alma

$$h_o = D - (2r - t) = 125 \text{ mm}$$

$$h_o / t = 125 / 5 = 25 < \lambda_p \therefore \text{es compacto}$$

Alas

$$\lambda_p = 0.38 \sqrt{E/F_y} \quad \text{compacto} \quad (\text{Table B4.1 AISC 2005})$$

$$\lambda_p = 10.86$$

$$\lambda_r = 1.00 \sqrt{E/F_y} \quad \text{no compacto} \quad (\text{Table B4.1 AISC 2005})$$

$$\lambda_p = 28.56$$

$$w / t < \lambda_p \therefore \text{compacto}$$

$$\lambda_r > w / t > \lambda_p \therefore \text{no compacto}$$

w / t

$$w / t = 50 / 5 = 10 \therefore 10 < \lambda_p \text{ es compacto}$$

$$P_n = F_{cr} A_g \quad (E3.1 AISC 2005)$$

Esta relación es válida para secciones compactas y no compactas

$$\phi_c = 0.90 \text{ (LRFD)}$$

Esbeltez

$$KL/r < 200$$

$$K=1.0$$

$$KL/r_x = 500/5.84 = 85.62 < 200 \text{ ok}$$

$$KL/r_y = 500/2.70 = 185.19 < 200 \text{ ok} \quad \text{rige esta relación}$$

$$4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 134.56 \therefore$$

$$\text{Si } \frac{KL}{r} > 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (E3. (b) AISC 2005)$$

$$F_{cr} = 0.877 F_e \quad (E3.3 AISC 2005)$$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} \quad (E3.4 AISC 2005)$$

$$F_e = 595.710 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_{cr} = 522.44 \text{ kg/cm}^2$$

$$P_n = 15.64 * 522.44 = 8170.96 \text{ kg} = 8.17 \text{ T}$$

$$\phi P_n = 7.35 \text{ T} > 3 \text{ T ok}$$

AISI

$$P_n = A_e F_n \quad (Eq. C4-1 AISI 2001)$$

$$\phi_c \text{ (LFRD)} = 0.85$$

$$\text{Para } \lambda_c > 1.5 \quad F_n = \frac{(0.877 \lambda_c^2)}{\lambda_c^2} F_y \quad (Eq. C4-3 AISI 2001)$$

$$\lambda_c = \sqrt{\frac{F_y}{F_e}} \quad (Eq. C4-4 AISI 2001)$$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{(KL/r)^2} \quad (Eq. C4.1-1 AISI 2001)$$

Esbeltez

$$KL/r < 200$$

$$K=1.0$$

$$KL/r_x = 500/5.84 = 85.62 < 200 \text{ ok}$$

$$KL/r_y = 500/2.70 = 185.19 < 200 \text{ ok} \quad \text{rige esta relación}$$

$$F_e = 595.71 \text{ kg/cm}^2$$

$$\lambda_c = \sqrt{\frac{2536.369}{595.71}} = 2.06$$

$$F_n = \frac{(0.877)}{\lambda_c^2} F_y =$$

$$F_n = 524.18 \text{ kg/cm}^2$$

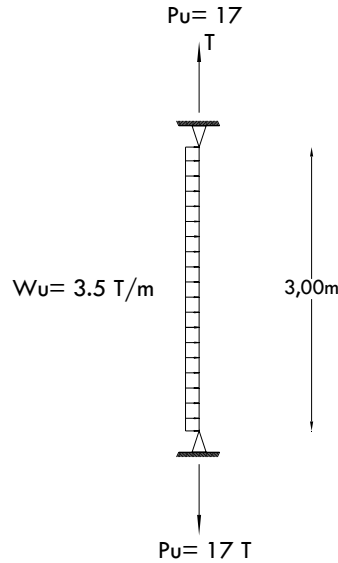
$$P_n = 15.64 * 524.18 = 8198.18 \text{ kg} = 8.198 \text{ T}$$

$$\phi P_n = 0.85 * 8.198 = 6.97 \text{ T} < 3 \text{ T ok}$$

Combinación de tensión axial y flexión

Ejemplo 11.

Determinar si la siguiente columna que consta de un perfil C200x50x2 sometida a las siguientes condiciones de carga cumple los requerimientos solicitados.



Solución

$C200 \times 100 \times 12$, $A_g = 42.03 \text{ cm}^2$, $r_x = 7.49 \text{ cm}$, $r_y = 3.05 \text{ cm}$

$$M = w l^2 / 8$$

$$M_u = 3.5 * 3^2 / 8 = 3.94 \text{ T m}$$

AISC

Dentro de los requisitos generales AISC el diseño de miembros sujetos a Flexión se aplicará únicamente a perfiles laminados en caliente de acuerdo con las especificaciones ASTM A6/AM por lo que no es aplicable para perfiles conformados en frío.

AISI

Esfuerzo a flexión

Determinamos si el miembro esta sujeto a pandeo lateral

Para $2.78 F_y > F_e > 0.56 F_y$ El miembro esta sujeto a pandeo lateral

$$F_c = \frac{10}{9} F_y \left(1 - \frac{10 F_y}{36 F_e} \right) \quad (\text{Eq. C3.1.2.1-3 AISI 2001})$$

$$F_e = \frac{C_b r_o A}{S_f} \sqrt{\sigma_{ey} \sigma_t} \quad (\text{Eq. C3.1.2.1-5 AISI 2001})$$

$$\sigma_{ey} = \frac{\pi^2 E}{(K_y L_y / r_y)^2} \quad (\text{Eq. C3.1.2.1-8 AISI 2001})$$

$$\sigma_{ey} = 2111.68 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_t = \frac{1}{A r_o^2} \left[GJ + \frac{\pi^2 E C_w}{(K_t L)^2} \right] \quad (\text{Eq. C3.1.2.1-9 AISI 2001})$$

$$\sigma_t = 5079.84 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_e = 5908.17 \text{ kg/cm}^2$$

$$2.78 F_y = 7051.11 \text{ kg/cm}^2 \quad 0.56 F_y = 1420.37 \text{ kg/cm}^2$$

$\therefore 2.78 F_y > F_e > 0.56 F_y$ Está sujeto a pandeo lateral

$$F_c = 2482.12 \text{ kg/cm}^2$$

$$M_n = S_c F_c \quad (\text{Eq. C3.1.2.1-1 AISI 2001})$$

$$\phi_b (\text{LFRD}) = 0.90$$

$$S_c = 236.29 \text{ cm}^3$$

$$M_n = 0.9 * 236.29 * 2482.12 = 527850.12 \text{ kg cm} = 5.28 \text{ T m.}$$

Esfuerzo a tensión

Por cortante:

$$P_n = A_e F_u$$

$$\phi_t (\text{LFRD}) = 0.75$$

$$U = 1.0$$

$$A_e = U * A_n$$

$$U = 1.0$$

$$A_n = A_g$$

$$A_e = 1.0 * 42.03 = 42.03 \text{ cm}^2$$

$$P_n = 0.75 * 42.03 * 4086.372 = 128812.66 \text{ kg} = 128.81 \text{ T}$$

Combinación de esfuerzos

$$\frac{\bar{M}_x}{\phi_b M_{nxt}} + \frac{\bar{M}_y}{\phi_b M_{nyt}} + \frac{\bar{T}}{\phi_t P_n} \leq 1.0 \quad (\text{Eq. C5.1.2-1 AISI 2001})$$

$$\frac{3.94}{5.28} + \frac{17}{128.81} \leq 1.0$$

$$0.88 \leq 1.00 \text{ ok}$$

$$\frac{\bar{M}_x}{\phi_b M_{nx}} + \frac{\bar{M}_y}{\phi_b M_{ny}} - \frac{\bar{T}}{\phi_t P_n} \leq 1.0 \quad (\text{Eq. C5.1.2-2 AISI 2001})$$

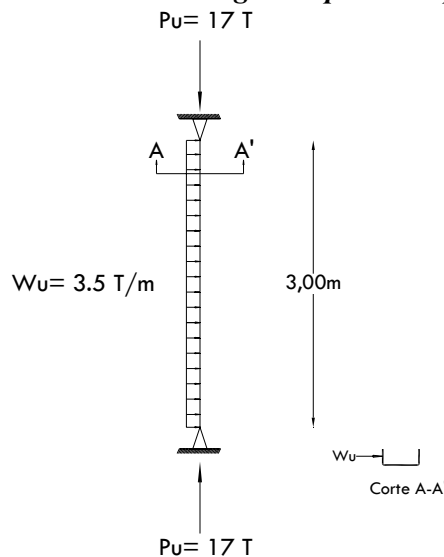
$$\frac{3.94}{4.68} - \frac{17}{128.81} \leq 1.0$$

$$0.61 \leq 1.00 \text{ ok}$$

Combinación de compresión axial y flexión

Ejemplo 12.

Determinar si la siguiente columna que consta de un perfil C200x50x2 sometida a las siguientes condiciones de carga cumple los requerimientos solicitados.



Solución

$$C200 \times 100 \times 12, A_g = 42.03 \text{ cm}^2, r_x = 7.49 \text{ cm}, r_y = 3.05 \text{ cm}$$

$$M = w l^2 / 8$$

$$M_u = 3.5 * 3^2 / 8 = 3.94 \text{ T m}$$

AISC

Dentro de los requisitos generales AISC el diseño de miembros sujetos a Flexión se aplicará únicamente a perfiles laminados en caliente de acuerdo con las especificaciones ASTM A6/AM por lo que no es aplicable para perfiles conformados en frío.

AISI

Esfuerzo a flexión

Determinamos si el miembro esta sujeto a pandeo lateral

Para $2.78 F_y > F_e > 0.56 F_y$ El miembro esta sujeto a pandeo lateral

$$F_c = \frac{10}{9} F_y \left(1 - \frac{10F_y}{36F_e} \right) \quad (\text{Eq. C3.1.2.1-3 AISI 2001})$$

$$F_e = \frac{C_b r_o A}{S_f} \sqrt{\sigma_{ey} \sigma_t} \quad (\text{Eq. C3.1.2.1-5 AISI 2001})$$

$$\sigma_{ey} = \frac{\pi^2 E}{(K_y L_y / r_y)^2} \quad (\text{Eq. C3.1.2.1-8 AISI 2001})$$

$$\sigma_{ey} = 2111.68 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_t = \frac{1}{A r_o^2} \left[GJ + \frac{\pi^2 E C_w}{(K_t L_t)^2} \right] \quad (\text{Eq. C3.1.2.1-9 AISI 2001})$$

$$\sigma_t = 5079.84 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_e = 5908.17 \text{ kg/cm}^2$$

$$2.78 F_y = 7051.11 \text{ kg/cm}^2 \quad 0.56 F_y = 1420.37 \text{ kg/cm}^2$$

$\therefore 2.78 F_y > F_e > 0.56 F_y$ Está sujeto a pandeo lateral

$$F_c = 2482.12 \text{ kg/cm}^2$$

$$M_n = S_c F_c \quad (\text{Eq. C3.1.2.1-1 AISI 2001})$$

$$\phi_b (\text{LFRD}) = 0.90$$

$$S_c = 236.29 \text{ cm}^3$$

$$M_n = 0.90 * 236.29 * 2482.12 = 527849.88 \text{ kg cm} = 5.28 \text{ T m.}$$

Esfuerzo a compresión

$$P_n = A_e F_n \quad (\text{Eq. C4-1 AISI 2001})$$

$$\phi_c (\text{LFRD}) = 0.85$$

$$\text{Para } \lambda_c > 1.5 \quad F_n = \frac{(0.877 \lambda_c^2)}{\lambda_c^2} F_y \quad (\text{Eq. C4-3 AISI 2001})$$

$$\lambda_c = \sqrt{\frac{F_y}{F_e}} \quad (\text{Eq. C4-4 AISI 2001})$$

Para elementos sujetos a pandeo lateral

$$F_e = \frac{1}{2\beta} \left[(\sigma_{ex} + \sigma_t) - \sqrt{(\sigma_{ex} + \sigma_t)^2 - 4\beta \sigma_{ex} \sigma_t} \right] \quad (\text{Eq. C4.1-1 AISI 2001})$$

$$\beta = 1 - (x_o / r_o)^2 \quad (\text{Eq. C4.1-3 AISI 2001})$$

$$\beta = 1 - (-6.08 / 10.23)^2 = 0.65$$

$$\sigma_{ex} = \frac{\pi^2 E}{(K_x L_x / r_x)^2} \quad (\text{Eq. C3.1.2.1-8 AISI 2001})$$

$$\sigma_{ex} = 12734.77 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_t = \frac{1}{A r_o^2} \left[GJ + \frac{\pi^2 E C_w}{(K_t L_t)^2} \right] \quad (\text{Eq. C3.1.2.1-9 AISI 2001})$$

$$\sigma_t = 5079.84 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_e = \frac{1}{2(0.65)} \left[(12734.77 + 5079.84) - \sqrt{(12734.77 + 5079.84)^2 - 4(0.65)(12734.77)(5079.84)} \right]$$

$$F_e = 4309.56 \text{ kg/cm}^2$$

Esbeltez

$$KL/r < 200$$

$$K=1.0$$

$$KL/r_x = 300/7.49 = 40.05 < 200 \text{ ok}$$

$$KL/r_y = 300/3.05 = 98.36 < 200 \text{ ok}$$

rige esta relación

$$F_e = 4309.56 \text{ kg/cm}^2$$

$$\lambda_c = \sqrt{\frac{2536.369}{4039.56}} = 0.79$$

Para $\lambda_c \leq 1.5$ $F_n = (0.658^{\lambda_c^2}) F_y$ (Eq. C4-2 AISI 2001)

$$F_n = 1953.29 \text{ kg/cm}^2$$

$$P_n = 42.03 * 1953.29 = 82096.87 \text{ kg} = 82.1 \text{ T}$$

$$\phi P_n = 0.85 * 82.1 = 69.78 \text{ T}$$

$$\frac{\bar{P}}{\phi_c P_n} + \frac{C_{mx} \bar{M}_x}{\phi_b M_{nx} \alpha_x} \leq 1.0$$
 (Eq. C5.2.2-1 AISI 2001)

$$C_{mx} = 1.0$$

$$\alpha_x = 1 - \frac{\bar{P}}{P_{EX}}$$
 (Eq. C5.2.2-4 AISI 2001)

$$P_{EX} = \frac{\pi^2 EI_x}{(K_x L_x)^2}$$
 (Eq. C5.2.2-6 AISI 2001)

$$P_{EX} = 535254.51 \text{ kg} = 535.25 \text{ T}$$

$$\alpha_x = 0.97$$

$$\frac{17}{69.78} + \frac{1 * 3.94}{0.97 * (5.28)} \leq 1.0$$
 (Eq. C5.2.2-1 AISI 2001)

$$1.01 \cong 1.00 \text{ ok}$$

$$\frac{\bar{P}}{\phi_c P_{no}} + \frac{\bar{M}_x}{\phi_b M_{nx}} \leq 1.0$$
 (Eq. C5.2.2-2 AISI 2001)

$$\frac{17}{69.78} + \frac{3.94}{5.28} \leq 1.0$$
 (Eq. C5.2.2-1 AISI 2001)

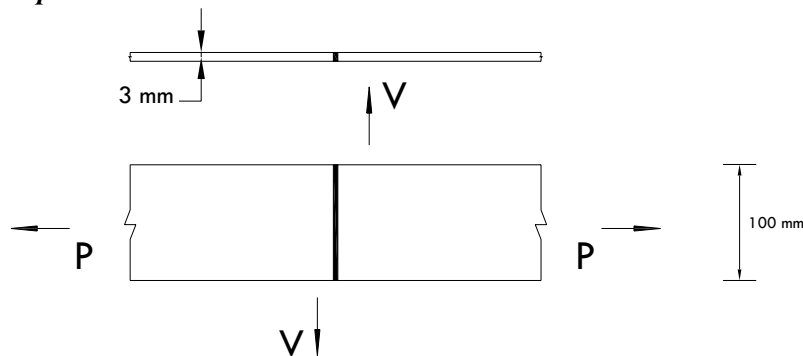
$$0.98 < 1.0 \text{ ok}$$

Diseño de Uniones Soldadas

Soldaduras de ranura en uniones a tope

Ejemplo 13.

Diseñar el esfuerzo normal a tensión del área efectiva y el esfuerzo de diseño a corte de la soldadura de unión a tope con el uso de un electrodo E60 con un acero A36, bajo requerimiento AISI



Diseño del esfuerzo normal a tensión del área efectiva

$$P_n = L t_e F_y$$
 (Eq. E2.1-1 AISI 2001)

$$\phi (LFRD) = 0.90$$

$$P_n = 0.9 * 10 * 0.3 * 2536.369 = 6848.19 \text{ kg} = 6.45 \text{ T}$$

Corte al área efectiva, el más pequeño de las Ec. Eq. E2.1-2 o Eq. E2.1-3

$$P_n = Lt_e 0.6F_{xx} \quad (\text{Eq. E2.1-2 AISI 2001})$$

$$\phi (\text{LFRD}) = 0.80$$

$$P_n = 0.80 * 10 * 0.3 * 0.6 * 4227,281 = 6087.28 \text{ kg.} = 6.08 \text{ T}$$

$$P_n = Lt_e F_y / \sqrt{3} \quad (\text{Eq. E2.1-3 AISI 2001})$$

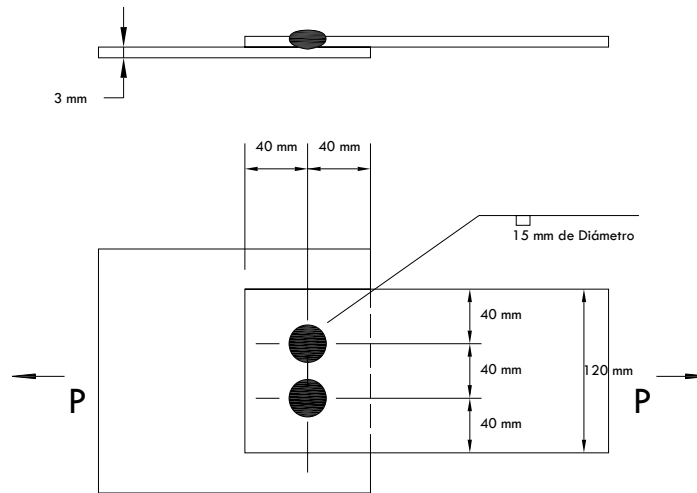
$$\phi (\text{LFRD}) = 0.90$$

$$P_n = 0.90 * 10 * 0.3 * 2536.369 / 1.732 = 3953.92 \text{ kg} = 3.95 \text{ T Rige este valor}$$

Puntos de soldadura por arco

Ejemplo 14.

Diseñar el esfuerzo normal aceptable de la siguiente unión con puntos de soldadura por arco con el uso de un electrodo E60 con placas de acero A36, bajo requerimiento AISI



Solución

Dimensiones de la soldadura

$$d = 15 \text{ mm}$$

$$d_a = d - t = 15 - 3 = 12 \text{ mm} = 1.2 \text{ cm}$$

$$d_e = 0.7d - 1.5t \leq 0.55 d = 8.25 \text{ mm} = 0.825 \text{ cm} \quad (\text{Eq. E2.2.1-5 AISI 2001})$$

$$d_e = (0.7 * 15) - (1.5 * 3) = 6.00 \text{ mm} = 0.60 \text{ cm.}$$

$$\therefore 0.675 < 0.825 \text{ ok}$$

Sin embargo una soldadura no podrá ser menor a $3/8 \text{ pulg} = 9.525 \text{ mm}$ \therefore tomo el valor mínimo $d_e = 9.525 \text{ mm}$

Esfuerzo de diseño basado en la resistencia de la soldadura

$$P_n = \frac{\pi d_e^2}{4} 0.75 F_{xx} \quad (\text{Eq. E2.2.1-1 AISI 2001})$$

$$\phi (\text{LFRD}) = 0.60$$

$$P_n = (\pi * (0.9)^2) * (0.75) * (4227.281) / (4) = 2259.14 \text{ kg} = 2.23 \text{ T}$$

$$\phi P_n = 2.03 \text{ T}$$

Esfuerzo de diseño basado en el esfuerzo de la plancha

$$d_a / t = 12 / 3 = 4$$

$$F_u = 4086,372 \text{ kg/cm}^2$$

$$0.815 \sqrt{\left(\frac{E}{F_u}\right)} = 18.34$$

$$\therefore (d_a/t) \leq 0.815 \sqrt{\left(\frac{E}{F_u}\right)}$$

$$P_n = 2.20 t d_a F_u \quad (\text{Eq. E2.2.1-2 AISI 2001})$$

$$\phi (\text{LFRD}) = 0.70$$

$$P_n = 2.20 * 0.3 * 1.2 * 4086.372 = 2265.485 \text{ kg} = 2.27 \text{ T}$$

Esfuerzo de diseño basado los requerimientos de distancia de borde y espaciamiento

$$e_{\min} = \frac{P_u}{\phi F_u t} \quad \text{Para LFRD} \quad (\text{Eq. E2.2.1-6b AISI 2001})$$

Cuando $F_u / F_{sy} < 1.08$

$$= 2536,369 / 4086,372 = 0.62 < 1.08$$

$$\phi (\text{LFRD}) = 0.60$$

$$\therefore P_u = e_{\min} \phi F_u t$$

$$P_u = (4.0) * (0.70) * (4086.372) * (0.3) = 3432.55 \text{ kg/suelda} = 3.43 \text{ T/suelda}$$

$$\text{Por 2 sueldas, } P_u = 6.86 \text{ T}$$

Distancia de borde no deberá ser menor que $1.5 d$ (E2.2.1 AISI 2001)

$$1.5d = 1.5 * 15 = 22.5 \text{ mm}$$

Distancia libre entre soldaduras no será menor que $1.0 d$ (E2.2.1 AISI 2001)

$$1.0 d = 1 * 15 = 15 \text{ mm}$$

$$\text{Distancia libre} = 40 - 2 (15/2) = 25 > 15 \text{ mm ok}$$

Distancia libre entre la soldadura (E2.2.1 AISI 2001)

y el extremo del miembro no será menor que $1.0 d$

$$1.0 d = 1.0 * 15 \text{ mm} = 15 \text{ mm}$$

$$\text{Distancia libre} = 40 - (15/2) = 32.5 > 15 \text{ mm ok}$$

La parte conectada más delgada no deberá exceder $0.15 \text{ pulg. (3.81 mm)}$

La parte más delgada $t = 3 \text{ mm ok}$

No requiere arandela de soldadura (E3.2 AISI 2001)

porque $t = 3 \text{ mm} > 0.711 \text{ mm}$

Esfuerzo a tensión de la placa

Por fluencia:

$$P_n = A_g F_y \quad (\text{Eq. D2-1 AISC 2005})$$

$$\phi_t (\text{LFRD}) = 0.90$$

$$P_n = 0.9 * 12 * 0.3 * 2536.369 = 8217.836 \text{ kg} = 8.21 \text{ T}$$

Por cortante fuera de la unión:

$$P_n = A_n F_u \quad (\text{Eq. D2-2 AISC 2005})$$

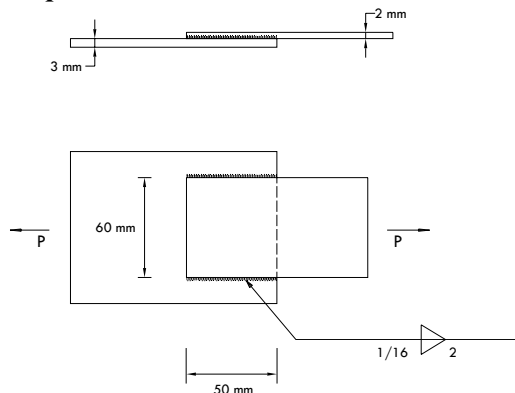
$$\phi_t (\text{LFRD}) = 0.75$$

$$P_n = 0.75 * 12 * 0.3 * 4086.372 = 11033.20 \text{ kg} = 11.03 \text{ T}$$

Soldaduras de filete

Ejemplo 15.

Determine si la unión de soldadura de filete longitudinal es adecuada a transmitir los esfuerzos requeridos con un acero A36:



Esfuerzos requeridos

$$P_u = 1.2 P_D + 1.6 P_L$$

$$P_u = (1.2 * 1.0) + (1.6 * 0.0)$$

$$P_u = 2.48 T$$

Esfuerzo a la soldadura

$$L/t = 50 / 2 = 25$$

Para $L/t \geq 25$:

$$P_n = 0.75 t L F_u \quad (\text{Eq. E2.4-2 AISI 2001})$$

$$\phi (\text{LFRD}) = 0.50$$

$$P_n = 0.50 * 0.75 * 0.2 * 5 * 4086.372 = 1532.39 \text{ kg} = 1.5 T$$

$$2 P_n = 3.06 T \text{ (2 soldaduras)} > 2.48 T \text{ ok}$$

Esfuerzo de tensión de la placa

Fluencia

Por fluencia:

$$P_n = A_g F_y \quad (\text{Eq. D2-1 AISC 2005})$$

$$\phi_t (\text{LFRD}) = 0.90$$

$$P_n = 0.9 * 6 * 0.2 * 2536.369 = 2739.028 \text{ kg} = 2.74 T > 2.48 \text{ ok}$$

Por cortante fuera de la unión:

$$P_n = A_n F_u \quad (\text{Eq. D2-2 AISC 2005})$$

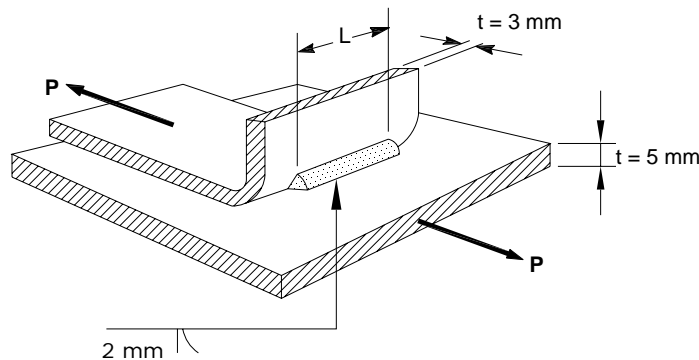
$$\phi_t (\text{LFRD}) = 0.75$$

$$P_n = 0.75 * 6 * 0.2 * 4086.372 = 3677.73 \text{ kg} = 3.67 T > 2.48 \text{ ok}$$

Soldaduras de ranura biselada

Ejemplo 16.

Determine la longitud de suelda requerida L , con un acero A36



Esfuerzos requeridos

$$P_u = 1.2 P_D + 1.6 P_L$$

$$P_u = (1.2 * 1.0) + (1.6 * 3.0)$$

$$P_u = 6 T$$

Esfuerzo de diseño de la soldadura de ranura biselada, carga transversal

$$P_n = 0.833 t L F_u \quad (\text{Eq. E2.5-1 AISI 2001})$$

$$\phi (\text{LFRD}) = 0.60$$

$$P_u \leq \phi P_n$$

$$P_u \leq 0.833 t L F_u$$

$$\therefore L \geq \frac{P_u}{\phi 0.833 t F_u}$$

$$L \geq \frac{6000}{(0.60)(0.833)(0.3)(4086.372)} = 9.79 \text{ cm}$$

Adicionalmente, para $t > 0.10$ pulg. (2.54 mm), el esfuerzo nominal [resistencia] determinado anteriormente no deberá exceder el siguiente valor de P_n :

$$P_n = 1.50t_w L F_{XX} \quad (\text{Eq. E2.5-3 AISI 2001})$$

$$\phi (\text{LFRD}) = 0.55$$

$$R = 6 \text{ mm}$$

$$t_w = 5/16 R \cong 2.0 \text{ mm}$$

$$P_n = 0.55 * (1.50) * (0.2) * (10) (4227,281) = 6975.01 \text{ kg.} = 6.97 T > 6 T \text{ ok}$$

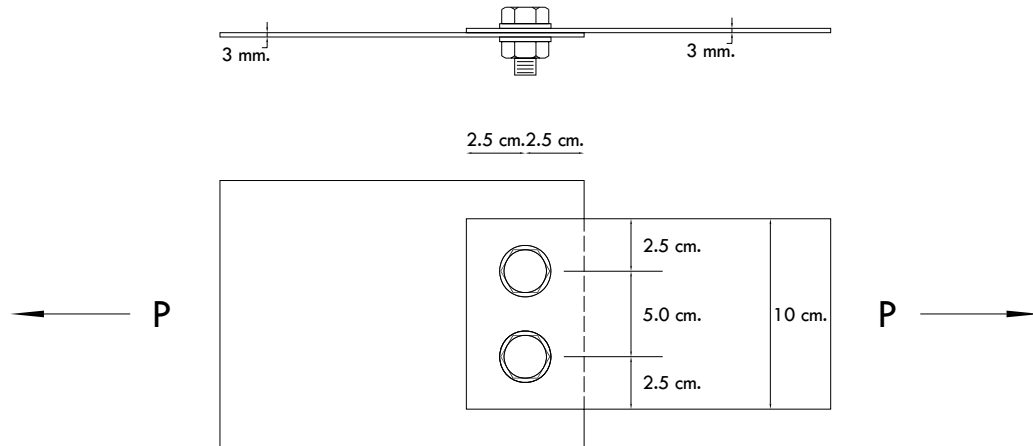
Diseño Final

Use una soldadura de ranura de filete con una garganta efectiva t_w de 2 mm y una longitud e suelda de 10 cm.

Diseño de Uniones Empernadas

Ejercicio 17.

Determine el esfuerzo de diseño de la siguiente unión emperrada, con un acero A36 $F_y = 2536,369 \text{ kg/cm}^2$, $F_u = 4086,372 \text{ kg/cm}^2$ para las placas y pernos con arandelas debajo de la cabeza y la tuerca ASTM 307 de $\frac{1}{2}$ pulg. (12.7 mm). Evaluando la resistencia de apoyo de la unión bajo la consideración de deformación del agujero del perno.



Solución

Espesor de la parte conectada mas delgada, t

$$t = 3 \text{ mm} < 4.76 \text{ mm} (3/16 \text{ pulg.})$$

(E3 AISI 2001)

Es aplicable la sección E3 AISI

Esfuerzo de diseño a corte basado en el espaciamiento y distancia de borde

$$P_n = t e F_u$$

(Eq.E3.1-1 AISI 2001)

Cuando $F_u / F_{sy} \geq 1.08$:

$$\phi = 0.70 \text{ LFRD}$$

Cuando $F_u / F_{sy} < 1.08$:

$$\phi = 0.60 \text{ LFRD}$$

$$F_u / F_{sy} = 4086,372 / 2536,369 = 1.611$$

$$P_n = 0.3 * 2.5 * 4086,372 = 3064.779 \text{ kg. / Perno}$$

$$\phi P_n = 0.70 * 2 * 3064.779 = 4290.69 \text{ kg} = 4.29 T$$

La distancia entre los centros de los agujeros de los pernos deberá ser mayor que $3d$

$$3d = 3 * 1.27 = 3.81 \text{ cm} < 5 \text{ cm ok}$$

La distancia entre el centro del agujero y el borde del miembro conectado será mayor que $1.5d$.

$$1.5d = 1.5 * 1.27 = 1.905 \text{ cm} < 2 \text{ cm ok}$$

Esfuerzo de diseño a tensión en la sección neta

Por fluencia:

$$P_n = A_g F_y \quad (\text{Eq. D2-1 AISI 2005})$$

$$\phi_t (\text{LFRD}) = 0.90$$

$$P_n = 0.90 * 10 * 0.3 * 2536.369 = 6848.20 \text{ kg.} = 6.85 \text{ T}$$

Por cortante fuera de la unión del extremo:

$$P_n = A_n F_u \quad (\text{Eq. D2-2 AISI 2005})$$

$$\phi_t (\text{LFRD}) = 0.75$$

$$A_n = A_g$$

$$P_n = 0.75 * 10 * 0.3 * 4086.372 = 9194.337 \text{ kg.} = 9.19 \text{ T}$$

Por cortante en la unión del extremo:

Cuando son provistas de arandelas debajo de la cabeza y la tuerca

$$P_n = A_n F_t \quad (\text{Eq. E3.2-1 AISI 2001})$$

$$\phi_t (\text{LFRD}) = 0.55 \text{ cortante simple}$$

$$A_e = U * A_n \quad (\text{E3.2-3 AISI 2001})$$

$$U = 1.0 \quad (\text{Eq. 3.2-9 AISI 2001})$$

$$A_n = A_g - A_{\text{pernos}}$$

$$A_{\text{pernos}} = 2(d+1.6)*t \quad [\text{mm}] \quad (\text{Table E3.a AISI 2001})$$

$$A_{\text{pernos}} = 2(12.7 + 1.6)*3 = 85.8 \text{ mm}^2 = 0.858 \text{ cm}^2$$

$$A_n = (10.0 * 0.3) - (0.858) = 2.142 \text{ cm}^2$$

Para un perno simple, o para una única fila de pernos provistos en la cabeza y en la tuerca de arandelas perpendiculares a la fuerza

$$F_t = (0.1 + 3d/s) F_u \leq F_u$$

s = ancho de la plancha / # pernos

$$s = 10 / 2 = 5$$

$$F_t = (0.1 + (3*1.27/5)) 4086.372 = 3522.45 \leq F_u$$

$$F_t = 2522.45 \text{ kg/cm}^2 < 4086,372 \text{ kg/cm}^2 \text{ ok}$$

$$P_n = 0.55 * 2.142 * 2522.45 = 2971.698 \text{ kg.} = 2.97 \text{ T} \quad \text{rige este valor}$$

Ruptura al bloque de cortante

El bloque de corte muestra la trayectoria de controles

Area gruesa sujeta a corte

$$A_{gv} = (2) (2.50) (0.3) = 1.50 \text{ cm}^2$$

Area gruesa sujeta a tensión

$$A_{gt} = (5) (0.03) = 1.50 \text{ cm}^2$$

Area neta sujeta a corte

$$A_{nv} = 1.50 - (0.3)(2)(1/2)(1.27+0.16) = 0.429 \text{ cm}^2$$

Area neta sujeta a tensión

$$A_{nt} = 1.50 - (0.3)(2)(1/2)(1.27+0.16) = 0.429 \text{ cm}^2$$

$$F_u A_{nt} = (4086,372) (0.429) = 1753.05 \text{ kg}$$

$$0.6 F_u A_{nv} = (0.6) (4086,372) (0.429) = 1051.83 \text{ kg}$$

Si $F_u A_{nt} > 0.6 F_u A_{nv}$

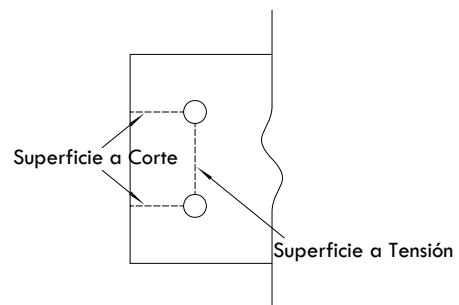
$$R_n = 0.6 F_u A_{nv} + F_u A_{nt}$$

$$R_n = 1753.05 + 1051.83 = 2804.88 \text{ kg} = 2.80 \text{ T}$$

Para uniones empernadas

$$\phi (\text{LFRD}) = 0.65 \text{ cortante simple}$$

$$\phi R_n = 0.65 (2804.88) = 1823.172 \text{ kg} = 1.82 \text{ T}$$



(Eq.E5.3.-1 AISI 2001)

TECNICAS DE PROCESAMIENTO, ANÁLISIS Y VALIDACIÓN DE LOS RESULTADOS.

Durante el desarrollo de diseño de los elementos, se desarrollo paralelamente un diseño bajo requerimientos AISC, para demostrar la validez y confiabilidad de los requerimientos AISI

<i>Elemento</i>	<i>Perfil</i>	<i>Esfuerzo</i>	
		<i>AISC</i> [T]	<i>AISI</i> [T]
<i>Diseño de Elementos a Tensión</i>	<i>C50x25x2</i>	3.14	2.72
<i>Diseño de Elementos a Tensión</i>	<i>L40x40x2</i>	3.04	2.54

Tabla 4.1 Diseño de Elementos a Tensión

<i>Elemento</i>	<i>Perfil</i>	<i>Esfuerzo</i>	
		<i>AISC</i> [T m]	<i>AISI</i> [T m]
<i>Diseño de Elementos a Flexión</i>	<i>C200x100x10</i>	N/A ²	4.73

Tabla 4.2 Diseño de Elementos a Flexión

<i>Elemento</i>	<i>Perfil</i>	<i>Esfuerzo</i>	
		<i>AISC</i> [T m]	<i>AISI</i> [T m]
<i>Diseño de Elementos sujeto a Pandeo Lateral</i>	<i>C200x100x10</i>	N/A	4.73

Tabla 4.3 Diseño de Elementos sujetos a Pandeo Lateral

<i>Elemento</i>	<i>Perfil</i>	<i>Esfuerzo</i>	
		<i>AISC</i> [T]	<i>AISI</i> [T]
<i>Diseño de Elementos a Corte</i>	<i>C200x100x10</i>	N/A	4.73

Tabla 4.4 Diseño de Elementos a Corte

<i>Elemento</i>	<i>Perfil</i>	<i>Esfuerzo</i>	
		<i>AISI</i> $\sqrt{\left(\frac{\bar{M}}{\phi_b M_{nxo}}\right)^2 + \left(\frac{\bar{V}}{\phi_v V_n}\right)^2} \leq 1.0$	
<i>Combinación de Esfuerzos Flexión y Corte</i>	<i>C200x100x10</i>	0.98	

Tabla 4.5 Combinación de Esfuerzos a Flexión y Corte

<i>Elemento</i>	<i>Perfil</i>	<i>Esfuerzo</i>	
		<i>AISC</i> [T]	<i>AISI</i> [T]
<i>Resistencia a la Abolladura de Alma</i>	<i>C200x100x10</i>	N/A	17.67

Tabla 4.6 Resistencia a la Abolladura del Alma

<i>Elemento</i>	<i>Perfil</i>	<i>Esfuerzo</i>	
		<i>AISI</i> $0.91\left(\frac{\bar{P}}{P_n}\right) + \left(\frac{\bar{M}}{M_{nxo}}\right) \leq 1.33\phi$	
<i>Combinación de Flexión y Abolladura del Alma</i>	<i>C200x100x10</i>	1.03 < 1.197	

Tabla 4.7 Combinación de Flexión y Abolladura del Alma

² No Aplicable

<i>Elemento</i>	<i>Perfil</i>	<i>Esfuerzo</i>	
		<i>AISC</i> <i>[T]</i>	<i>AISI</i> <i>[T]</i>
<i>Diseño de Elementos a Compresión</i>	<i>C200x100x10</i>	7.35	6.97

Tabla 4.8 Diseño de Elementos a Compresión

<i>Elemento</i>	<i>Perfil</i>	<i>Esfuerzo</i>	
		<i>AISI</i>	
		$\frac{\bar{M}_x}{\phi_b M_{nxt}} + \frac{\bar{M}_y}{\phi_b M_{nyt}} + \frac{\bar{T}}{\phi_t P_n} \leq 1.0$	
<i>Combinación de Tensión Axial y Flexión</i>	<i>C200x100x10</i>	0.88 ≤ 1.0	

Tabla 4.9 Combinación de Tensión Axial y Flexión

<i>Elemento</i>	<i>Perfil</i>	<i>Esfuerzo</i>	
		<i>AISI</i>	
		$\frac{P}{\phi_c P_n} + \frac{C_{mx} \bar{M}_x}{\phi_b M_{nx} \alpha_x} \leq 1.0$	
<i>Combinación de Compresión Axial y Flexión</i>	<i>C200x100x10</i>	1.01 ≅ 1.0	

Tabla 4.10 Combinación de Compresión Axial y Flexión

<i>Elemento</i>	<i>Ejemplo</i>	<i>Esfuerzo</i>	
		<i>AISC</i> <i>[T]</i>	<i>AISI</i> <i>[T]</i>
<i>Soldaduras de Ranura en Uniones a Tope</i>	13.1	N/A	3.95

Tabla 4.11 Soldaduras de Ranura en Uniones a Tope

<i>Elemento</i>	<i>Ejemplo</i>	<i>Esfuerzo</i>	
		<i>AISC</i> <i>[T]</i>	<i>AISI</i> <i>[T]</i>
<i>Puntos de Soldadura por Arco</i>	13.2	N/A	2.23

Tabla 4.12 Puntos de Soldadura por Arco

<i>Elemento</i>	<i>Ejemplo</i>	<i>Esfuerzo</i>	
		<i>AISC</i> <i>[T]</i>	<i>AISI</i> <i>[T]</i>
<i>Soldaduras de Filete</i>	13.3	N/A	2.74

Tabla 4.13 Soldaduras de Filete

<i>Elemento</i>	<i>Ejemplo</i>	<i>Esfuerzo</i>	
		<i>AISC</i> <i>[T]</i>	<i>AISI</i> <i>[T]</i>
<i>Soldaduras de ranura Biselada</i>	13.4	N/A	6.97

Tabla 4.14 Soldaduras de Ranura Biselada

<i>Elemento</i>	<i>Ejemplo</i>	<i>Esfuerzo</i>	
		<i>AISC</i> <i>[T]</i>	<i>AISI</i> <i>[T]</i>
<i>Diseño de Uniones Empernadas</i>	14.1	N/A	2.97

Tabla 4.15 Diseño de Uniones Empernadas

Es importante notar que el diseño bajo los requerimientos AISI es más conservador en comparación a los requerimientos AISC y que es únicamente aplicable en tensión y compresión pura.

Nota: N/A: Dentro de los requisitos generales AISC el diseño de miembros sujetos a Flexión se aplicará únicamente a perfiles laminados en caliente de acuerdo con las especificaciones ASTM A6/AM por lo que no es aplicable para perfiles conformados en frío.

CONCLUSIONES

- ✓ Con el desarrollo de las propiedades geométricas y resistentes de los perfiles conformados en frío de producción nacional, se pudo diseñar vigas y columnas con el método de diseño LRFD sujetas a requerimientos AISI, como se demostró en los ejercicios desarrollados en el Capítulo III, Sección 3.3 Diseño de elementos.
- ✓ Se utilizó el Método de Diseño LRFD no con el propósito específico de obtener ventajas económicas inmediatas, sino que esta proporciona una confiabilidad mas uniforme para las estructuras de acero. En el método ASD se usa el mismo factor de seguridad para las cargas muertas y para las vivas, lo que no ocurre con el método LRFD se usa un factor de seguridad mucho menor para cargas muertas puesto que estas pueden ser calculadas con mayor exactitud que las vivas.
- ✓ Con el trabajo desarrollado se presenta una alternativa para el diseño de una estructura al momento de decidir tanto el material y el método a ser utilizado con la utilización de perfilería metálica de producción nacional.
- ✓ Los diferentes elementos que se diseñaron en el Capítulo III, Sección 3.3 con el método de diseño LRFD utilizando perfiles de producción nacional, están sujetas a normas AISI las mismas que son recomendadas por el método.
- ✓ El diseño de elementos estructurales con la utilización de cables de acero resulta ser muy práctico en casos específicos en donde los miembros trabajan exclusivamente a tensión, puesto que el esfuerzo a fluencia de un cable es mucho más alto en comparación a un perfil metálico.
- ✓ Es importante mencionar que los valores tabulados para perfiles conformados en frío bajo la NTE INEN 1 623:2000 con respecto a la Inercia, Radio de Giro y Modulo Resistente tuvieron una modificación, ya que estos presentaban cierta variación con los obtenidos manualmente y mediante la utilización de un software.
- ✓ Los valores que se muestran tabulados en la NTE INEN 1 623:2000 para perfiles conformados en frío, con respecto a su geometría, el radio interno, presenta un valor que se ha modificado por la Comisión Técnica de esta Norma, considerando R igual a 1.5 veces el espesor para perfiles iguales y hasta 6 mm y 2 veces para perfiles con un espesor mayor a 6 mm. Estas modificaciones a su vez se encuentran en procesos de aprobación y publicación.
- ✓ Las Especificaciones AISI hace únicamente referencia a un diseño elástico en elementos a flexión con una ampliación del Momento Nominal basado en la reserva

de la capacidad Inelástica es decir en la iniciación de la plastificación del material que no debe exceder de $1.25 S_e F_y$ a diferencia de las Especificaciones AISC que hace referencia a un diseño plástico $Z_x F_y$.

- ✓ En nuestro medio la disponibilidad de los perfiles conformados en frío en cuanto tiene que ver con la calidad del acero se obtienen generalmente a partir de un acero de calidad ASTM A36 y de otras calidades únicamente previa consulta.
- ✓ Las especificaciones AISC se han desarrollado específicamente para perfiles Laminados en Caliente estas especificaciones en nuestro medio son de gran aplicabilidad para perfiles construidos a partir de planchas de acero.

RECOMENDACIONES

- ✓ Se recomienda tener un conocimiento básico del método de diseño ASD con la finalidad de no confundir conceptos con el método de diseño LRFD y hacer referencia de las especificaciones AISC únicamente cuando el las condiciones así lo amerite.
- ✓ Para el diseño de elementos estructurales con la utilización de perfiles conformados en frío es necesario hacer referencia de especificaciones actualizadas, para ello este trabajo hace referencia a North American Specification for the Design of Cold – Formed Steel Structural Members AISI 2001 que actualmente se encuentran en vigencia.
- ✓ Se recomienda incluir más perfiles de los que constan en la norma NTE INEN 1623:2000, a partir de de los requerimientos AISI 2001 para secciones conformadas en frío de hasta 25,4 mm de espesor y perfiles Z con o sin bordes rigidizadores que no constan en esta norma.
- ✓ Las especificaciones que hemos citado son de origen estadounidense por lo que es recomendable tener un correcto manejo de las unidades, las mismas que son determinantes en el diseño.
- ✓ Deberían adoptarse o hacer referencia a estas especificaciones en nuestro País, pues ciertos países latinoamericanos han tomado esta iniciativa entre estos países se encuentra Argentina.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] AGUIAR, Roberto. Análisis Matricial de Estructuras. Edit. ESPE, Escuela Politécnica del Ejército. Ecuador-1995.
- [2] MERRIT, Frederick, et al. Manual del Ingeniero Civil, 4^{ta} ed., Edit. McGraw Hill, México, 2001.
- [3] MERRIT, Frederick, et al. Manual Integral para Diseño y Construcción, 5^{ta} ed., Edit. McGraw Hill, Colombia, 1997.
- [4] XIV JORNADAS NACIONALES DE INGENIERÍA ESTRUCTURAL. Memorias Técnicas. Cuenca-Ecuador 2001.

- [5] XVI JORNADAS NACIONALES DE INGENIERÍA ESTRUCTURAL. Memorias Técnicas. Guayaquil-Ecuador 2003.
- [6] ARELLANO, Roberto E. Diseño de Estructuras de Acero. Parte I. Diseño por Esfuerzos Permisibles. Politécnica Nacional. Quito Ecuador.
- [7] MC CORMAC, J.C. Diseño de Estructuras de Acero Método LRFD. Alfa omega. 1991. ISBN 9668-6223-28-2
- [8] VALENCIA, Clement Gabriel - ESTRUCTURAS DE ACERO. Diseño con factores de carga y de resistencia. Segunda Edición. ISBN 958-8060-38-9. Colombia 2004.
- [9] LOAD & RESISTANCE FACTOR DESIGN. Manual of Steel Construction. Volume I Structural Members, Specifications, & Codes Volume II Connections. Copyright © 1994. ISBN 1-56424-041-X ISBN 1-56424-042-8. Printed in the United States of America
- [10] NORTH AMERICAN SPECIFICATION FOR THE DESIGN OF COLD FORMED STEEL STRUCTURAL MEMBERS. 2001 Edition, Approved in Canada by the Canadian Standards Association, Approved in Mexico by Canacero, 1st Printing – June 2002, Supplement 2004 to the North American Specification for the Design of Cold – Formed Steel Structural Members, 2001 Edition. Produced by American Iron and Steel Institute. Copyright American Iron and Steel Institute and Canadian Standards Association 2002.
- [11] AISI MANUAL. Cold - Formed Steel Design. Produced by Computerized Structural Design, S.C. Milwaukee Wisconsin. First Printing – September, 2003 Copyright American Iron and Steel Institute, 2003.
- [12] COMMENTARY ON NORTH AMERICAN SPECIFICATION FOR THE DESIGN OF COLD FORMED STEEL STRUCTURAL MEMBERS, 1st Printing – June 2002, Supplement 2004 to the North American Specification for the Design of Cold – Formed Steel Structural Members, 2001 Edition. Produced by American Iron and Steel Institute. Copyright American Iron and Steel Institute 2002.
- [13] CERVERA Ruiz Miguel & BLANCO Díaz Elena. Mecánica de Estructuras Libro 1 - Resistencia de Materiales. Segunda Edición, Septiembre del 2003. ISBN 84-8301-623-0. Barcelona - España.
- [14] INEN. Código Ecuatoriano de la Construcción. Peligro Sísmico, Espectros de Diseño y requisitos mínimos de cálculo para Diseño Sismo-Resistente. Ecuador-2000
- [15] INEN. Código Ecuatoriano de Construcción (Parte reglamentaria), Ecuador, 1977.
- [16] AISC. AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION, INC. Specification for Structural Steel Buildings. One East Wacker Drive, Suite 3100 Chicago, Illinois 60601-2001. March 9 – 2005. Printed in the United States of America.

[17] NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 1 623:2000. Primera Revisión ACEROS. PERFILES ESTRUCTURALES CONFORMADOS EN FRÍO. REQUISITOS E INSPECCIÓN. Primera Edición STEEL. COLD FORMED STRUCTURALS PROFILES. SPECIFICATIONS. AND INSPECTION. First Edition

[18] ASD. American Institute of Steel Construction, Inc. (1989), Specification for Structural Steel Buildings—Allowable Stress Design and Plastic Design, Chicago, IL, 1989.

[19] NEO 1. Norma Estándar Operacional Con Cables de Acero. Eslingas/Estrobo. Manejo de Cargas. Editada y Publicada por Dirección de Administración y Protección de los Recursos Subgerencia Gestión Integral de Seguridad, Calidad y Ambiente CODELCO-Chile, División Chuquicamata.