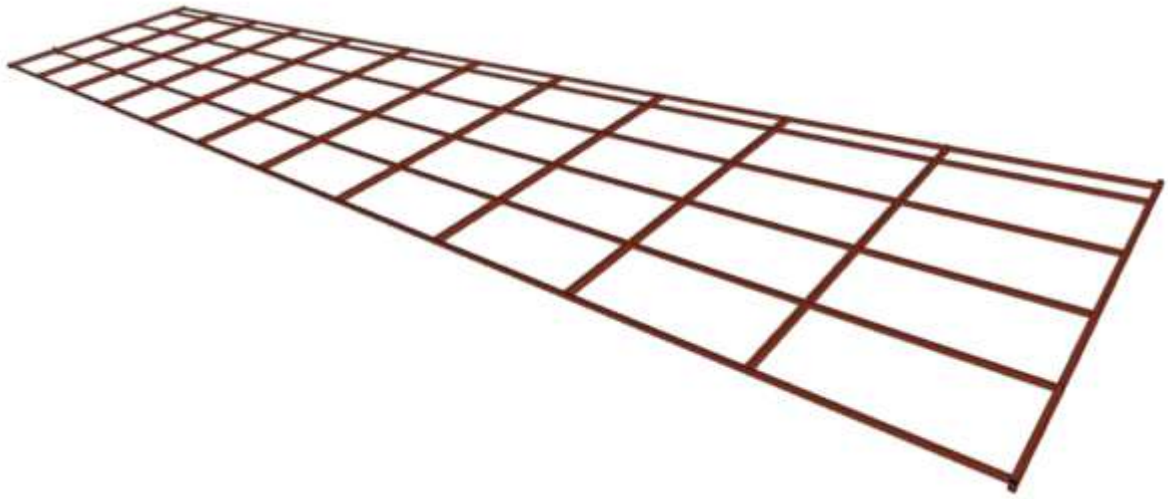
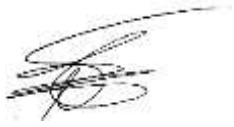
DISEÑO ESTRUCTURAL DE LA CUBIERTA METÁLICA EN LA I.E. SANTANDER SEDE C EN LA CIUDAD DE BUCARAMANGA SANTANDER



DISEÑO:



I.C. Mg. ANDRÉS FELIPE SANDOVAL MANTILLA
MAT. 68202-324734 STD

Revisión	Fecha	Descripción	Elaboró	Revisó	Aprobó
1	AGO 2025	EMITIDO PARA REVISIÓN	A.F.S.M.		

TABLA DE CONTENIDO

1 DATOS GENERALES DE LA ESTRUCTURA 3

2 NORMAS CONSIDERADA 3

3 MATERIALES UTILIZADOS 3

4 ACCIONES CONSIDERADAS 3

4.1 CARGAS SOBREIMPUESTAS 3

5 COMBINACIONES 4

6 MODELO MATEMÁTICO 5

7 DISEÑO DE LOS ELEMENTOS 7

7.1 DISEÑO DE ELEMENTOS 8

7.1.1 DISEÑO PERFIL RECTANGULAR 100X50X4.0mm 8

7.1.2 DISEÑO DE CORREAS 60X40X2.50mm 28

8 BIBLIOGRAFÍA 48

TABLA DE IMAGEN

Imagen 1 Geometría y nodos del modelo matemático 5

Imagen 2 Elementos asignados. 5

Imagen 3 Aplicación de las cargas. 6

Imagen 4 Revisión del cumplimiento de los elementos. 7

Revisión	Fecha	Descripción	Elaboró	Revisó	Aprobó
1	AGO 2025	EMITIDO PARA REVISIÓN	A.F.S.M.		

1 DATOS GENERALES DE LA ESTRUCTURA

Proyecto: DISEÑO ESTRUCTURAL DE LA CUBIERTA METÁLICA EN LA I.E. SANTANDER SEDE C EN LA CIUDAD DE BUCARAMANGA SANTANDER
Se trata de una estructura de correas de sección 60x40x2.5mm que se apoyas sobre vigas tubulares rectangulares de sección 100x50x4.00mm que a su vez se apoyan sobre muros existentes.
El coeficiente de importancia para este proyecto se definió como I=1.10.

2 NORMAS CONSIDERADA

Cimentación: NSR-10

Aceros laminados y armados: ANSI/AISC 360-10 (LRFD)

Hormigón: NSR-10

Categoría de uso: Garajes y áreas de pública concurrencia

3 MATERIALES UTILIZADOS

Materiales utilizados							
Material		E	n	G	f_y	$a_{\cdot t}$	g
Tipo	Designación	(MPa)		(MPa)	(MPa)	(m/m°C)	(kN/m³)
Acero laminado	A572 50ksi	200000.00	0.300	80000.00	345.00	0.000012	77.01
Hormigón	f'c=210	21551.49	0.200	8979.79	-	0.000010	24.53

Notación:
E: Módulo de elasticidad
n: Módulo de Poisson
G: Módulo de cortadura
f_y: Límite elástico
$a_{\cdot t}$: Coeficiente de dilatación
g: Peso específico

4 ACCIONES CONSIDERADAS

4.1 Cargas sobreimpuestas

Cargas vivas (kN/m²)	Carga teja tipo sándwich (kN/m²)	Viento Succión (kN/m²)	Viento Compresión (kN/m²)	Instalaciones (kN/m²)
0.35	0.35	0.40	0.40	0.15

5 COMBINACIONES

- Nombres de las hipótesis

PP Peso propio
CM 1 CM 1
Q 1 Q 1

- E.L.U. de rotura. Acero laminado

Comb.	PP	CM 1	Q 1	T 1	SX	SY
1	1.400	1.400				
2	1.200	1.200				
3	1.200	1.200	1.600			
28	0.900	0.900			0.300	1.000
29	0.900	0.900			-0.300	1.000
30	0.900	0.900			1.000	0.300
31	0.900	0.900			1.000	-0.300

6 MODELO MATEMÁTICO

Se realiza un modelo matemático de elementos finito en el software Cype 3D, al cual se aplican las cargas del peso propio de los elementos como el peso propio de la cubierta, el peso propio de esta se aplica sobre un elemento "paño" cuya función es únicamente la de trasmitir cargas. Además, se agregan las cargas muertas provenientes de los peldaños y la carga viva sobre estos.

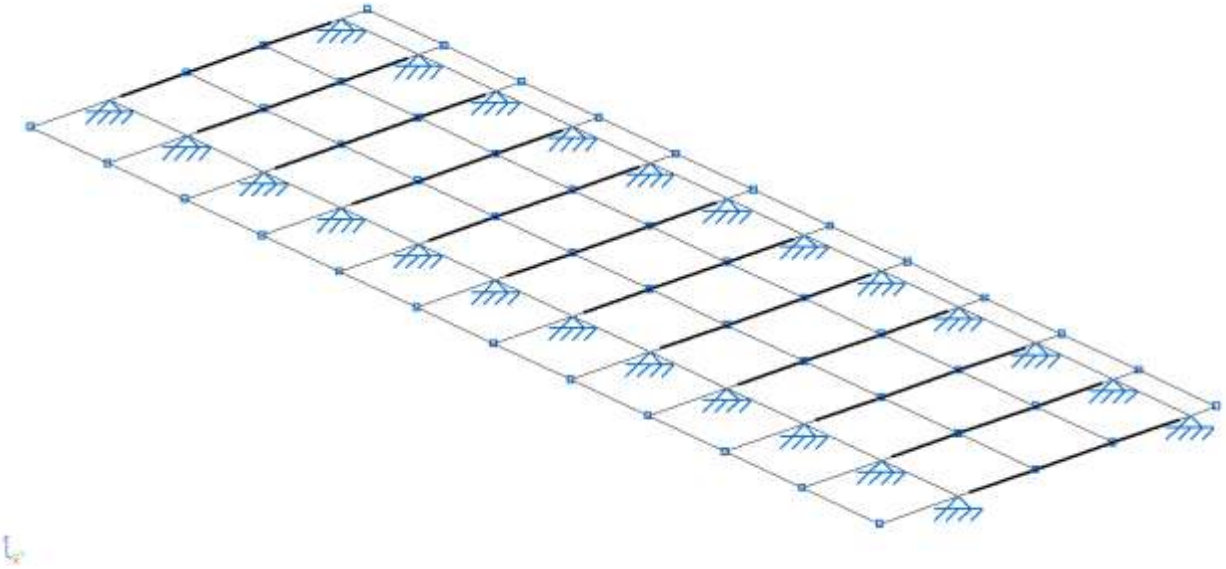


Imagen 1 Geometría y nodos del modelo matemático

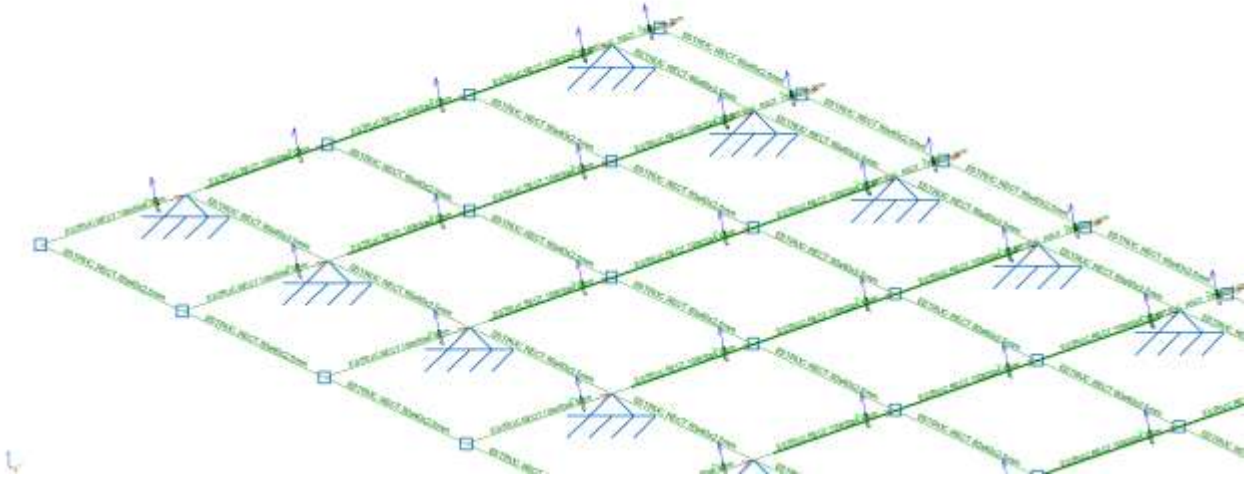


Imagen 2 Elementos asignados.

Revisión	Fecha	Descripción	Elaboró	Revisó	Aprobó
1	AGO 2025	EMITIDO PARA REVISIÓN	A.F.S.M.		

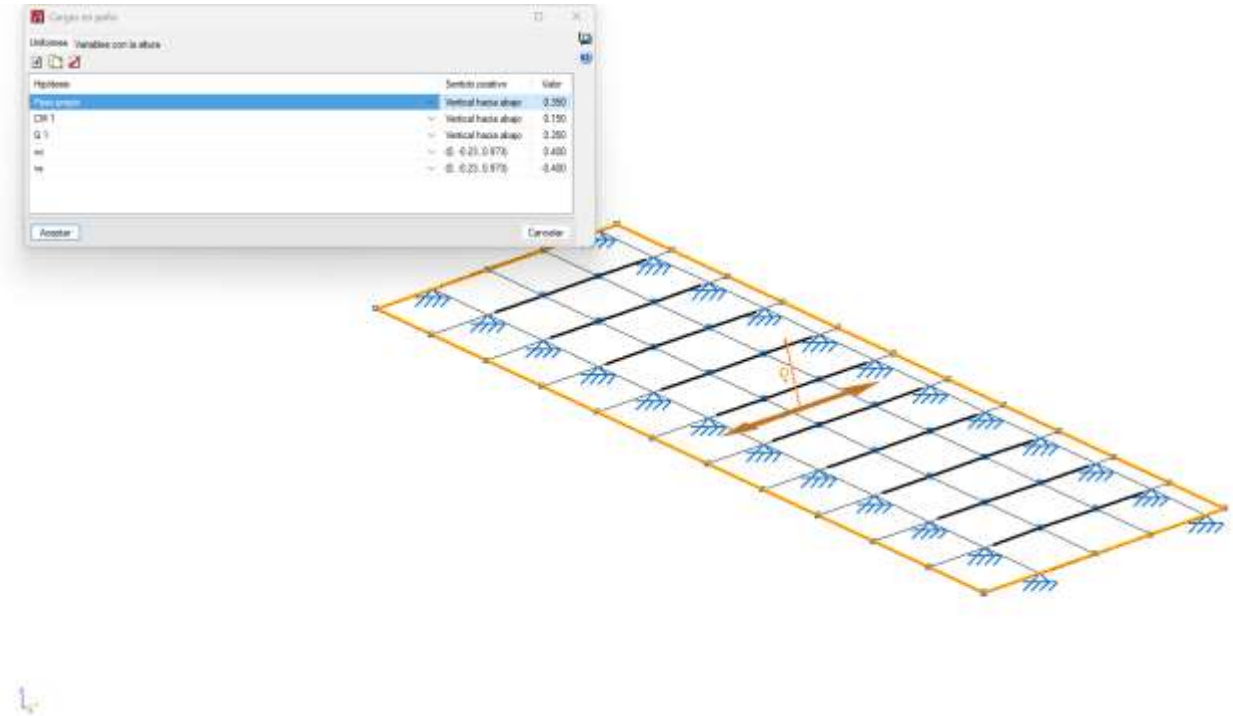


Imagen 3 Aplicación de las cargas.

7 DISEÑO DE LOS ELEMENTOS

Una vez generada la geometría y aplicadas las cargas sobre la estructura, se realizan los cálculos correspondientes. A continuación, se muestra la imagen de la estructura en donde se observa que todos los elementos cumplen las comprobaciones de resistencia.

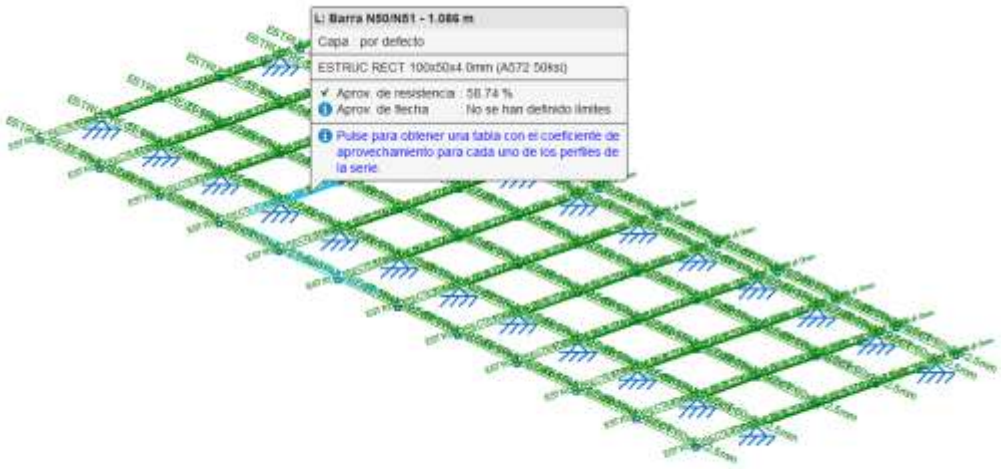


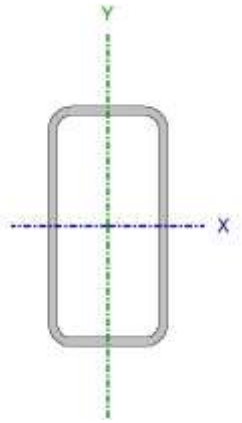
Imagen 4 Revisión del cumplimiento de los elementos.

7.1 DISEÑO DE ELEMENTOS

A continuación, se presentan los cálculos para las secciones tipo con mayor solicitación.

7.1.1 DISEÑO PERFIL RECTANGULAR 100X50X4.0mm

Perfil: ESTRUC RECT 100x50x4.0mm
Material: Acero (A572 50ksi)



Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
Inicial	Final		Área (cm²)	I_x(1) (cm4)	I_y(1) (cm4)	I_t(2) (cm4)
N38	N39	1.086	10.80	130.05	43.79	112.90

Notas:
(1) Inercia respecto al eje indicado
(2) Momento de inercia a torsión uniforme

	Pandeo		Pandeo lateral	
	Plano ZX	Plano ZY	Ala sup.	Ala inf.
β	1.00	1.00	0.00	0.00
L_K	1.086	1.086	0.000	0.000
C_m	1.000	1.000	-	-
C_b	-		1.000	

Notación:
β: Coeficiente de pandeo
L_K: Longitud de pandeo (m)
C_m: Coeficiente de momentos
C_b: Factor de modificación para el momento crítico

Barra	COMPROBACIONES (AISI S100-07 (2007))															Estado
	w / t	T	P	Tr	M_x	M_y	V_x	V_y	M_xTr	M_yTr	M_xV_y	M_yV_x	MT	MP	TPTrMV	
N38/N39	w / t ≤ (w / t)Máx. Cumple	x: 1.086 m η = 4.1	x: 1.086 m η = 5.6	η = 0.3	x: 0 m η = 65.7	x: 0 m η = 6.9	x: 0.905 m η = 1.2	x: 0 m η = 5.8	x: 0 m η = 65.8	x: 0 m η = 7.0	x: 0 m η = 43.6	x: 0 m η = 0.5	x: 0 m η = 70.2	x: 0 m η = 50.5	x: 0 m η = 69.8	**CUMPLE η = 70.2**

Notación:
w / t: Limitaciones geométricas
T: Resistencia a tracción
P: Resistencia a compresión
Tr: Resistencia a torsión
M_x: Resistencia a flexión alrededor del eje X
M_y: Resistencia a flexión alrededor del eje Y
V_x: Resistencia a corte en la dirección del eje X
V_y: Resistencia a corte en la dirección del eje Y
M_xTr: Resistencia a flexión alrededor del eje X combinada con torsión
M_yTr: Resistencia a flexión alrededor del eje Y combinada con torsión
M_xV_y: Resistencia a flexión alrededor del eje X combinada con corte en la dirección del eje Y
M_yV_x: Resistencia a flexión alrededor del eje Y combinada con corte en la dirección del eje X
MT: Resistencia a flexión combinada con tracción
MP: Resistencia a flexión combinada con compresión
TPTrMV: Flexión combinada con cortante, axil y torsión - Comprobación de Von Mises
x: Distancia al origen de la barra
η: Coeficiente de aprovechamiento (%)

Limitaciones geométricas (B1)

Se debe satisfacer:

w_1 / t : ***7.50*** ✓

Donde:

w_1: Longitud del tramo recto del elemento horizontal (paralelo al eje X). w_1 : *30.00* mm

t: Espesor. **t** : *4.00* mm

w_2 / t : ***20.00*** ✓

Donde:

w_2: Longitud del tramo recto del elemento vertical (paralelo al eje Y). w_2 : *80.00* mm

t: Espesor. **t** : *4.00* mm

Resistencia a tracción (Apéndices A & B, C2)

Se debe satisfacer:

η_T : ***0.041*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N39, para la combinación de acciones 0.9·PP+0.9·CM1+0.3·SX+SY.

Donde:

T_f: Resistencia a tracción requerida para las combinaciones de carga LRFD. T_f : *13.62* kN

T_c: Resistencia de diseño a tracción.

T_c : *335.27* kN

Donde:

φ_t: Factor de resistencia para tracción. φ_t : *0.90*

T_n: La resistencia nominal a tracción es igual al valor calculado según la Sección C2.1 del Apéndice B: T_n : *372.52* kN

C2.1 Plastificación de la sección bruta.

T_n : *372.52* kN

Donde:

A_g: Área de la sección bruta. A_g : *10.80* cm²

F_y: Límite elástico del acero. F_y : *345.00* MPa

Resistencia a compresión (C4)

Se debe satisfacer:

η_C : ***0.056*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N39, para la combinación de acciones 1.2·PP+1.2·CM1-0.3·SX-SY.

Donde:

P_f: Resistencia a compresión requerida para las combinaciones de carga LRFD. P_f : *14.51* kN

P_c: Resistencia de diseño a compresión.

P_c : *256.77* kN

Donde:

φ_c: Factor de resistencia para compresión. φ_c : *0.85*

P_n: Resistencia nominal a compresión. P_n : *302.08* kN

C4.1 Resistencia nominal a compresión, considerando el efecto del pandeo por flexión, flexotorsión o torsión.

P_n : *302.08* kN

Donde:

A_e: Área de la sección eficaz. A_e : *10.80* cm²

Para

F_n : *279.76* MPa

Donde:

F_y: Límite elástico del acero. **F_y** : *345.00* MPa

λ_c : *0.71*

Donde:

F_y: Límite elástico del acero. **F_y** : *345.00* MPa

F_e: Tension elástica de pandeo a flexión calculada según las Secciones C4.1.1 a C4.1.4. **F_e** : *688.89* MPa

C4.1.1 Secciones no sometidas a pandeo por torsión o por flexotorsión.

F_{crit}: Tensión crítica de pandeo, tomada como la menor de F_{ex} y F_{ey}. **F_{crit}** : *688.89* MPa

Donde:

F_{ex} : *2046.05* MPa

Donde:

r_x : *34.70* mm

Donde:

I_x: Momento de inercia respecto al eje X. **I_x** : *130.05* cm4

A: Área de la sección bruta. **A** : *10.80* cm²

E: Módulo de Young. **E** : *203000.00* MPa

K_x: Factor de longitud eficaz para el eje X. **K_x** : *0.33*

L: Longitud de la barra. **L** : *3.263* m

F_{ey} : *688.89* MPa

Donde:

r_y : *20.14* mm

Donde:

I_y: Momento de inercia respecto al eje Y. **I_y** : *43.79* cm4

A: Área de la sección bruta. **A** : *10.80* cm²

E: Módulo de Young. **E** : *203000.00* MPa

K_y: Factor de longitud eficaz para el eje Y. **K_y** : *0.33*

L: Longitud de la barra. **L** : *3.263* m

C4.1.2 Secciones con uno o dos ejes de simetría sometidas a pandeo por torsión o por flexotorsión.

(ii) Para secciones con dos ejes de simetría.

Las comprobaciones de la Sección C4.1.2 no proceden, ya que las longitudes efectivas de pandeo lateral de este elemento son nulas.

Resistencia a torsión (Comprobación adicional)

Se debe satisfacer:

η_{Tr} : ***0.003*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.2·PP+1.2·CM1-0.3·SX-SY.

Donde:

Tr_f: Resistencia requerida a torsión, utilizando las combinaciones de carga LRFD. **Tr_f** : *0.02* kN·m

Tr_c: Resistencia de diseño a torsión.

Tr_c : *6.50* kN·m

Donde:

φ_{Tr}: Factor de resistencia para torsión, tomado de AISC-05. φ_{Tr} : *0.90*

Tr_n: Resistencia nominal a torsión.

Tr_n : *7.22* kN·m

Donde:

C: Módulo resistente a torsión.

C : *34.89* cm³

Donde:

A_c: Área encerrada por la línea media de los elementos que componen la sección. **A_c** : *43.61* cm²

t: Espesor. **t** : *4.00* mm

F_n : *207.00* MPa

Donde:

F_y: Límite elástico del acero. **F_y** : *345.00* MPa

Resistencia a flexión alrededor del eje X (C3.1)

Se debe satisfacer:

η_B : ***0.657*** ✓

M_f: Resistencia a flexión crítica requerida para las combinaciones de carga LRFD. **M_f** : *5.60* kN·m

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N38, para la combinación de acciones 0.9·PP+0.9·CM1-0.3·SX-SY.

M_f^+: Resistencia requerida para flexión positiva. **M_f^+** : *2.41* kN·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N38, para la combinación de acciones 1.2·PP+1.2·CM1+0.3·SX+SY.

M_f^-: Resistencia requerida para flexión negativa. **M_f^-** : *5.60* kN·m

M_c: Resistencia de diseño a flexión.

M_c : *8.52* kN·m

Donde:

φ_b: Factor de resistencia para flexión. **φ_b** : *0.95*

M_n: La resistencia a flexión nominal mínima se calcula como la menor de las calculadas en los apartados aplicables del Capítulo C3.1. **M_n** : *8.97* kN·m

Donde:

M_n^+: La resistencia a flexión nominal se calcula como la menor de las calculadas en los apartados aplicables del Capítulo C3.1 para flexión positiva. **M_n^+** : *8.97* kN·m

M_n^-: La resistencia a flexión nominal se calcula como la menor de las calculadas en los apartados aplicables del Capítulo C3.1 para flexión negativa. **M_n^-** : *8.97* kN·m

C3.1.1 Resistencia nominal de la sección.

La resistencia a flexión nominal se calcula según el Apartado C3.1.1, ya que se cumple la siguiente condición:

Donde:

L_{ub}: Separación entre arriostramientos laterales de la barra. L_{ub} : *0.000* m

L_u : *11.156* m

Donde:

C_b: Coeficiente de momentos, que depende de la ley de momentos flectores. C_b : *1.0*

F_y: Límite elástico del acero. F_y : *345.00* MPa

S_{fx} : *26.01* cm³

Donde:

I_x: Momento de inercia respecto al eje X. I_x : *130.05* cm4

I_y: Momento de inercia respecto al eje Y. I_y : *43.79* cm4

I_{xy}: Producto de inercia. I_{xy} : *0.00* cm4

x_c: Distancia a la fibra extrema comprimida en flexión. x_c^+ : *15.00* mm

x_c^- : *-15.00* mm

y_c: Distancia a la fibra extrema comprimida en flexión. y_c^+ : *50.00* mm

y_c^- : *-50.00* mm

E: Módulo de Young. **E** : *203000.00* MPa

G: Módulo de elasticidad transversal. **G** : *78076.92* MPa

J: Momento de inercia a torsión uniforme. **J** : *112.90* cm4

M_n : *8.97* kN·m

Donde:

S_{ex} : *26.01* cm³

Donde:

I_{ex}: Momento eficaz de inercia respecto al eje X. I_{ex} : *130.05* cm4

I_{ey}: Momento eficaz de inercia respecto al eje Y. I_{ey} : *43.79* cm4

I_{exy}: Producto eficaz de inercia. I_{exy} : *0.00* cm4

x: Distancia a la fibra extrema en flexión. **x** : *-15.00* mm

y: Distancia a la fibra extrema en flexión. **y** : *-50.00* mm

F_y: Límite elástico del acero. F_y : *345.00* MPa

Resistencia a flexión alrededor del eje Y (C3.1)

Se debe satisfacer:

η_B : ***0.069*** ✓

M_f: Resistencia a flexión crítica requerida para las combinaciones de carga LRFD. M_f : *0.40* kN·m

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N38, para la combinación de acciones 1.2·PP+1.2·CM1+SX+0.3·SY.

M_f^+: Resistencia requerida para flexión positiva. M_f^+ : *0.40* kN·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N38, para la combinación de acciones 1.2·PP+1.2·CM1-SX-0.3·SY.

M_f^-: Resistencia requerida para flexión negativa. M_f^- : *0.40* kN·m

M_c: Resistencia de diseño a flexión.

M_c : *5.74* kN·m

Donde:

φ_b: Factor de resistencia para flexión. φ_b : *0.95*

M_n: La resistencia a flexión nominal mínima se calcula como la menor de las calculadas en los apartados aplicables del Capítulo C3.1. M_n : *6.04* kN·m

Donde:

M_n^+: La resistencia a flexión nominal se calcula como la menor de las calculadas en los apartados aplicables del Capítulo C3.1 para flexión positiva. M_n^+ : *6.04* kN·m

M_n^-: La resistencia a flexión nominal se calcula como la menor de las calculadas en los apartados aplicables del Capítulo C3.1 para flexión negativa. M_n^- : *6.04* kN·m

C3.1.1 Resistencia nominal de la sección.

La resistencia a flexión nominal se calcula según el Apartado C3.1.1, ya que se cumple la siguiente condición:

Donde:

L_{ub}: Separación entre arriostramientos laterales de la barra. L_{ub} : *0.000* m

L_u : *28.552* m

Donde:

C_b: Coeficiente de momentos, que depende de la ley de momentos flectores. C_b : *1.0*

F_y: Límite elástico del acero. F_y : *345.00* MPa

S_{fy} : *17.51* cm³

Donde:

I_x: Momento de inercia respecto al eje X. I_x : *130.05* cm4

I_y: Momento de inercia respecto al eje Y. I_y : *43.79* cm4

I_{xy}: Producto de inercia. I_{xy} : *0.00* cm4

x_c: Distancia a la fibra extrema comprimida en flexión. x_c^+ : *25.00* mm

x_c^- : *-25.00* mm

y_c: Distancia a la fibra extrema comprimida en flexión. y_c^+ : *-40.00* mm

y_c^- : *40.00* mm

E: Módulo de Young. **E** : *203000.00* MPa

G: Módulo de elasticidad transversal. **G** : *78076.92* MPa

J: Momento de inercia a torsión uniforme. **J** : *112.90* cm4

M_n : *6.04* kN·m

Donde:

S_{ey} : *17.51* cm³

Donde:

I_{ex}: Momento eficaz de inercia respecto al eje X. I_{ex} : *130.05* cm4

I_{ey}: Momento eficaz de inercia respecto al eje Y. I_{ey} : *43.79* cm4

I_{exy}: Producto eficaz de inercia. I_{exy} : *0.00* cm4

x: Distancia a la fibra extrema en flexión. **x** : *-25.00* mm

y: Distancia a la fibra extrema en flexión. **y** : *40.00* mm

F_y: Límite elástico del acero. F_y : *345.00* MPa

Resistencia a corte en la dirección del eje X (C3.2)

Se debe satisfacer:

η_v : ***0.012*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.905 m del nudo N38, para la combinación de acciones 1.2·PP+1.2·CM1-SX-0.3·SY.

Donde:

V_f: Resistencia a cortante requerida para las combinaciones de carga LRFD. **V_f** : *0.29* kN

La resistencia a corte requerida se ha reducido de forma que la fuerza aplicada se distribuye entre todos los elementos, puesto que la sección tiene más de un elemento que resiste cortante.

V_c: Resistencia de diseño a cortante.

V_c : *23.60* kN

Donde:

φ_v: Factor de resistencia para cortante. φ_v : *0.95*

V_n: La resistencia nominal a cortante es el menor de los valores calculados según la Sección C3.2.1. **V_n** : *24.84* kN

C3.2.1 Resistencia a cortante del alma descontando los agujeros.

V_n : *24.84* kN

Donde:

A_w: Área de los elementos paralelos a la dirección del cortante.

A_w : *1.20* cm²

Donde:

h: Altura del tramo recto del alma. **h** : *30.00* mm

t: Espesor de los elementos paralelos a la dirección del cortante. **t** : *4.00* mm

(a) Para

F_v : *207.00* MPa

Donde:

h: Altura del tramo recto del alma. **h** : *30.00* mm

t: Espesor de los elementos paralelos a la dirección del cortante. **t** : *4.00* mm

E: Módulo de Young. **E** : *203000.00* MPa

F_y: Límite elástico del acero. **F_y** : *345.00* MPa

1.Para almas sin rigidizadores transversales:

K_v: Coeficiente de abolladura por cortante. **K_v** : *5.34*

Resistencia a corte en la dirección del eje Y (C3.2)

Se debe satisfacer:

η_V : ***0.058*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N38, para la combinación de acciones 1.2·PP+1.2·CM1+0.3·SX+SY.

Donde:

V_f: Resistencia a cortante requerida para las combinaciones de carga LRFD. **V_f** : *3.62* kN

La resistencia a corte requerida se ha reducido de forma que la fuerza aplicada se distribuye entre todos los elementos, puesto que la sección tiene más de un elemento que resiste cortante.

V_c: Resistencia de diseño a cortante.

V_c : *62.93* kN

Donde:

φ_v: Factor de resistencia para cortante. φ_v : *0.95*

V_n: La resistencia nominal a cortante es el menor de los valores calculados según la Sección C3.2.1. **V_n** : *66.24* kN

C3.2.1 Resistencia a cortante del alma descontando los agujeros.

V_n : *66.24* kN

Revisión	Fecha	Descripción	Elaboró	Revisó	Aprobó
1	AGO 2025	EMITIDO PARA REVISIÓN	A.F.S.M.		

Donde:

A_w: Área de los elementos paralelos a la dirección del cortante.

A_w : *3.20* cm²

Donde:

h: Altura del tramo recto del alma. **h** : *80.00* mm

t: Espesor de los elementos paralelos a la dirección del cortante. **t** : *4.00* mm

(a) Para

F_v : *207.00* MPa

Donde:

h: Altura del tramo recto del alma. **h** : *80.00* mm

t: Espesor de los elementos paralelos a la dirección del cortante. **t** : *4.00* mm

E: Módulo de Young. **E** : *203000.00* MPa

F_y: Límite elástico del acero. **F_y** : *345.00* MPa

1.Para almas sin rigidizadores transversales:

K_v: Coeficiente de abolladura por cortante. **K_v** : *5.34*

Resistencia a flexión alrededor del eje X combinada con torsión (C3.6)

Se debe satisfacer:

η_B : ***0.658*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N38, para la combinación de acciones 1.2·PP+1.2·CM1+0.3·SX+SY.

Donde:

M_f: Resistencia requerida para flexión negativa. **M_f** : *5.60* kN·m

Revisión	Fecha	Descripción	Elaboró	Revisó	Aprobó
1	AGO 2025	EMITIDO PARA REVISIÓN	A.F.S.M.		

M_c: Resistencia de diseño a flexión, según C3.1. **M_c** : *8.52* kN·m

R: Factor de reducción de resistencia debido a la torsión.

R : *1.00*

Donde:

Las tensiones utilizadas en esta comprobación se han calculado en el siguiente punto, en el cual se produce la combinación pésima de tensiones normales y tangenciales.

x: Coordenada X del punto de cálculo respecto al centro de gravedad. **x** : *-15.00* mm

y: Coordenada Y del punto de cálculo respecto al centro de gravedad. **y** : *-50.00* mm

f_{bx}: Tensión normal debida a la flexión alrededor del eje X.

f_{bx} : *215.29* MPa

Donde:

M_{fx}: Resistencia requerida a flexión respecto al eje X para las combinaciones de carga LRFD. **M_{fx}** : *5.60* kN·m

I_x: Momento de inercia respecto al eje X. **I_x** : *130.05* cm4

f_{Tr}: Tensión tangencial debida a la torsión. **f_{Tr}** : *-0.36* MPa

<u>Resistencia a flexión alrededor del eje Y combinada con torsión</u> (C3.6)

Se debe satisfacer:

η_B : ***0.070*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N38, para la combinación de acciones 1.2·PP+1.2·CM1-SX-0.3·SY.

Donde:

M_f: Resistencia requerida para flexión negativa. **M_f** : *0.40* kN·m

M_c: Resistencia de diseño a flexión, según C3.1. **M_c** : *5.74* kN·m

R: Factor de reducción de resistencia debido a la torsión.

R : *0.99*

Donde:

Las tensiones utilizadas en esta comprobación se han calculado en el siguiente punto, en el cual se produce la combinación pésima de tensiones normales y tangenciales.

x: Coordenada X del punto de cálculo respecto al centro de gravedad. **x** : *-25.00* mm

y: Coordenada Y del punto de cálculo respecto al centro de gravedad. **y** : *40.00* mm

$\mathbf{f_{by}}$: Tensión normal debida a la flexión alrededor del eje Y.

$\mathbf{f_{by}}$: *22.63* MPa

Donde:

$\mathbf{M_{fy}}$: Resistencia requerida a flexión respecto al eje Y para las combinaciones de carga LRFD. $\mathbf{M_{fy}}$: *0.40* kN·m

$\mathbf{I_y}$: Momento de inercia respecto al eje Y. $\mathbf{I_y}$: *43.79* cm4

$\mathbf{f_{Tr}}$: Tensión tangencial debida a la torsión. $\mathbf{f_{Tr}}$: *0.17* MPa

Resistencia a flexión alrededor del eje X combinada con corte en la dirección del eje Y (C3.3)

Se debe satisfacer:

η : ***0.436*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N38, para la combinación de acciones 1.2·PP+1.2·CM1+0.3·SX+SY.

Donde:

(a) Para vigas sin rigidizadores transversales.

η : *0.436*

Donde:

R: Factor de reducción de resistencia debido a la torsión, calculado según C3.6. **R** : *1.00*

$\mathbf{M_{fx}}$: *5.60* kN·m

M_{fx}: Resistencia requerida a flexión respecto al eje X para las combinaciones de carga LRFD.

M_{cx}: Resistencia de diseño a flexión alrededor del eje X. **M_{cx}** : *8.52* kN·m

V_{fy}: Resistencia a cortante requerida en la dirección del eje Y para las combinaciones de carga LRFD. **V_{fy}** : *3.60* kN

V_{cy}: Resistencia de diseño a cortante en la dirección del eje Y. **V_{cy}** : *62.93* kN

Resistencia a flexión alrededor del eje Y combinada con corte en la dirección del eje X (C3.3)

Se debe satisfacer:

η : ***0.005*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N38, para la combinación de acciones 1.2·PP+1.2·CM1-SX-0.3·SY.

Donde:

(a) Para vigas sin rigidizadores transversales.

η : *0.005*

Donde:

R: Factor de reducción de resistencia debido a la torsión, calculado según C3.6. **R** : *0.99*

M_{fy}: Resistencia requerida a flexión respecto al eje Y para las combinaciones de carga LRFD. **M_{fy}** : *0.40* kN·m

M_{cy}: Resistencia de diseño a flexión alrededor del eje Y. **M_{cy}** : *5.74* kN·m

V_{fx}: Resistencia a cortante requerida en la dirección del eje X para las combinaciones de carga LRFD. **V_{fx}** : *0.28* kN

V_{cx}: Resistencia de diseño a cortante en la dirección del eje X. **V_{cx}** : *23.60* kN

Resistencia a flexión combinada con tracción (C5.1.2)

Se debe satisfacer:

η_f : ***0.702*** ✓

η : ***0.623*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N38, para la combinación de acciones 1.2·PP+1.2·CM1+0.3·SX+SY.

Donde:

η_f : *0.702*

Donde:

R_x: Factor de reducción de la resistencia a flexión alrededor del eje X debido a la torsión, calculado según C3.6. **R_x** : *1.00*

R_y: Factor de reducción de la resistencia a flexión alrededor del eje Y debido a la torsión, calculado según C3.6. **R_y** : *0.75*

φ_{bx}: Factor de resistencia para flexión alrededor del eje X. **φ_{bx}** : *0.95*

M_{fx}: Resistencia requerida a flexión respecto al eje X para las combinaciones de carga LRFD. **M_{fx}** : *5.60* kN·m

M_{nxt} : *8.97* kN·m

Donde:

S_{ftx} : *26.01* cm³

Donde:

I_x: Momento de inercia respecto al eje X. **I_x** : *130.05* cm4

I_y: Momento de inercia respecto al eje Y. **I_y** : *43.79* cm4

I_{xy}: Producto de inercia. **I_{xy}** : *0.00* cm4

x_t: Distancia a la fibra extrema traccionada en flexión alrededor del eje X. **x_t** : *15.00* mm

y_t: Distancia a la fibra extrema traccionada en flexión alrededor del eje X. **y_t** : *50.00* mm

F_y: Límite elástico del acero. **F_y** : *345.00* MPa

φ_{by}: Factor de resistencia para flexión alrededor del eje Y. **φ_{by}** : *0.95*

M_{fy}: Resistencia requerida a flexión respecto al eje Y para las combinaciones de carga LRFD. **M_{fy}** : *0.02* kN·m

M_{nyt} : *6.04* kN·m

Donde:

S_{fty} : *17.51* cm³

Donde:

I_x: Momento de inercia respecto al eje X. **I_x** : *130.05* cm4

I_y: Momento de inercia respecto al eje Y. **I_y** : *43.79* cm4

I_{xy}: Producto de inercia. **I_{xy}** : *0.00* cm4

x_t: Distancia a la fibra extrema traccionada en flexión alrededor del eje Y. **x_t** : *25.00* mm

y_t: Distancia a la fibra extrema traccionada en flexión alrededor del eje Y. **y_t** : *-40.00* mm

F_y: Límite elástico del acero. **F_y** : *345.00* MPa

φ_t: Factor de resistencia para tracción. **φ_t** : *0.90*

T_f: Resistencia a tracción requerida para las combinaciones de carga LRFD. **T_f** : *13.22* kN

T_n: Resistencia nominal a tracción, según la Sección C2. **T_n** : *372.52* kN

η : *0.623*

Donde:

R_x: Factor de reducción de la resistencia a flexión alrededor del eje X debido a la torsión, calculado según C3.6. **R_x** : *1.00*

R_y: Factor de reducción de la resistencia a flexión alrededor del eje Y debido a la torsión, calculado según C3.6. **R_y** : *0.75*

φ_{bx}: Factor de resistencia para flexión alrededor del eje X. **φ_{bx}** : *0.95*

M_{fx}: Resistencia requerida a flexión respecto al eje X para las combinaciones de carga LRFD. **M_{fx}** : *5.60* kN·m

M_{nx}: Resistencia nominal a flexión alrededor del eje X según la Sección C3.1. **M_{nx}** : *8.97* kN·m

φ_{by}: Factor de resistencia para flexión alrededor del eje Y. **φ_{by}** : *0.95*

M_{fy}: Resistencia requerida a flexión respecto al eje Y para las combinaciones de carga LRFD. **M_{fy}** : *0.02* kN·m

M_{ny}: Resistencia nominal a flexión alrededor del eje Y según la Sección C3.1. **M_{ny}** : *6.04* kN·m

φ_t: Factor de resistencia para tracción. φ_t : *0.90*

T_f: Resistencia a tracción requerida para las combinaciones de carga LRFD. T_f : *13.22* kN

T_n: Resistencia nominal a tracción, según la Sección C2. T_n : *372.52* kN

Resistencia a flexión combinada con compresión (C5.2.2)

(b) Se debe satisfacer el siguiente criterio si

η : ***0.505*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N38, para la combinación de acciones 1.2·PP+1.2·CM1+1.6·Q1+0.8·vs.

Donde:

φ_c: Factor de resistencia para compresión. φ_c : *0.85*

P_f: Resistencia a compresión requerida para las combinaciones de carga LRFD. P_f : *0.97* kN

P_n: Resistencia nominal a compresión según la Sección C4. P_n : *302.08* kN

φ_{bx}: Factor de resistencia para flexión alrededor del eje X. φ_{bx} : *0.95*

M_{fx}: Resistencia requerida a flexión respecto al eje X para las combinaciones de carga LRFD. M_{fx} : *4.28* kN·m

M_{nx}: Resistencia nominal a flexión alrededor del eje X según la Sección C3.1. M_{nx} : *8.97* kN·m

φ_{by}: Factor de resistencia para flexión alrededor del eje Y. φ_{by} : *0.95*

M_{fy}: Resistencia requerida a flexión respecto al eje Y para las combinaciones de carga LRFD. M_{fy} : *0.00* kN·m

M_{ny}: Resistencia nominal a flexión alrededor del eje Y según la Sección C3.1. M_{ny} : *6.04* kN·m

Flexión combinada con cortante, axil y torsión - Comprobación de Von Mises (Comprobación adicional)

Ya que la norma no proporciona una comprobación general para secciones sometidas a torsión combinada con otros esfuerzos, se considera que este elemento debe cumplir, además, el siguiente criterio de rotura de Von Mises:

η : ***0.698*** ✓

η : ***0.012*** ✓

η : ***0.488*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N38, para la combinación de acciones 1.2·PP+1.2·CM1+0.3·SX+SY.

Donde:

f_a: Tensión normal debida a tracción, calculada utilizando el área de la sección bruta.

f_a : *12.25* MPa

Donde:

T_f: Resistencia a tracción requerida para las combinaciones de carga LRFD. **T_f** : *13.22* kN

A: Área de la sección bruta. **A** : *10.80* cm²

Las tensiones utilizadas en esta comprobación se han calculado en el siguiente punto, en el cual se produce la combinación pésima de tensiones normales y tangenciales.

x: Coordenada X del punto de cálculo respecto al centro de gravedad. **x** : *15.00* mm

y: Coordenada Y del punto de cálculo respecto al centro de gravedad. **y** : *50.00* mm

f_{bx}: Tensión normal debida a la flexión alrededor del eje X.

f_{bx} : *215.29* MPa

Donde:

M_{fx}: Resistencia requerida a flexión respecto al eje X para las combinaciones de carga LRFD. **M_{fx}** : *-5.60* kN·m

I_x: Momento de inercia respecto al eje X. **I_x** : *130.05* cm4

f_{by}: Tensión normal debida a la flexión alrededor del eje Y.

f_{by} : *0.63* MPa

Donde:

M_{fy}: Resistencia requerida a flexión respecto al eje Y para las combinaciones de carga LRFD. M_{fy} : *-0.02* kN·m

I_y: Momento de inercia respecto al eje Y. I_y : *43.79* cm4

f_{Vx}: Tensión tangencial debida al esfuerzo cortante en la dirección del eje X. f_{Vx} : *0.03* MPa

f_{Vy}: Tensión tangencial debida al esfuerzo cortante en la dirección del eje Y. f_{Vy} : *-1.99* MPa

f_{Tr}: Tensión tangencial debida a la torsión. f_{Tr} : *-0.36* MPa

F_a: Resistencia a tracción de la sección.

F_a : *12.25* MPa

Donde:

φ_t: Factor de resistencia para tracción. φ_t : *0.90*

F_y: Límite elástico del acero. F_y : *345.00* MPa

F_{bx}, F_{by}: Resistencia de la sección a flexión alrededor de los ejes X y Y, respectivamente.

F_{bx} : *327.75* MPa

F_{by} : *327.75* MPa

Donde:

φ_b: Factor de resistencia para flexión. φ_b : *0.95*

F_y: Límite elástico del acero. F_y : *345.00* MPa

F_{Vx}, F_{Vy}: Resistencia de la sección a cortante en las direcciones X y Y, respectivamente.

F_{Vx} : *189.23* MPa

F_{Vy} : *189.23* MPa

Donde:

φ_v: Factor de resistencia para cortante. φ_v : *0.95*

F_y: Límite elástico del acero. F_y : *345.00* MPa

F_{Tr}: Resistencia a torsión de la sección.

F_{Tr} : *179.27* MPa

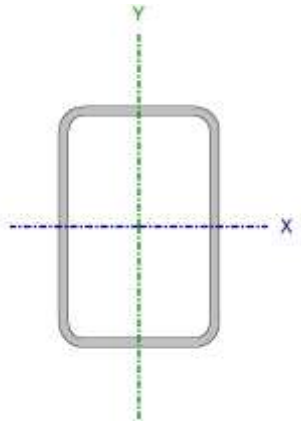
Donde:

φ_{Tr}: Factor de resistencia para torsión. φ_{Tr} : *0.90*

F_y: Límite elástico del acero. F_y : *345.00* MPa

7.1.2 DISEÑO DE CORREAS 60X40X2.50mm

Perfil: ESTRUC RECT 60x40x2.5mm
Material: Acero (A572 50ksi)



Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
Inicial	Final		Área (cm²)	I_x(1) (cm4)	I_y(1) (cm4)	I_t(2) (cm4)
N39	N33	2.330	4.53	21.51	11.47	25.17

Notas:
(1) Inercia respecto al eje indicado
(2) Momento de inercia a torsión uniforme

	Pandeo		Pandeo lateral	
	Plano ZX	Plano ZY	Ala sup.	Ala inf.
β	1.00	1.00	0.00	0.00
L_K	2.330	2.330	0.000	0.000
C_m	1.000	1.000	-	-
C_b	-		1.000	

Notación:
β: Coeficiente de pandeo
L_K: Longitud de pandeo (m)
C_m: Coeficiente de momentos
C_b: Factor de modificación para el momento crítico

Barra	COMPROBACIONES (AISI S100-07 (2007))															Estado
	w / t	T	P	Tr	M_x	M_y	V_x	V_y	M_xTr	M_yTr	M_xV_y	M_yV_x	MT	MP	TPTrMV	
N39/N33	w / t ≤ (w / t)Máx. Cumple	η < 0.1	η < 0.1	η < 0.1	x: 0 m η = 47.3	x: 0 m η = 5.8	x: 0 m η = 1.0	x: 0 m η = 6.1	x: 2.33 m η = 20.8	x: 2.33 m η = 3.0	x: 0 m η = 22.7	x: 0 m η = 0.3	x: 0 m η = 50.8	x: 2.33 m η = 15.8	x: 0 m η = 49.3	**CUMPLE η = 50.8**

Notación:
w / t: Limitaciones geométricas
T: Resistencia a tracción
P: Resistencia a compresión
Tr: Resistencia a torsión
M_x: Resistencia a flexión alrededor del eje X
M_y: Resistencia a flexión alrededor del eje Y
V_x: Resistencia a corte en la dirección del eje X
V_y: Resistencia a corte en la dirección del eje Y
M_xTr: Resistencia a flexión alrededor del eje X combinada con torsión
M_yTr: Resistencia a flexión alrededor del eje Y combinada con torsión
M_xV_y: Resistencia a flexión alrededor del eje X combinada con corte en la dirección del eje Y
M_yV_x: Resistencia a flexión alrededor del eje Y combinada con corte en la dirección del eje X
MT: Resistencia a flexión combinada con tracción
MP: Resistencia a flexión combinada con compresión
TPTrMV: Flexión combinada con cortante, axil y torsión - Comprobación de Von Mises
x: Distancia al origen de la barra
η: Coeficiente de aprovechamiento (%)

Limitaciones geométricas (B1)

Se debe satisfacer:

w_1 / t : ***11.04*** ✓

Donde:

Revisión	Fecha	Descripción	Elaboró	Revisó	Aprobó
1	AGO 2025	EMITIDO PARA REVISIÓN	A.F.S.M.		

w_1: Longitud del tramo recto del elemento horizontal (paralelo al eje X). w_1 : *27.60* mm

t: Espesor. t : *2.50* mm

w_2 / t : ***19.04*** ✓

Donde:

w_2: Longitud del tramo recto del elemento vertical (paralelo al eje Y). w_2 : *47.60* mm

t: Espesor. t : *2.50* mm

Resistencia a tracción (Apéndices A & B, C2)

Se debe satisfacer:

$\eta_T <$ ***0.001*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.2·PP+1.2·CM1+1.6·Q1.

Donde:

T_f: Resistencia a tracción requerida para las combinaciones de carga LRFD. T_f : *0.06* kN

T_c: Resistencia de diseño a tracción.

T_c : *140.74* kN

Donde:

φ_t: Factor de resistencia para tracción. φ_t : *0.90*

T_n: La resistencia nominal a tracción es igual al valor calculado según la Sección C2.1 del Apéndice B: T_n : *156.37* kN

C2.1 Plastificación de la sección bruta.

T_n : *156.37* kN

Donde:

A_g: Área de la sección bruta. A_g : *4.53* cm²

F_y: Límite elástico del acero. F_y : *345.00* MPa

Resistencia a compresión (C4)

Se debe satisfacer:

$\eta_C <$ ***0.001*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 0.9·PP+0.9·CM1-0.3·SX-SY.

Donde:

P_f: Resistencia a compresión requerida para las combinaciones de carga LRFD. P_f : *0.00* kN

P_c: Resistencia de diseño a compresión.

P_c : *31.55* kN

Donde:

φ_c: Factor de resistencia para compresión. φ_c : *0.85*

P_n: Resistencia nominal a compresión. P_n : *37.12* kN

C4.1 Resistencia nominal a compresión, considerando el efecto del pandeo por flexión, flexotorsión o torsión.

P_n : *37.12* kN

Donde:

A_e: Área de la sección eficaz. A_e : *4.53* cm²

Para

F_n : *81.90* MPa

Donde:

F_y: Límite elástico del acero. F_y : *345.00* MPa

λ_c : *1.92*

Donde:

F_y: Límite elástico del acero. **F_y** : *345.00* MPa

F_e: Tension elástica de pandeo a flexión calculada según las Secciones C4.1.1 a C4.1.4. **F_e** : *93.39* MPa

C4.1.1 Secciones no sometidas a pandeo por torsión o por flexotorsión.

F_{crit}: Tensión crítica de pandeo, tomada como la menor de F_{ex} y F_{ey}. **F_{crit}** : *93.39* MPa

Donde:

F_{ex} : *175.16* MPa

Donde:

r_x : *21.79* mm

Donde:

I_x: Momento de inercia respecto al eje X. **I_x** : *21.51* cm4

A: Área de la sección bruta. **A** : *4.53* cm²

E: Módulo de Young. **E** : *203000.00* MPa

K_x: Factor de longitud eficaz para el eje X. **K_x** : *1.00*

L: Longitud de la barra. **L** : *2.330* m

F_{ey} : *93.39* MPa

Donde:

r_y : *15.91* mm

Donde:

I_y: Momento de inercia respecto al eje Y. **I_y** : *11.47* cm4

A: Área de la sección bruta. **A** : *4.53* cm²

E: Módulo de Young. **E** : *203000.00* MPa

K_y: Factor de longitud eficaz para el eje Y. **K_y** : *1.00*

L: Longitud de la barra. **L** : *2.330* m

C4.1.2 Secciones con uno o dos ejes de simetría sometidas a pandeo por torsión o por flexotorsión.

(ii) Para secciones con dos ejes de simetría.

Las comprobaciones de la Sección C4.1.2 no proceden, ya que las longitudes efectivas de pandeo lateral de este elemento son nulas.

Resistencia a torsión (Comprobación adicional)

Se debe satisfacer:

η_{Tr} < ***0.001*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.2·PP+1.2·CM1-SX-0.3·SY.

Donde:

Tr_f: Resistencia requerida a torsión, utilizando las combinaciones de carga LRFD. **Tr_f** : *0.00* kN·m

Tr_c: Resistencia de diseño a torsión.

Tr_c : *1.99* kN·m

Donde:

φ_{Tr}: Factor de resistencia para torsión, tomado de AISC-05. φ_{Tr} : *0.90*

Tr_n: Resistencia nominal a torsión.

Tr_n : *2.21* kN·m

Donde:

C: Módulo resistente a torsión.

C : *10.68* cm³

Donde:

A_c: Área encerrada por la línea media de los elementos que componen la sección. **A_c** : *21.35* cm²

t: Espesor. **t** : *2.50* mm

F_n : *207.00* MPa

Donde:

Revisión	Fecha	Descripción	Elaboró	Revisó	Aprobó
1	AGO 2025	EMITIDO PARA REVISIÓN	A.F.S.M.		

F_y: Límite elástico del acero. **F_y** : *345.00* MPa

Resistencia a flexión alrededor del eje X (C3.1)

Se debe satisfacer:

η_B : ***0.473*** ✓

M_f: Resistencia a flexión crítica requerida para las combinaciones de carga LRFD. **M_f** : *1.11* kN·m

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N39, para la combinación de acciones 0.9·PP+0.9·CM1+1.6·vc.

M_f^+: Resistencia requerida para flexión positiva. **M_f^+** : *0.11* kN·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N39, para la combinación de acciones 1.2·PP+1.2·CM1+1.6·Q1+0.8·vs.

M_f^-: Resistencia requerida para flexión negativa. **M_f^-** : *1.11* kN·m

M_c: Resistencia de diseño a flexión.

M_c : *2.35* kN·m

Donde:

φ_b: Factor de resistencia para flexión. **φ_b** : *0.95*

M_n: La resistencia a flexión nominal mínima se calcula como la menor de las calculadas en los apartados aplicables del Capítulo C3.1. **M_n** : *2.47* kN·m

Donde:

M_n^+: La resistencia a flexión nominal se calcula como la menor de las calculadas en los apartados aplicables del Capítulo C3.1 para flexión positiva. **M_n^+** : *2.47* kN·m

M_n^-: La resistencia a flexión nominal se calcula como la menor de las calculadas en los apartados aplicables del Capítulo C3.1 para flexión negativa. **M_n^-** : *2.47* kN·m

C3.1.1 Resistencia nominal de la sección.

La resistencia a flexión nominal se calcula según el Apartado C3.1.1, ya que se cumple la siguiente condición:

Donde:

L_{ub}: Separación entre arriostramientos laterales de la barra. L_{ub} : *0.000* m

L_u : *9.779* m

Donde:

C_b: Coeficiente de momentos, que depende de la ley de momentos flectores. C_b : *1.0*

F_y: Límite elástico del acero. F_y : *345.00* MPa

S_{fx} : *7.17* cm³

Donde:

I_x: Momento de inercia respecto al eje X. I_x : *21.51* cm4

I_y: Momento de inercia respecto al eje Y. I_y : *11.47* cm4

I_{xy}: Producto de inercia. I_{xy} : *0.00* cm4

x_c: Distancia a la fibra extrema comprimida en flexión. x_c^+ : *13.80* mm

x_c^- : *-13.80* mm

y_c: Distancia a la fibra extrema comprimida en flexión. y_c^+ : *30.00* mm

y_c^- : *-30.00* mm

E: Módulo de Young. **E** : *203000.00* MPa

G: Módulo de elasticidad transversal. **G** : *78076.92* MPa

J: Momento de inercia a torsión uniforme. **J** : *25.17* cm4

M_n : *2.47* kN·m

Donde:

S_{ex} : *7.17* cm³

Donde:

I_{ex}: Momento eficaz de inercia respecto al eje X. I_{ex} : *21.51* cm4

I_{ey}: Momento eficaz de inercia respecto al eje Y. I_{ey} : *11.47* cm4

I_{exy}: Producto eficaz de inercia. I_{exy} : *0.00* cm4

x: Distancia a la fibra extrema en flexión. **x** : *-13.80* mm

y: Distancia a la fibra extrema en flexión. **y** : *-30.00* mm

F_y: Límite elástico del acero. F_y : *345.00* MPa

Resistencia a flexión alrededor del eje Y (C3.1)

Se debe satisfacer:

η_B : ***0.058*** ✓

M_f: Resistencia a flexión crítica requerida para las combinaciones de carga LRFD. **M_f** : *0.11* kN·m

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N39, para la combinación de acciones 1.2·PP+1.2·CM1+1.6·vs.

M_f^+: Resistencia requerida para flexión positiva. **M_f^+** : *0.11* kN·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N39, para la combinación de acciones 1.2·PP+1.2·CM1+1.6·vc.

M_f^-: Resistencia requerida para flexión negativa. **M_f^-** : *0.11* kN·m

M_c: Resistencia de diseño a flexión.

M_c : *1.88* kN·m

Donde:

φ_b: Factor de resistencia para flexión. **φ_b** : *0.95*

M_n: La resistencia a flexión nominal mínima se calcula como la menor de las calculadas en los apartados aplicables del Capítulo C3.1. **M_n** : *1.98* kN·m

Donde:

M_n^+: La resistencia a flexión nominal se calcula como la menor de las calculadas en los apartados aplicables del Capítulo C3.1 para flexión positiva. **M_n^+** : *1.98* kN·m

M_n^-: La resistencia a flexión nominal se calcula como la menor de las calculadas en los apartados aplicables del Capítulo C3.1 para flexión negativa. **M_n^-** : *1.98* kN·m

C3.1.1 Resistencia nominal de la sección.

La resistencia a flexión nominal se calcula según el Apartado C3.1.1, ya que se cumple la siguiente condición:

Donde:

L_{ub}: Separación entre arriostramientos laterales de la barra. **L_{ub}** : *0.000* m

L_u : *16.746* m

Donde:

C_b: Coeficiente de momentos, que depende de la ley de momentos flectores. C_b : *1.0*

F_y: Límite elástico del acero. F_y : *345.00* MPa

S_{fy} : *5.73* cm³

Donde:

I_x: Momento de inercia respecto al eje X. I_x : *21.51* cm4

I_y: Momento de inercia respecto al eje Y. I_y : *11.47* cm4

I_{xy}: Producto de inercia. I_{xy} : *0.00* cm4

x_c: Distancia a la fibra extrema comprimida en flexión. x_c^+ : *20.00* mm

x_c^- : *-20.00* mm

y_c: Distancia a la fibra extrema comprimida en flexión. y_c^+ : *-23.80* mm

y_c^- : *23.80* mm

E: Módulo de Young. **E** : *203000.00* MPa

G: Módulo de elasticidad transversal. **G** : *78076.92* MPa

J: Momento de inercia a torsión uniforme. **J** : *25.17* cm4

M_n : *1.98* kN·m

Donde:

S_{ey} : *5.73* cm³

Donde:

I_{ex}: Momento eficaz de inercia respecto al eje X. I_{ex} : *21.51* cm4

I_{ey}: Momento eficaz de inercia respecto al eje Y. I_{ey} : *11.47* cm4

I_{exy}: Producto eficaz de inercia. I_{exy} : *0.00* cm4

x: Distancia a la fibra extrema en flexión. **x** : *-20.00* mm

y: Distancia a la fibra extrema en flexión. **y** : *23.80* mm

F_y: Límite elástico del acero. F_y : *345.00* MPa

Resistencia a corte en la dirección del eje X (C3.2)

Se debe satisfacer:

η_v : ***0.010*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N39, para la combinación de acciones 1.2·PP+1.2·CM1+1.6·vc.

Donde:

V_f: Resistencia a cortante requerida para las combinaciones de carga LRFD. **V_f** : *0.14* kN

La resistencia a corte requerida se ha reducido de forma que la fuerza aplicada se distribuye entre todos los elementos, puesto que la sección tiene más de un elemento que resiste cortante.

V_c: Resistencia de diseño a cortante.

V_c : *13.57* kN

Donde:

φ_v: Factor de resistencia para cortante. φ_v : *0.95*

V_n: La resistencia nominal a cortante es el menor de los valores calculados según la Sección C3.2.1. **V_n** : *14.28* kN

C3.2.1 Resistencia a cortante del alma descontando los agujeros.

V_n : *14.28* kN

Donde:

A_w: Área de los elementos paralelos a la dirección del cortante.

A_w : *0.69* cm²

Donde:

h: Altura del tramo recto del alma. **h** : *27.60* mm

t: Espesor de los elementos paralelos a la dirección del cortante. **t** : *2.50* mm

(a) Para

F_v : *207.00* MPa

Donde:

h: Altura del tramo recto del alma. **h** : *27.60* mm

t: Espesor de los elementos paralelos a la dirección del cortante. **t** : *2.50* mm

E: Módulo de Young. **E** : *203000.00* MPa

F_y: Límite elástico del acero. **F_y** : *345.00* MPa

1.Para almas sin rigidizadores transversales:

K_v: Coeficiente de abolladura por cortante. **K_v** : *5.34*

Resistencia a corte en la dirección del eje Y (C3.2)

Se debe satisfacer:

η_V : ***0.061*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N39, para la combinación de acciones 1.2·PP+1.2·CM1+1.6·Q1+0.8·vs.

Donde:

V_f: Resistencia a cortante requerida para las combinaciones de carga LRFD. **V_f** : *1.43* kN

La resistencia a corte requerida se ha reducido de forma que la fuerza aplicada se distribuye entre todos los elementos, puesto que la sección tiene más de un elemento que resiste cortante.

V_c: Resistencia de diseño a cortante.

V_c : *23.40* kN

Donde:

φ_v: Factor de resistencia para cortante. φ_v : *0.95*

V_n: La resistencia nominal a cortante es el menor de los valores calculados según la Sección C3.2.1. **V_n** : *24.63* kN

C3.2.1 Resistencia a cortante del alma descontando los agujeros.

V_n : *24.63* kN

Revisión	Fecha	Descripción	Elaboró	Revisó	Aprobó
1	AGO 2025	EMITIDO PARA REVISIÓN	A.F.S.M.		

Donde:

A_w: Área de los elementos paralelos a la dirección del cortante.

A_w : *1.19* cm²

Donde:

h: Altura del tramo recto del alma. **h** : *47.60* mm

t: Espesor de los elementos paralelos a la dirección del cortante. **t** : *2.50* mm

(a) Para

F_v : *207.00* MPa

Donde:

h: Altura del tramo recto del alma. **h** : *47.60* mm

t: Espesor de los elementos paralelos a la dirección del cortante. **t** : *2.50* mm

E: Módulo de Young. **E** : *203000.00* MPa

F_y: Límite elástico del acero. **F_y** : *345.00* MPa

1.Para almas sin rigidizadores transversales:

K_v: Coeficiente de abolladura por cortante. **K_v** : *5.34*

Resistencia a flexión alrededor del eje X combinada con torsión (C3.6)

Se debe satisfacer:

η_B : ***0.208*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N33, para la combinación de acciones 1.2·PP+1.2·CM1-SX-0.3·SY.

Donde:

M_f: Resistencia requerida para flexión negativa. **M_f** : *0.49* kN·m

M_c: Resistencia de diseño a flexión, según C3.1. **M_c** : *2.35* kN·m

Revisión	Fecha	Descripción	Elaboró	Revisó	Aprobó
1	AGO 2025	EMITIDO PARA REVISIÓN	A.F.S.M.		

R: Factor de reducción de resistencia debido a la torsión.

R : *1.00*

Donde:

Las tensiones utilizadas en esta comprobación se han calculado en el siguiente punto, en el cual se produce la combinación pésima de tensiones normales y tangenciales.

x: Coordenada X del punto de cálculo respecto al centro de gravedad. **x** : *-13.80* mm

y: Coordenada Y del punto de cálculo respecto al centro de gravedad. **y** : *-30.00* mm

$\mathbf{f_{bx}}$: Tensión normal debida a la flexión alrededor del eje X.

$\mathbf{f_{bx}}$: *68.13* MPa

Donde:

$\mathbf{M_{fx}}$: Resistencia requerida a flexión respecto al eje X para las combinaciones de carga LRFD. $\mathbf{M_{fx}}$: *0.49* kN·m

$\mathbf{I_x}$: Momento de inercia respecto al eje X. $\mathbf{I_x}$: *21.51* cm4

$\mathbf{f_{Tr}}$: Tensión tangencial debida a la torsión. $\mathbf{f_{Tr}}$: *-0.02* MPa

Resistencia a flexión alrededor del eje Y combinada con torsión (C3.6)

Se debe satisfacer:

η_B : ***0.030*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N33, para la combinación de acciones 1.2·PP+1.2·CM1-SX-0.3·SY.

Donde:

$\mathbf{M_f}$: Resistencia requerida para flexión negativa. $\mathbf{M_f}$: *0.06* kN·m

$\mathbf{M_c}$: Resistencia de diseño a flexión, según C3.1. $\mathbf{M_c}$: *1.88* kN·m

R: Factor de reducción de resistencia debido a la torsión.

R : *1.00*

Donde:

Las tensiones utilizadas en esta comprobación se han calculado en el siguiente punto, en el cual se produce la combinación pésima de tensiones normales y tangenciales.

x: Coordenada X del punto de cálculo respecto al centro de gravedad. **x** : *-20.00* mm

y: Coordenada Y del punto de cálculo respecto al centro de gravedad. **y** : *23.80* mm

$\mathbf{f_{by}}$: Tensión normal debida a la flexión alrededor del eje Y.

$\mathbf{f_{by}}$: *9.79* MPa

Donde:

$\mathbf{M_{fy}}$: Resistencia requerida a flexión respecto al eje Y para las combinaciones de carga LRFD. $\mathbf{M_{fy}}$: *0.06* kN·m

$\mathbf{I_y}$: Momento de inercia respecto al eje Y. $\mathbf{I_y}$: *11.47* cm4

$\mathbf{f_{Tr}}$: Tensión tangencial debida a la torsión. $\mathbf{f_{Tr}}$: *0.03* MPa

Resistencia a flexión alrededor del eje X combinada con corte en la dirección del eje Y (C3.3)

Se debe satisfacer:

η : ***0.227*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N39, para la combinación de acciones 1.2·PP+1.2·CM1+1.6·Q1+0.8·vs.

Donde:

(a) Para vigas sin rigidizadores transversales.

η : *0.227*

Donde:

$\mathbf{M_{fx}}$: Resistencia requerida a flexión respecto al eje X para las combinaciones de carga LRFD. $\mathbf{M_{fx}}$: *1.11* kN·m

$\mathbf{M_{cx}}$: Resistencia de diseño a flexión alrededor del eje X. $\mathbf{M_{cx}}$: *2.35* kN·m

V_{fy}: Resistencia a cortante requerida en la dirección del eje Y para las combinaciones de carga LRFD. **V_{fy}** : *1.43* kN

V_{cy}: Resistencia de diseño a cortante en la dirección del eje Y. **V_{cy}** : *23.40* kN

Resistencia a flexión alrededor del eje Y combinada con corte en la dirección del eje X (C3.3)

Se debe satisfacer:

η : ***0.003*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N39, para la combinación de acciones 1.2·PP+1.2·CM1+1.6·vc.

Donde:

(a) Para vigas sin rigidizadores transversales.

η : *0.003*

Donde:

M_{fy}: Resistencia requerida a flexión respecto al eje Y para las combinaciones de carga LRFD. **M_{fy}** : *0.11* kN·m

M_{cy}: Resistencia de diseño a flexión alrededor del eje Y. **M_{cy}** : *1.88* kN·m

V_{fx}: Resistencia a cortante requerida en la dirección del eje X para las combinaciones de carga LRFD. **V_{fx}** : *0.14* kN

V_{cx}: Resistencia de diseño a cortante en la dirección del eje X. **V_{cx}** : *13.57* kN

Resistencia a flexión combinada con tracción (C5.1.2)

Se debe satisfacer:

η_f : ***0.508*** ✓

η : ***0.507*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N39, para la combinación de acciones 1.2·PP+1.2·CM1+0.5·Q1+1.6·vs.

Donde:

η_f : *0.508*

Donde:

φ_{bx}: Factor de resistencia para flexión alrededor del eje X. φ_{bx} : *0.95*

M_{fx}: Resistencia requerida a flexión respecto al eje X para las combinaciones de carga LRFD. M_{fx} : *1.06* kN·m

M_{nxt} : *2.47* kN·m

Donde:

S_{ftx} : *7.17* cm³

Donde:

I_x: Momento de inercia respecto al eje X. I_x : *21.51* cm4

I_y: Momento de inercia respecto al eje Y. I_y : *11.47* cm4

I_{xy}: Producto de inercia. I_{xy} : *0.00* cm4

x_t: Distancia a la fibra extrema traccionada en flexión alrededor del eje X. x_t : *13.80* mm

y_t: Distancia a la fibra extrema traccionada en flexión alrededor del eje X. y_t : *30.00* mm

F_y: Límite elástico del acero. F_y : *345.00* MPa

φ_{by}: Factor de resistencia para flexión alrededor del eje Y. φ_{by} : *0.95*

M_{fy}: Resistencia requerida a flexión respecto al eje Y para las combinaciones de carga LRFD. M_{fy} : *0.11* kN·m

M_{nyt} : *1.98* kN·m

Donde:

S_{fty} : *5.73* cm³

Donde:

$\mathbf{I_x}$: Momento de inercia respecto al eje X. $\mathbf{I_x}$: *21.51* cm4

$\mathbf{I_y}$: Momento de inercia respecto al eje Y. $\mathbf{I_y}$: *11.47* cm4

$\mathbf{I_{xy}}$: Producto de inercia. $\mathbf{I_{xy}}$: *0.00* cm4

$\mathbf{x_t}$: Distancia a la fibra extrema traccionada en flexión alrededor del eje Y. $\mathbf{x_t}$: *-20.00* mm

$\mathbf{y_t}$: Distancia a la fibra extrema traccionada en flexión alrededor del eje Y. $\mathbf{y_t}$: *23.80* mm

$\mathbf{F_y}$: Límite elástico del acero. $\mathbf{F_y}$: *345.00* MPa

$\varphi_\mathbf{t}$: Factor de resistencia para tracción. $\varphi_\mathbf{t}$: *0.90*

$\mathbf{T_f}$: Resistencia a tracción requerida para las combinaciones de carga LRFD. $\mathbf{T_f}$: *0.04* kN

$\mathbf{T_n}$: Resistencia nominal a tracción, según la Sección C2. $\mathbf{T_n}$: *156.37* kN

η : *0.507*

Donde:

$\varphi_{\mathbf{bx}}$: Factor de resistencia para flexión alrededor del eje X. $\varphi_{\mathbf{bx}}$: *0.95*

$\mathbf{M_{fx}}$: Resistencia requerida a flexión respecto al eje X para las combinaciones de carga LRFD. $\mathbf{M_{fx}}$: *1.06* kN·m

$\mathbf{M_{nx}}$: Resistencia nominal a flexión alrededor del eje X según la Sección C3.1. $\mathbf{M_{nx}}$: *2.47* kN·m

$\varphi_{\mathbf{by}}$: Factor de resistencia para flexión alrededor del eje Y. $\varphi_{\mathbf{by}}$: *0.95*

$\mathbf{M_{fy}}$: Resistencia requerida a flexión respecto al eje Y para las combinaciones de carga LRFD. $\mathbf{M_{fy}}$: *0.11* kN·m

$\mathbf{M_{ny}}$: Resistencia nominal a flexión alrededor del eje Y según la Sección C3.1. $\mathbf{M_{ny}}$: *1.98* kN·m

$\varphi_\mathbf{t}$: Factor de resistencia para tracción. $\varphi_\mathbf{t}$: *0.90*

$\mathbf{T_f}$: Resistencia a tracción requerida para las combinaciones de carga LRFD. $\mathbf{T_f}$: *0.04* kN

$\mathbf{T_n}$: Resistencia nominal a tracción, según la Sección C2. $\mathbf{T_n}$: *156.37* kN

Resistencia a flexión combinada con compresión (C5.2.2)

(b) Se debe satisfacer el siguiente criterio si

η : ***0.158*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N33, para la combinación de acciones 0.9·PP+0.9·CM1-0.3·SX-SY.

Donde:

R_x: Factor de reducción de la resistencia a flexión alrededor del eje X debido a la torsión, calculado según C3.6. **R_x** : *1.00*

R_y: Factor de reducción de la resistencia a flexión alrededor del eje Y debido a la torsión, calculado según C3.6. **R_y** : *0.98*

φ_c: Factor de resistencia para compresión. **φ_c** : *0.85*

P_f: Resistencia a compresión requerida para las combinaciones de carga LRFD. **P_f** : *0.00* kN

P_n: Resistencia nominal a compresión según la Sección C4. **P_n** : *37.12* kN

φ_{bx}: Factor de resistencia para flexión alrededor del eje X. **φ_{bx}** : *0.95*

M_{fx}: Resistencia requerida a flexión respecto al eje X para las combinaciones de carga LRFD. **M_{fx}** : *0.36* kN·m

M_{nx}: Resistencia nominal a flexión alrededor del eje X según la Sección C3.1. **M_{nx}** : *2.47* kN·m

φ_{by}: Factor de resistencia para flexión alrededor del eje Y. **φ_{by}** : *0.95*

M_{fy}: Resistencia requerida a flexión respecto al eje Y para las combinaciones de carga LRFD. **M_{fy}** : *0.01* kN·m

M_{ny}: Resistencia nominal a flexión alrededor del eje Y según la Sección C3.1. **M_{ny}** : *1.98* kN·m

Flexión combinada con cortante, axil y torsión - Comprobación de Von Mises (Comprobación adicional)

Ya que la norma no proporciona una comprobación general para secciones sometidas a torsión combinada con otros esfuerzos, se considera que este elemento debe cumplir, además, el siguiente criterio de rotura de Von Mises:

η : ***0.493*** ✓

η : ***0.012*** ✓

η : ***0.243*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N39, para la combinación de acciones 1.2·PP+1.2·CM1+1.6·Q1+0.8·vs.

Donde:

f_a: Tensión normal debida a tracción, calculada utilizando el área de la sección bruta.

f_a : *0.13* MPa

Donde:

T_f: Resistencia a tracción requerida para las combinaciones de carga LRFD. **T_f** : *0.06* kN

A: Área de la sección bruta. **A** : *4.53* cm²

Las tensiones utilizadas en esta comprobación se han calculado en el siguiente punto, en el cual se produce la combinación pésima de tensiones normales y tangenciales.

x: Coordenada X del punto de cálculo respecto al centro de gravedad. **x** : *-13.80* mm

y: Coordenada Y del punto de cálculo respecto al centro de gravedad. **y** : *30.00* mm

f_{bx}: Tensión normal debida a la flexión alrededor del eje X.

f_{bx} : *154.97* MPa

Donde:

M_{fx}: Resistencia requerida a flexión respecto al eje X para las combinaciones de carga LRFD. **M_{fx}** : *-1.11* kN·m

I_x: Momento de inercia respecto al eje X. **I_x** : *21.51* cm4

f_{by}: Tensión normal debida a la flexión alrededor del eje Y.

f_{by} : *6.56* MPa

Donde:

M_{fy}: Resistencia requerida a flexión respecto al eje Y para las combinaciones de carga LRFD. **M_{fy}** : *0.05* kN·m

I_y: Momento de inercia respecto al eje Y. **I_y** : *11.47* cm4

f_{vx}: Tensión tangencial debida al esfuerzo cortante en la dirección del eje X. **f_{vx}** : *-0.35* MPa

f_{Vy}: Tensión tangencial debida al esfuerzo cortante en la dirección del eje Y. **f_{Vy}** : *2.64* MPa

f_{Tr}: Tensión tangencial debida a la torsión. **f_{Tr}** : *0.00* MPa

F_a: Resistencia a tracción de la sección.

F_a : *0.13* MPa

Donde:

φ_t: Factor de resistencia para tracción. **φ_t** : *0.90*

F_y: Límite elástico del acero. **F_y** : *345.00* MPa

F_{bx}, F_{by}: Resistencia de la sección a flexión alrededor de los ejes X y Y, respectivamente.

F_{bx} : *327.75* MPa

F_{by} : *327.75* MPa

Donde:

φ_b: Factor de resistencia para flexión. **φ_b** : *0.95*

F_y: Límite elástico del acero. **F_y** : *345.00* MPa

F_{Vx}, F_{Vy}: Resistencia de la sección a cortante en las direcciones X y Y, respectivamente.

F_{Vx} : *189.23* MPa

F_{Vy} : *189.23* MPa

Donde:

φ_v: Factor de resistencia para cortante. **φ_v** : *0.95*

F_y: Límite elástico del acero. **F_y** : *345.00* MPa

F_{Tr}: Resistencia a torsión de la sección.

F_{Tr} : *179.27* MPa

Donde:

φ_{Tr}: Factor de resistencia para torsión. **φ_{Tr}** : *0.90*

F_y: Límite elástico del acero. **F_y** : *345.00* MPa

8 BIBLIOGRAFÍA

- Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo-Resistente, NSR-10
- Requisitos Esenciales para edificios de concreto reforzado, Basado en ACI-318-99, ICONTEC, Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, Edición 2002.
- FOUNDATION DESIGN Principles and Practices, Second edition, Prentice Hall , Donald P. Coduto, 2001
- CALCULO DE ESTRUCTURAS DE CIMENTACION, Instituto técnico de materiales y construcciones. José Calavera Ruiz, Madrid, 1991.