MEMORIA DE CÁLCULO

CÁLCULO Y DISEÑO ESTRUCTURAL

SOPORTE PARA TABLEROS DE BALONCESTO, COLISEO CUBIERTO DEL CENTRO POBLADO DE NAZARETH, NOBSA, BOYACÁ

INFORMACIÓN SOBRE CALIDAD

Actividad	Nombre	Cargo	Firma	Fecha
Elaboró	Carlos Cabrejo	Especialista estructural		Junio 2026
Revisó y Aprobó		*Director*		

- ***Control De Revisiones Y Cambios***

Versión	*Fecha De Revisión*	*Detalles*	*Observaciones*
1	*19 junio de 2026*	*Documentación de la solución estructural*	*Se presentan análisis, diseños y verificaciones*

- ***Información profesional***

Componente	*Nombre del titular*	*Número/Código*	*Entidad expedidora*
Tarjeta profesional	*Carlos Cabrejo*	*091037-0578308 CND*	*COPNIA*

1. ALCANCE DE ESTE INFORME

El presente informe tiene como alcance desarrollar la memoria de cálculo y diseño estructural de los soportes metálicos colgantes destinados al soporte de tableros de baloncesto en el coliseo cubierto ubicado en Nobsa, Boyacá. La evaluación comprende la revisión del comportamiento estructural de los elementos principales y secundarios que conforman el sistema de soporte, considerando las cargas permanentes asociadas al peso propio de la estructura, el conjunto tablero-aro-malla, y las acciones variables derivadas del uso deportivo, incluyendo cargas de impacto por dunking.

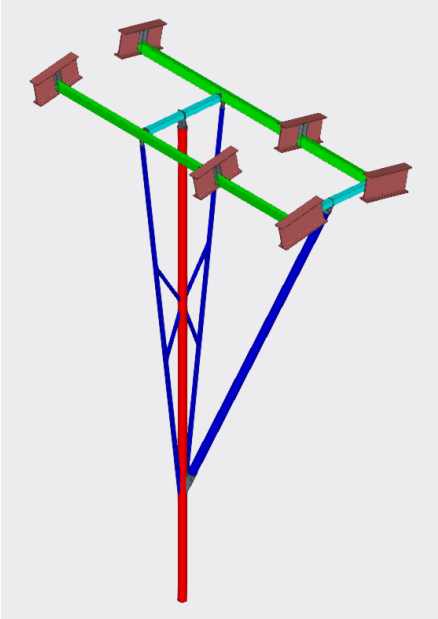
El análisis incluye la verificación de los perfiles metálicos, arriostramientos, apoyos y elementos de conexión, con el fin de garantizar una adecuada transmisión de cargas hacia los puntos de anclaje en la cercha existente del techo. Asimismo, se revisan las condiciones de estabilidad global y local del sistema, prestando especial atención a los efectos de las cargas dinámicas de uso, deformaciones admisibles y seguridad frente a los estados límite de resistencia y servicio, conforme a lo establecido en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 y los requisitos técnicos de la Federación Internacional de Baloncesto FIBA 2024.

2. DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA

El sistema está conformado por dos unidades de soporte independientes, una por cada extremo de la cancha, dispuestas simétricamente respecto al eje longitudinal del coliseo. Cada unidad define la geometría de suspensión del tablero de baloncesto y permite la transmisión de las cargas gravitacionales y laterales hacia los puntos de anclaje en la cercha principal existente del techo.

Los elementos principales de la estructura se resuelven mediante perfiles tubulares redondos de acero de 6" de diámetro exterior con espesor de pared de 4.0mm, utilizados como mástil vertical de suspensión. En la parte superior, la conexión con la cercha se realiza a través de perfil rectangular estructural 200×100×4.0mm. Los tirantes inclinados que estabilizan el sistema y controlan los desplazamientos laterales se resuelven en perfil cuadrado SHS 60×60×3.0mm, mientras que los elementos de conexión y arriostramiento interno se conforman en SHS 120×120×3.0mm y SHS 50×50×3.0mm según su función.

Figura 1. Isométrico de la estructura



3. NORMA DE DISEÑO

Para el desarrollo del presente proyecto se aplicaron los criterios y disposiciones establecidas en las normas y especificaciones técnicas vigentes en Colombia y a nivel internacional, que regulan el diseño y la evaluación estructural de edificaciones y estructuras metálicas.

El análisis y diseño se realizaron conforme a los lineamientos de la Norma Colombiana de Construcción Sismo Resistente – NSR-10, la cual establece los requisitos mínimos de seguridad estructural y criterios de diseño frente a cargas gravitacionales y sísmicas.

Adicionalmente, se emplearon las especificaciones del American Institute of Steel Construction (AISC) para el diseño de los elementos y conexiones de acero estructural, y las disposiciones del American Concrete Institute (ACI) para la verificación de los elementos de hormigón armado que sirven como base y anclaje de la estructura metálica.

4. MATERIALES Y DURABILIDAD

Para la evaluación estructural del sistema se adoptan propiedades representativas de los materiales que conforman la estructura metálica de soporte de tableros de baloncesto. La estructura está compuesta por perfiles de acero estructural utilizados en el mástil de suspensión, elementos de distribución de carga en la parte superior y tirantes de estabilización lateral.

En el caso de los elementos principales (mástil y viga spreader), así como los elementos de arriostramiento interno (tirantes SHS), se consideran aceros estructurales tubulares conformados en frío de uso común en estructuras metálicas livianas. Todos los perfiles corresponden a acero ASTM A500 grado C.

Adicionalmente, se contemplan criterios de durabilidad asociados a la exposición ambiental interior del coliseo, considerando la posible presencia de humedad y agentes corrosivos propios de instalaciones deportivas cubiertas en la región de Boyacá, por lo cual se especifican sistemas de protección anticorrosiva adecuados para garantizar la vida útil del sistema.

Tabla 1. Características de los materiales

Material	Propiedad	Valor
Perfiles tubulares ASTM A 500 C	Límite de fluencia	$f_y = 345\ MPa$
	Límite de ruptura	$f_u = 425\ MPa$
Soldaduras E70XX	Resistencia nominal	$F_{e70} = 70ksi\ \|480\ MPa$

5. EVALUACIÓN CARGAS

5.1. Cargas muertas (D):

Las cargas muertas consideradas corresponden a los elementos permanentes asociados al conjunto tablero-aro-malla y su sistema de anclaje al mástil. Para efectos del análisis, se incluye el peso del tablero, el aro con sistema breakaway, la malla, el marco metálico y los accesorios de fijación propios del sistema.

- Peso conjunto tablero + aro + malla + marco + herraje: 1.47 kN
- Cable, fijaciones y misceláneos: 0.10 kN

Las cargas del peso propio de los elementos estructurales se calculan automáticamente a través del software de modelado.

5.2. Cargas vivas (L)

Las cargas vivas consideradas corresponden a las acciones variables derivadas del uso deportivo del sistema, específicamente las fuerzas generadas durante la práctica del baloncesto sobre el conjunto tablero-aro.

Se adoptan las siguientes cargas aplicadas como cargas puntuales en el nodo inferior del mástil, punto de anclaje de la canasta:

- Carga vertical por dunking: se adopta la carga dinámica correspondiente a un jugador de 104 kg colgado del aro, amplificada por un factor dinámico de 2.0, resultando en

  L_v = 2.04 kN
- Cargas laterales por dunking: de manera conservadora, se adopta una componente horizontal equivalente al 30% de la carga dinámica vertical, aplicada independientemente en cada uno de los cuatro ejes ortogonales del sistema (±X, ±Y), con el fin de envolver los

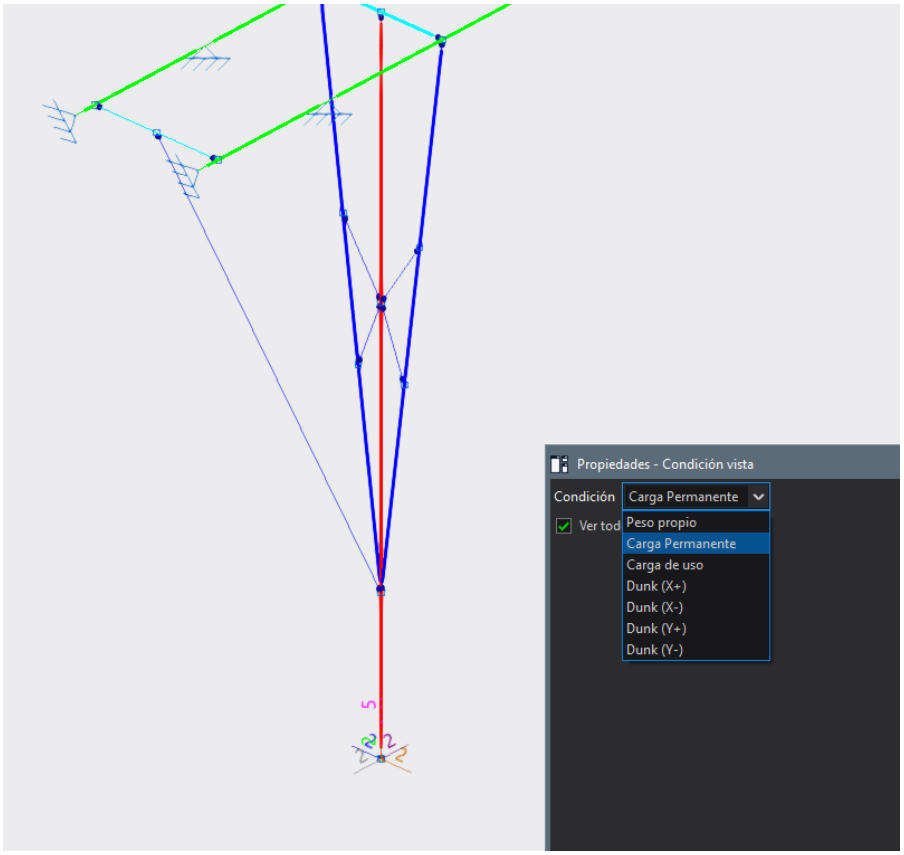
posibles escenarios de impacto lateral derivados de la dirección de aproximación del jugador al aro. El valor adoptado es $L_h = 0.61\ kN$ por eje.

- Momento torsor: se adopta un momento torsor en el nodo inferior del mástil de $M_z = 0.50\ kN \cdot m$, generado por la excentricidad entre el eje del mástil y el punto de aplicación de la carga lateral del aro, estimada conservadoramente en 500 mm.

5.4.Aplicación de cargas

Se adicionan las cargas correspondientes por el análisis de cargas provenientes del análisis de cargas sobre un elemento que distribuye la carga propuesta en la dirección especificada.

Figura 2 Asignación cargas



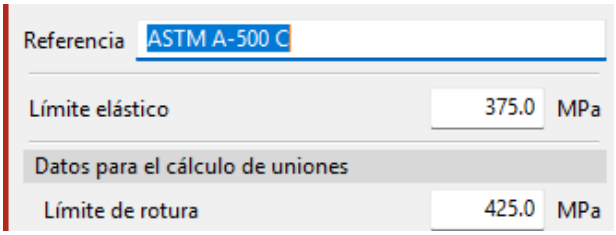
6. MODELADO EN CYPECAD

El modelado se realizó en la versión v2027.a de CYP3D teniendo en cuenta los requisitos de resistencia, disposición de materiales, sus simplificaciones y los requisitos de dimensionado de acuerdo a la normativa de construcción sismo resistente.

6.1. Definición de materiales

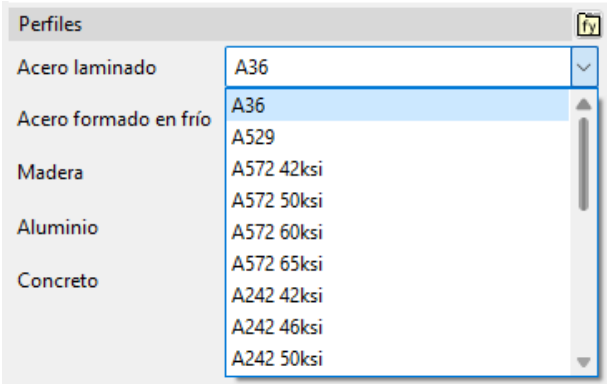
Las propiedades del material de los elementos, acero ASTM A500 Grado C, se define de acuerdo a lo reportado por los fabricantes.

Figura 3. Calidad Acero ASTM A 500G C



Los materiales A36 se especifican de acuerdo a los materiales por defecto del programa

Figura 4. Aceros por defecto

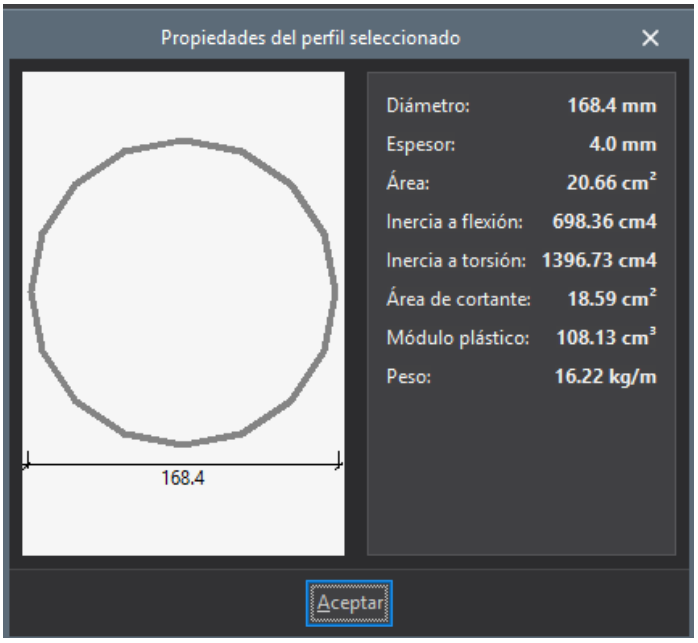


6.1. Definición de secciones

6.1.1. Definición de elementos principales

Las secciones se definieron como perfiles estructurales redodndos huecos desde la sección 6” mm con espesor de 4 mm.

Figura 5. Elementos verticales definido



6.1.2. Definición de elementos horizontales

Los elementos horizontales se definen como perfiles rectangulares huecos desde la sección 200 mm x 100 mm con espesor de 4.0 mm.

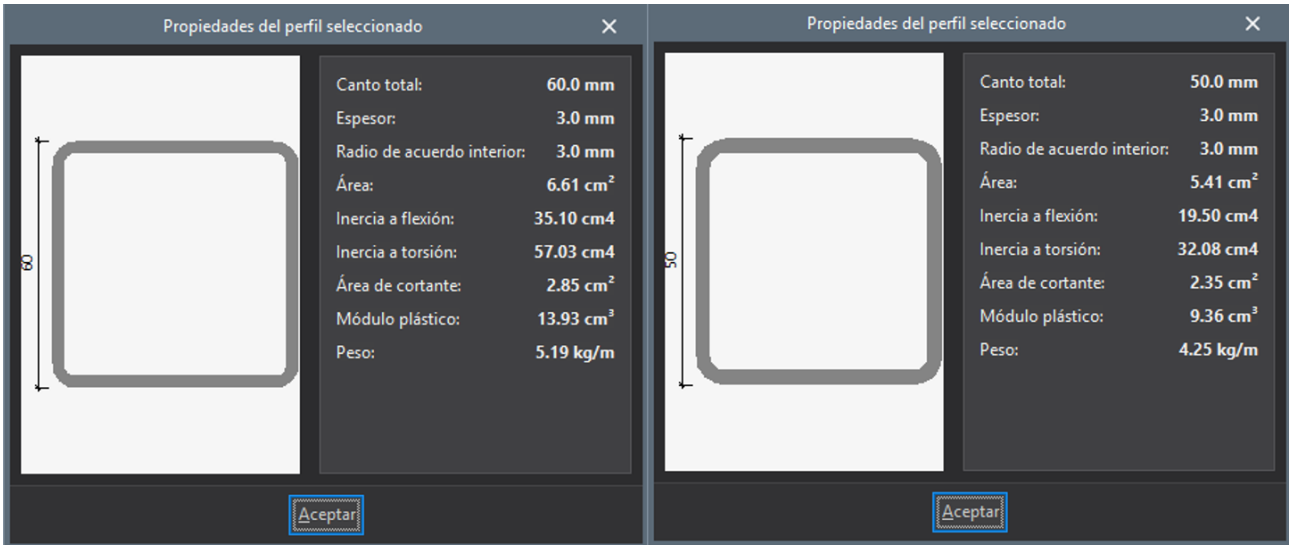
Figura 6. Elementos horizontales definidos



6.1.3. Definición de elementos complementarios

Los elementos adiconales, quienes apoyan al mástil principal en la distribución de las cargas laterales se definen como perfiles angulares de lados iguales de 60mm y 50 mm con espesor de 3mm.

Figura 7. Elementos complementarios definidos



7. ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL

El análisis estructural se ha realizado mediante un análisis elástico modal espectral, considerando los efectos de segundo orden según los lineamientos de la NSR-10.

7.1. Sistema estructural

Es un sistema estructural compuesto por un pórtico espacial, resistente a momentos, esencialmente completo, que resiste todas las cargas verticales y fuerzas horizontales.

Figura 8. Coeficientes de disipación de energía y sobre resistencia

3. Pórticos resistentes a momentos con capacidad mínima de disipación de energía (*DMI*)							
a. De concreto (*DMI*)	el mismo	**2.5**	**3.0**	no se permite	no se permite	si	Sin límite
b. De acero (*DMI*)	el mismo	**3.0**	**2.5**	no se permite	no se permite	si	Sin límite
c. Mixtos con conexiones totalmente restringidas a momento (*DMI*)	Pórticos de acero o mixtos resistentes o no a momentos	**3.0**	**3.0**	no se permite	no se permite	si	Sin límite
d. Mixtos con conexiones parcialmente restringidas a momento	Pórticos de acero o mixtos resistentes o no a momentos	**6.0**	**3.0**	no se permite	si 30 m	si	50 m
e. De acero con cerchas no	el mismo	**1.5**	**1.5**	no se permite (nota 5)	no se permite (nota 5)	si	12 m
f. De acero con perfiles de lámina doblada en frío y perfiles tubulares estructurales PTE que no cumplen los requisitos de F.2.2.4 para perfiles no esbeltos (nota 6)	el mismo	**1.5**	**1.5**	no se permite (nota 5)	no se permite (nota 5)	si	Sin límite

Se selecciona el sistema (f) de la configuración 3 para pórticos DMI, verificando de no superar las limitaciones de altura de la estructura.

8. RESULTADOS

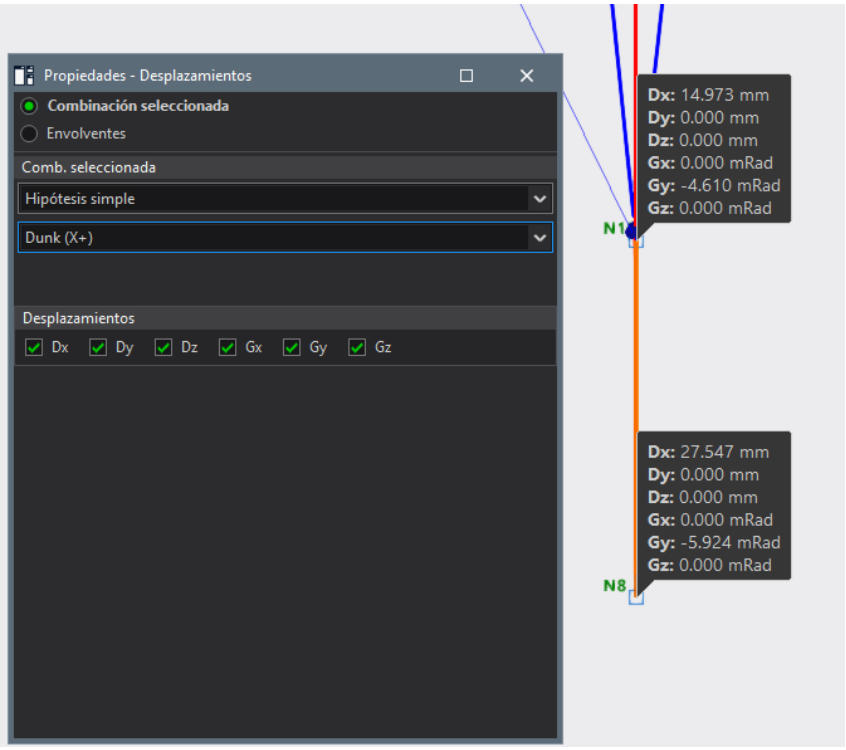
El presente capítulo expone los resultados obtenidos en el análisis y diseño estructural de la mesa de soporte, con base en los criterios normativos y las condiciones de carga establecidas. Se presentan las dimensiones de los elementos estructurales, los esfuerzos y deformaciones obtenidos, así como las verificaciones de resistencia y estabilidad requeridas para el cumplimiento de la NSR-10.

8.1. Comportamiento de la estructura

8.1.1. Desplazamientos esperados

Los desplazamientos del sistema bajo las combinaciones de carga de servicio se verifican frente al límite admisible de L/200 bajo carga dinámica, siendo L la longitud libre del mástil entre el punto de anclaje superior y el nodo de conexión con la canasta.

Figura 9. Desplazamientos máximos esperados



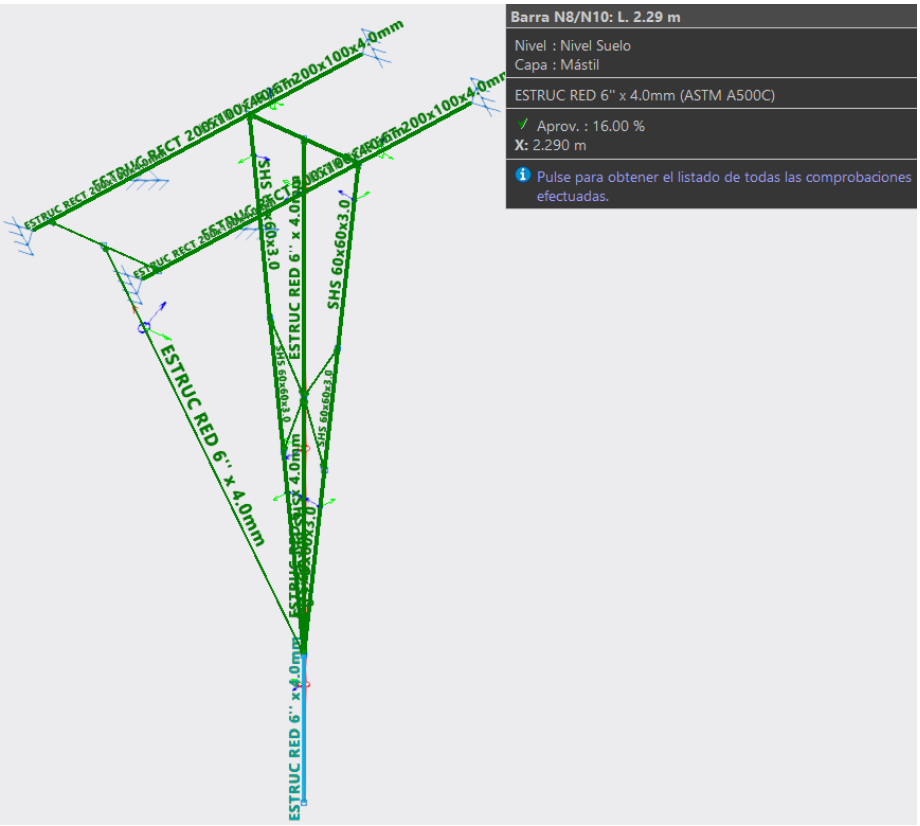
8.2. Diseño de secciones principales

A continuación, se presentan las comprobaciones principales sobre los elementos estructurales.

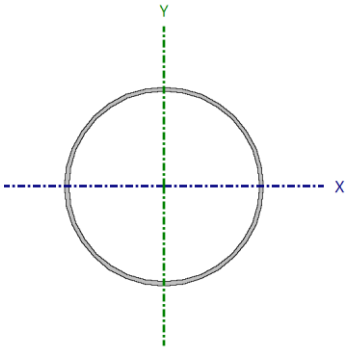
8.2.1. Mástil vertical

El elemento propuesto y más comprometido es el siguiente, con sus respectivas comprobaciones:

Figura 10. Comprobaciones mástil vertical



Perfil: ESTRUC RED 6'' x 4.0mmMaterial: Acero (ASTM A500C)



Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
Inicial	Final		Área (cm²)	I_x[1] (cm4)	I_y[1] (cm4)	I_t[2] (cm4)
N8	N10	2.290	20.66	698.36	698.36	1396.73

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	2.290	2.290	0.000	0.000
C_b	-		1.000	

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

Barra	COMPROBACIONES (ANSI/AISC 360-22 (LRFD))								Estado
	P_t	λ_c	P_c	M_x	M_y	V_x	V_y	$PM_xM_yV_xV_yT$	
N8/N10	x: 2.29 m η = 1.7	N.P.[1]	N.P.[1]	x: 2.29 m η = 11.1	x: 2.29 m η = 13.7	η = 1.1	η = 0.9	x: 2.29 m η = 16.0	**CUMPLE** **η = 16.0**

Notación:
P_t: Resistencia a tracción
λ_c: Limitación de esbeltez para compresión
P_c: Resistencia a compresión
M_x: Resistencia a flexión eje X
M_y: Resistencia a flexión eje Y
V_x: Resistencia a corte X
V_y: Resistencia a corte Y
$PM_xM_yV_xV_yT$: Esfuerzos combinados y torsión
x: Distancia al origen de la barra
η: Coeficiente de aprovechamiento (%)
N.P.: No procede

Comprobaciones que no proceden (N.P.):
[1] La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión.

Resistencia a tracción (Capítulo D)

Se debe satisfacer:

η_T : ***0.017*** ✓

El axil de tracción solicitante de cálculo pésimo P_r se produce en el nudo N10, para la combinación de hipótesis 1.2·PP+1.2·CargaPermanente+1.6·Cargadeuso.

Donde:

P_r: Resistencia a tracción requerida para las combinaciones de carga LRFD — **P_r** : *10.84* kN

P_c: Resistencia de diseño a tracción — **P_c** : *641.47* kN

La resistencia de diseño a tracción es el menor valor de los obtenidos según el estado límite de fluencia a tracción de la sección bruta y el de rotura a tracción de la sección neta

Donde:

φ_t: Factor de resistencia a tracción, tomado como: — **φ_t** : *0.90*

a) Para fluencia bajo tracción en la sección bruta:

P_n : *712.74* kN

Donde:

A: Área bruta de la sección de la barra. — **A** : *20.66* cm²

F_y: Límite elástico mínimo especificado — **F_y** : *345.00* MPa

Limitación de esbeltez para compresión (Capítulo E)

La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión.

Resistencia a compresión (Capítulo E)

La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión.

Resistencia a flexión eje X (Capítulo F)

Todas las secciones deben cumplir con las especificaciones LRFD desarrolladas en Capítulo F de ANSI/AISC 360-22 (LRFD).

Se debe satisfacer el siguiente criterio:

η_M : ***0.111*** ✓

El momento flector solicitante de cálculo pésimo, M_r, se produce en el nudo N10, para la combinacíon de acciones 1.2·PP+1.2·CargaPermanente+0.5·Dunk(Y-)+0.3·SX-SY.

Donde:

M_r: Resistencia a flexión requerida para las combinaciones de carga LRFD — **M_r** : *3.69* kN·m

M_c: Resistencia de diseño a flexión — **M_c** : *33.20* kN·m

La resistencia de diseño a flexión para secciones sometidas a momento flector es el menor valor de los obtenidos según los estados límite descritos en el Capítulo F:

Donde:

φ_b: Factor de resistencia a flexión — **φ_b** : *0.90*

M_n: La resistencia nominal a flexión calculada según Artículo 8, Sección 2, División b — **M_n** : *36.89* kN·m

1. Fluencia

M_n : *37.31* kN·m

Donde:

F_y: Límite elástico mínimo especificado — **F_y** : *345.00* MPa

Z: Módulo resistente plástico — **Z** : *108.13* cm³

2. Pandeo local del ala

b) para secciones no compactas

M_n : *36.89* kN·m

Donde:

E: Módulo de elasticidad del acero — **E** : *200000.00* MPa

D: Diámetro exterior — **D** : *168.40* mm

t: Espesor de la pared — **t** : *4.00* mm

F_y: Límite elástico mínimo especificado — **F_y** : *345.00* MPa

S: Módulo resistente elástico — **S** : *82.94* cm³

Resistencia a flexión eje Y (Capítulo F)

Todas las secciones deben cumplir con las especificaciones LRFD desarrolladas en Capítulo F de ANSI/AISC 360-22 (LRFD).

Se debe satisfacer el siguiente criterio:

η_M : ***0.137*** ✓

El momento flector solicitante de cálculo pésimo, M_r, se produce en el nudo N10, para la combinacíon de acciones 1.2·PP+1.2·CargaPermanente+0.5·Dunk(X-)+SX+0.3·SY.

Donde:

M_r: Resistencia a flexión requerida para las combinaciones de carga LRFD — **M_r** : *4.56* kN·m

M_c: Resistencia de diseño a flexión — **M_c** : *33.20* kN·m

La resistencia de diseño a flexión para secciones sometidas a momento flector es el menor valor de los obtenidos según los estados límite descritos en el Capítulo F:

Donde:

φ_b: Factor de resistencia a flexión — **φ_b** : *0.90*

M_n: La resistencia nominal a flexión calculada según Artículo 8, Sección 2, División b — **M_n** : *36.89* kN·m

1. Fluencia

M_n : *37.31* kN·m

Donde:

F_y: Límite elástico mínimo especificado — **F_y** : *345.00* MPa

Z: Módulo resistente plástico — **Z** : *108.13* cm³

2. Pandeo local del ala

b) para secciones no compactas

M_n : *36.89* kN·m

Donde:

E: Módulo de elasticidad del acero — **E** : *200000.00* MPa

D: Diámetro exterior — **D** : *168.40* mm

t: Espesor de la pared — **t** : *4.00* mm

F_y: Límite elástico mínimo especificado — **F_y** : *345.00* MPa

S: Módulo resistente elástico — **S** : *82.94* cm³

Resistencia a corte X (Capítulo G)

Todas las secciones deben cumplir con las especificaciones LRFD desarrolladas en Capítulo G de ANSI/AISC 360-22 (LRFD).

Se debe satisfacer el siguiente criterio:

η_v : ***0.011*** ✓

El esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_r se produce para la combinación de hipótesis 1.2·PP+1.2·CargaPermanente+0.5·Dunk(X+)-SX+0.3·SY.

Donde:

V_r: Resistencia a cortante requerida para las combinaciones de carga LRFD — **V_r** : *1.99* kN

V_c: Resistencia de diseño a cortante

V_c : *179.27* kN

La resistencia de diseño a cortante viene dada por:

Donde:

φ_v: Factor de resistencia a cortante — **φ_v** : *0.90*

V_n: se define según lo detallado en el Capítulo G, de la siguiente forma:

en tubos redondos, la resistencia nominal a cortante se calcula de la siguiente forma (ANSI/AISC 360-22 (LRFD), Capítulo G - G5).

V_n : *199.19* kN

Donde:

F_{cr}: Tensión crítica, tomada como el mayor de los siguientes valores: **F_{cr}** : *207.00* MPa

F_{cr} : *348.63* MPa

Donde:

E: Módulo de elasticidad del acero **E** : *200000.00* MPa

L_v: La distancia entre los puntos de cortante máximo y cortante cero, tomada, de forma conservadora, como la longitud de la viga **L_v** : *10290.00* mm

D: Diámetro exterior **D** : *168.40* mm

t: Espesor de cálculo de la pared, tomada como 0.93 veces el espesor nominal **t** : *3.72* mm

F_{cr} : *512.18* MPa

Donde:

E: Módulo de elasticidad del acero **E** : *200000.00* MPa

D: Diámetro exterior **D** : *168.40* mm

t: Espesor de cálculo de la pared, tomada como 0.93 veces el espesor nominal **t** : *3.72* mm

A: Área bruta del tubo hueco, basada en el espesor de diseño de la pared **A** : *19.25* cm²

Resistencia a corte Y (Capítulo G)

Todas las secciones deben cumplir con las especificaciones LRFD desarrolladas en Capítulo G de ANSI/AISC 360-22 (LRFD).

Se debe satisfacer el siguiente criterio:

η_V : ***0.009*** ✓

El esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_r se produce para la combinación de hipótesis 1.2·PP+1.2·CargaPermanente+0.5·Dunk(Y-)+0.3·SX-SY.

Donde:

V_r: Resistencia a cortante requerida para las combinaciones de carga LRFD **V_r** : *1.61* kN

V_c: Resistencia de diseño a cortante

V_c : *179.27* kN

La resistencia de diseño a cortante viene dada por:

Donde:

ϕ_v: Factor de resistencia a cortante **ϕ_v** : *0.90*

V_n: se define según lo detallado en el Capítulo G, de la siguiente forma:

en tubos redondos, la resistencia nominal a cortante se calcula de la siguiente forma (ANSI/AISC 360-22 (LRFD), Capítulo G - G5).

V_n : *199.19* kN

Donde:

F_{cr}: Tensión crítica, tomada como el mayor de los siguientes valores: **F_{cr}** : *207.00* MPa

F_{cr} : *348.63* MPa

Donde:

E: Módulo de elasticidad del acero — **E** : *200000.00* MPa

L_v: La distancia entre los puntos de cortante máximo y cortante cero, tomada, de forma conservadora, como la longitud de la viga — **L_v** : *10290.00* mm

D: Diámetro exterior — **D** : *168.40* mm

t: Espesor de cálculo de la pared, tomada como 0.93 veces el espesor nominal — **t** : *3.72* mm

F_{cr} : *512.18* MPa

Donde:

E: Módulo de elasticidad del acero — **E** : *200000.00* MPa

D: Diámetro exterior — **D** : *168.40* mm

t: Espesor de cálculo de la pared, tomada como 0.93 veces el espesor nominal — **t** : *3.72* mm

A: Área bruta del tubo hueco, basada en el espesor de diseño de la pared — **A** : *19.25* cm²

Esfuerzos combinados y torsión (Capítulo H)

Se debe cumplir el siguiente criterio:

η : ***0.160*** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N10, para la combinación de acciones 1.2·PP+1.2·CargaPermanente+0.5·Cargadeuso+0.5·Dunk(X+)-SX-0.3·SY.

Donde:

η: calculado según Artículo 1, Sección 2

2. Secciones con simetría doble y simple sometidas a flexión y tracción

b) Para

η : *0.16*

Donde:

P_r: Resistencia requerida a tracción — **P_r** : *5.34* kN

P_c: Resistencia de diseño a tracción, calculado según el Capítulo D, Sección D2 — **P_c** : *641.47* kN

M_{rx}: Resistencia a flexión requerida en el eje fuerte — **M_{rx}** : *0.68* kN·m

M_{cx}: Resistencia de diseño a flexión en el eje fuerte, calculado según el Capítulo F — **M_{cx}** : *33.20* kN·m

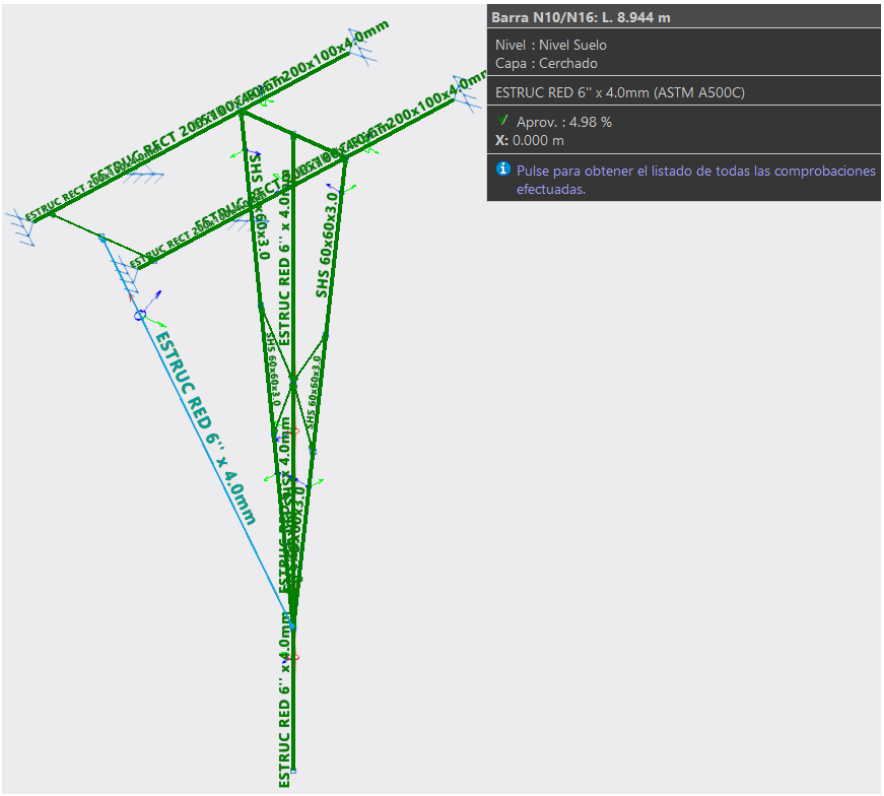
M_{ry}: Resistencia a flexión requerida en el eje débil — **M_{ry}** : *4.49* kN·m

M_{cy}: Resistencia de diseño a flexión en el eje débil, calculado según el Capítulo F — **M_{cy}** : *33.20* kN·m

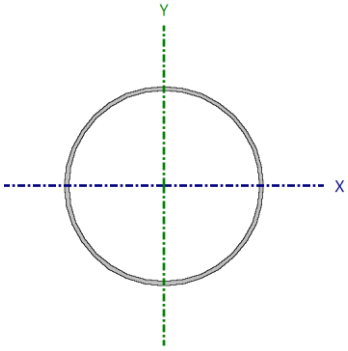
8.2.2. Elemento diagonal principal

El elemento propuesto y más comprometido es el siguiente, con sus respectivas comprobaciones:

Figura 11. Elemento diagonal principal



Perfil: ESTRUC RED 6'' x 4.0mmMaterial: Acero (ASTM A500C)



Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
Inicial	Final		Área (cm²)	I_x(1) (cm4)	I_y(1) (cm4)	I_t(2) (cm4)
N10	N16	8.944	20.66	698.36	698.36	1396.73

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	8.944	8.944	0.000	0.000
C_b	-		1.000	

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

Barra	COMPROBACIONES (ANSI/AISC 360-22 (LRFD))	Estado

	P_t	λ_c	P_c	M_x	M_y	V_x	V_y	$PM_xM_yV_xV_yT$	
N10/N16	x: 8.944 m η = 1.1	$\lambda \leq 200.0$ Cumple	x: 0 m η = 5.0	x: 4.472 m η = 3.0	N.P.(1)	N.P.(2)	x: 0 m η = 0.2	x: 4.472 m η = 4.8	**CUMPLE** **η = 5.0**

Notación:
P_t: Resistencia a tracción
λ_c: Limitación de esbeltez para compresión
P_c: Resistencia a compresión
M_x: Resistencia a flexión eje X
M_y: Resistencia a flexión eje Y
V_x: Resistencia a corte X
V_y: Resistencia a corte Y
$PM_xM_yV_xV_yT$: Esfuerzos combinados y torsión
x: Distancia al origen de la barra
η: Coeficiente de aprovechamiento (%)
N.P.: No procede

Comprobaciones que no proceden (N.P.):
(1) La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.
(2) La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.

Resistencia a tracción (Capítulo D)

Se debe satisfacer:

η_T : ***0.011*** ✓

El axil de tracción solicitante de cálculo pésimo P_r se produce en el nudo N16, para la combinación de hipótesis 1.2·PP+1.2·CargaPermanente+0.5·Dunk(Y-)+0.3·SX-SY.

Donde:

P_r: Resistencia a tracción requerida para las combinaciones de carga LRFD — **P_r** : *6.77* kN

P_c: Resistencia de diseño a tracción — **P_c** : *641.47* kN

La resistencia de diseño a tracción es el menor valor de los obtenidos según el estado límite de fluencia a tracción de la sección bruta y el de rotura a tracción de la sección neta

Donde:

φ_t: Factor de resistencia a tracción, tomado como: — **φ_t** : *0.90*

a) Para fluencia bajo tracción en la sección bruta:

P_n : *712.74* kN

Donde:

A: Área bruta de la sección de la barra. — **A** : *20.66* cm²

F_y: Límite elástico mínimo especificado — **F_y** : *345.00* MPa

Limitación de esbeltez para compresión (Capítulo E)

La esbeltez máxima admisible en una barra sometida a compresión es*:

λ : ***153.8*** ✓

Donde:

λ: Coeficiente de esbeltez

λ : *153.8*

Siendo:

L_c: Longitud efectiva

Donde:

L: Longitud de la barra — **L** : *8944* mm

K: Factor de longitud efectiva. — **K** : *1.00*

$\mathbf{r_x}$: Radio de giro respecto al eje X — $\mathbf{r_x}$: *5.81* cm

Donde:

$\mathbf{r_x}$: *5.81* cm

Donde:

$\mathbf{I_x}$: Momento de inercia respecto al eje X — $\mathbf{I_x}$: *698.36* cm4

A: Área total de la sección transversal de la barra. — **A** : *20.66* cm²

Notas:

*: La esbeltez máxima admisible está basada en las Notas de Usuario de la sección E2.

Resistencia a compresión (Capítulo E)

Todas las secciones deben cumplir con las especificaciones LRFD desarrolladas en Capítulo E de ANSI/AISC 360-22 (LRFD).

Se debe satisfacer el siguiente criterio:

η_T : ***0.050*** ✓

El axil de compresión solicitante de cálculo pésimo P_r se produce en el nudo N10, para la combinación de hipótesis 1.2·PP+1.2·CargaPermanente+0.5·Dunk(Y+)-0.3·SX+SY.

Donde:

$\mathbf{P_r}$: Resistencia a compresión requerida para las combinaciones de carga LRFD — $\mathbf{P_r}$: *6.77* kN

$\mathbf{P_c}$: Resistencia de diseño a compresión — $\mathbf{P_c}$: *136.01* kN

La resistencia de diseño a compresión en secciones comprimidas es el menor valor de los obtenidos según los estados límite descritos en el Capítulo E.

Donde:

φ_p: Factor de resistencia a compresión, tomado como: — φ_p : *0.90*

$\mathbf{P_n}$: Resistencia nominal a compresión, calculada según el Artículo E3-B: — $\mathbf{P_n}$: *151.12* kN

para el pandeo por flexión de secciones con elementos compactos y no compactos (ANSI/AISC 360-22 (LRFD), Capítulo E - E3-B).

Donde:

A: Área bruta de la sección de la barra. — **A** : *20.66* cm²

$\mathbf{F_{cr}}$: Tensión de pandeo por flexión, tomada como: — $\mathbf{F_{cr}}$: *73.15* MPa

ii) Cuando:

Donde:

$\mathbf{F_y}$: Límite elástico mínimo especificado del acero de las barras — $\mathbf{F_y}$: *345.00* MPa

$\mathbf{F_e}$: Tensión crítica elástica de pandeo, tomada como la menor de: — $\mathbf{F_e}$: *83.41* MPa

$\mathbf{F_{ex}}$: *83.41* MPa

$\mathbf{F_{ey}}$: *83.41* MPa

Donde:

Siendo:

$\mathbf{L_c}$: Longitud efectiva

E: Módulo de elasticidad del acero — **E** : *200000.00* MPa
K: Factor de longitud efectiva. — K_x : *1.00*; K_y : *1.00*
L: Longitud de la barra — **L** : *8944* mm
r: Radio de giro dominante — r_x : *5.81* cm; r_y : *5.81* cm

Donde:

I: Momento de inercia — I_x : *698.36* cm4; I_y : *698.36* cm4

A: Área total de la sección transversal de la barra. — **A** : *20.66* cm²

Resistencia a flexión eje X (Capítulo F)

Todas las secciones deben cumplir con las especificaciones LRFD desarrolladas en Capítulo F de ANSI/AISC 360-22 (LRFD).

Se debe satisfacer el siguiente criterio:

η_M : ***0.030*** ✓

El momento flector solicitante de cálculo pésimo, M_r, se produce en un punto situado a una distancia de 4.472 m del nudo N10, para la combinacíon de acciones 1.4·PP+1.4·CargaPermanente.

Donde:

M_r: Resistencia a flexión requerida para las combinaciones de carga LRFD — **M_r** : *1.00* kN·m

M_c: Resistencia de diseño a flexión — **M_c** : *33.20* kN·m

La resistencia de diseño a flexión para secciones sometidas a momento flector es el menor valor de los obtenidos según los estados límite descritos en el Capítulo F:

Donde:

φ_b: Factor de resistencia a flexión — **φ_b** : *0.90*

M_n: La resistencia nominal a flexión calculada según Artículo 8, Sección 2, División b — **M_n** : *36.89* kN·m

1. Fluencia

M_n : *37.31* kN·m

Donde:

F_y: Límite elástico mínimo especificado — **F_y** : *345.00* MPa

Z: Módulo resistente plástico — **Z** : *108.13* cm³

2. Pandeo local del ala

b) para secciones no compactas

M_n : *36.89* kN·m

Donde:

E: Módulo de elasticidad del acero — **E** : *200000.00* MPa

D: Diámetro exterior — **D** : *168.40* mm

t: Espesor de la pared — **t** : *4.00* mm

F_y: Límite elástico mínimo especificado — **F_y** : *345.00* MPa

S: Módulo resistente elástico — **S** : *82.94* cm³

Resistencia a flexión eje Y (Capítulo F)

La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.

Resistencia a corte X (Capítulo G)

La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.

Resistencia a corte Y (Capítulo G)

Todas las secciones deben cumplir con las especificaciones LRFD desarrolladas en Capítulo G de ANSI/AISC 360-22 (LRFD).

Se debe satisfacer el siguiente criterio:

η_v : ***0.002*** ✓

El esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_r se produce en el nudo N10, para la combinación de hipótesis 1.4·PP+1.4·CargaPermanente.

Donde:

V_r: Resistencia a cortante requerida para las combinaciones de carga LRFD — **V_r** : *0.45* kN

V_c: Resistencia de diseño a cortante

V_c : *179.27* kN

La resistencia de diseño a cortante viene dada por:

Donde:

φ_v: Factor de resistencia a cortante — **φ_v** : *0.90*

V_n: se define según lo detallado en el Capítulo G, de la siguiente forma:

en tubos redondos, la resistencia nominal a cortante se calcula de la siguiente forma (ANSI/AISC 360-22 (LRFD), Capítulo G - G5).

V_n : *199.19* kN

Donde:

F_{cr}: Tensión crítica, tomada como el mayor de los siguientes valores: — **F_{cr}** : *207.00* MPa

F_{cr} : *373.94* MPa

Donde:

E: Módulo de elasticidad del acero — **E** : *200000.00* MPa

L_v: La distancia entre los puntos de cortante máximo y cortante cero, tomada, de forma conservadora, como la longitud de la viga — **L_v** : *8944.27* mm

D: Diámetro exterior — **D** : *168.40* mm

t: Espesor de cálculo de la pared, tomada como 0.93 veces el espesor nominal — **t** : *3.72* mm

F_{cr} : *512.18* MPa

Donde:

E: Módulo de elasticidad del acero — **E** : *200000.00* MPa

D: Diámetro exterior	**D** :	*168.40*	mm
t: Espesor de cálculo de la pared, tomada como 0.93 veces el espesor nominal	**t** :	*3.72*	mm
A: Área bruta del tubo hueco, basada en el espesor de diseño de la pared	**A** :	*19.25*	cm²

Esfuerzos combinados y torsión (Capítulo H)

Se debe cumplir el siguiente criterio:

η : ***0.048*** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 4.472 m del nudo N10, para la combinación de acciones 1.2·PP+1.2·CargaPermanente+0.5·Dunk(Y+)-0.3·SX+SY.

Donde:

η: calculado según Artículo 1, Sección 1

1. Secciones con simetría doble y simple sometidas a flexión y compresión

b) Para

η : *0.05*

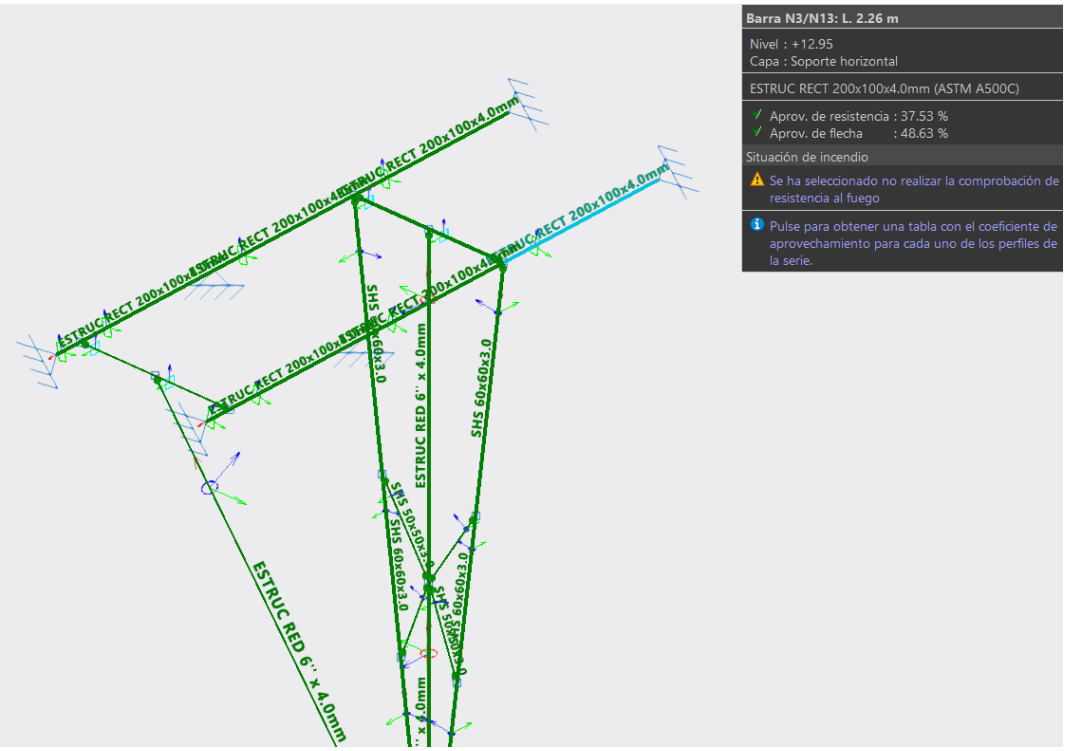
Donde:

P_r: Resistencia a compresión requerida	P_r :	*6.00*	kN
P_c: Resistencia axial disponible, calculado según el Capítulo E	P_c :	*136.01*	kN
M_{rx}: Resistencia a flexión requerida en el eje fuerte	M_{rx} :	*0.85*	kN·m
M_{cx}: Resistencia de diseño a flexión en el eje fuerte, calculado según el Capítulo F	M_{cx} :	*33.20*	kN·m
M_{ry}: Resistencia a flexión requerida en el eje débil	M_{ry} :	*0.00*	kN·m
M_{cy}: Resistencia de diseño a flexión en el eje débil, calculado según el Capítulo F	M_{cy} :	*33.20*	kN·m

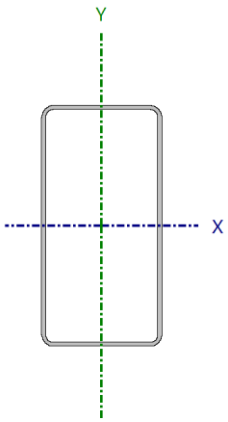
8.2.3. Elemento horizontal de soporte

El elemento propuesto y más comprometido es el siguiente, con sus respectivas comprobaciones:

Figura 12. Elemento horizontal de soporte



Perfil: ESTRUC RECT 200x100x4.0mmMaterial: Acero (ASTM A500C)



Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
Inicial	Final		Área (cm²)	I_x(1) (cm4)	I_y(1) (cm4)	I_t(2) (cm4)
N3	N13	2.260	22.80	1183.97	406.53	988.48

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	2.260	2.260	0.000	0.000
C_b	-		1.000	

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

Barra	COMPROBACIONES (ANSI/AISC 360-22 (LRFD))								Estado
	P_t	λ_c	P_c	M_x	M_y	V_x	V_y	$PM_xM_yV_xV_yT$	
N3/N13	η < 0.1	λ ≤ 200.0 Cumple	η < 0.1	x: 2.26 m η = 32.6	x: 2.26 m η = 5.3	x: 0 m η = 0.5	x: 0 m η = 2.5	x: 2.26 m η = 37.5	**CUMPLE η = 37.5**

Notación:
P_t: Resistencia a tracción
λ_c: Limitación de esbeltez para compresión
P_c: Resistencia a compresión
M_x: Resistencia a flexión eje X
M_y: Resistencia a flexión eje Y
V_x: Resistencia a corte X
V_y: Resistencia a corte Y
$PM_xM_yV_xV_yT$: Esfuerzos combinados y torsión
x: Distancia al origen de la barra
η: Coeficiente de aprovechamiento (%)

Resistencia a tracción (Capítulo D)

Se debe satisfacer:

$\eta_T <$ ***0.001*** ✓

El axil de tracción solicitante de cálculo pésimo P_r se produce para la combinación de hipótesis 1.2·PP+1.2·CargaPermanente+0.5·Dunk(Y-)-0.3·SX-SY.

Donde:

P_r: Resistencia a tracción requerida para las combinaciones de carga LRFD — **P_r** : *0.20* kN

P_c: Resistencia de diseño a tracción — **P_c** : *707.87* kN

La resistencia de diseño a tracción es el menor valor de los obtenidos según el estado límite de fluencia a tracción de la sección bruta y el de rotura a tracción de la sección neta

Donde:

φ_t: Factor de resistencia a tracción, tomado como: — **φ_t** : *0.90*

a) Para fluencia bajo tracción en la sección bruta:

P_n : *786.52* kN

Donde:

A: Área bruta de la sección de la barra. — **A** : *22.80* cm²

F_y: Límite elástico mínimo especificado — **F_y** : *345.00* MPa

Limitación de esbeltez para compresión (Capítulo E)

La esbeltez máxima admisible en una barra sometida a compresión es*:

λ : ***53.5*** ✓

Donde:

λ: Coeficiente de esbeltez

λ : *53.5*

Siendo:

L_c: Longitud efectiva

Donde:

L: Longitud de la barra — **L** : *4300* mm

K: Factor de longitud efectiva. — **K** : *0.53*

r_y: Radio de giro respecto al eje Y — **r_y** : *4.22* cm

Donde:

r_y : *4.22* cm

Donde:

I_y: Momento de inercia respecto al eje Y — I_y : *406.53* cm4

A: Área total de la sección transversal de la barra. — **A** : *22.80* cm²

Notas:

*: La esbeltez máxima admisible está basada en las Notas de Usuario de la sección E2.

Resistencia a compresión (Capítulo E)

Todas las secciones deben cumplir con las especificaciones LRFD desarrolladas en Capítulo E de ANSI/AISC 360-22 (LRFD).

Se debe satisfacer el siguiente criterio:

$\eta_T <$ ***0.001*** ✓

El axil de compresión solicitante de cálculo pésimo P_r se produce para la combinación de hipótesis 1.2·PP+1.2·CargaPermanente+0.5·Dunk(Y+)+0.3·SX+SY.

Donde:

P_r: Resistencia a compresión requerida para las combinaciones de carga LRFD — **P_r** : *0.20* kN

P_c: Resistencia de diseño a compresión — **P_c** : *532.12* kN

La resistencia de diseño a compresión en secciones comprimidas es el menor valor de los obtenidos según los estados límite descritos en el Capítulo E.

Donde:

φ_p: Factor de resistencia a compresión, tomado como: — **φ_p** : *0.90*

P_n: Resistencia nominal a compresión, calculada según el Artículo E7-1: — **P_n** : *591.25* kN

para secciones con elementos esbeltos (ANSI/AISC 360-22 (LRFD), Capítulo E - E7-1).

A_e: Área efectiva — **A_e** : *21.13* cm²

F_{cr}: Tensión de pandeo por flexión, tomada como: — **F_{cr}** : *279.78* MPa

a) Cuando:

Donde:

F_y: Límite elástico mínimo especificado del acero de las barras — **F_y** : *345.00* MPa

i) para secciones doblemente simétricas, F_e es el menor valor de: — **F_e** : *689.15* MPa

F_e : ∞

Donde:

E: Módulo de elasticidad del acero — **E** : *200000.00* MPa

C_w: Constante de alabeo de la sección — **C_w** : *0.00* cm6

K_z: Factor de longitud efectiva de pandeo alrededor del eje Z — **K_z** : *0.00*

L: Longitud de la barra — **L** : *4300* mm

G: Módulo de elasticidad transversal del acero — **G** : *80000.00* MPa

J: Momento de inercia a torsión uniforme — **J** : *988.48* cm4

I_x: Momento de inercia respecto al eje X — **I_x** : *1183.97* cm4

I_y: Momento de inercia respecto al eje Y — I_y : *406.53* cm4

F_e: Tensión crítica elástica de pandeo, tomada como la menor de: — F_e : *689.15* MPa

F_{ex} : *2007.07* MPa

F_{ey} : *689.15* MPa

Donde:

Siendo:

L_c: Longitud efectiva

E: Módulo de elasticidad del acero — **E** : *200000.00* MPa

K: Factor de longitud efectiva. — K_x : *0.53*

K_y : *0.53*

L: Longitud de la barra — **L** : *4300* mm

r: Radio de giro dominante — r_x : *7.21* cm

r_y : *4.22* cm

Donde:

I: Momento de inercia — I_x : *1183.97* cm4

I_y : *406.53* cm4

A: Área total de la sección transversal de la barra. — **A** : *22.80* cm²

Resistencia a flexión eje X (Capítulo F)

Todas las secciones deben cumplir con las especificaciones LRFD desarrolladas en Capítulo F de ANSI/AISC 360-22 (LRFD).

Se debe satisfacer el siguiente criterio:

η_M : ***0.326*** ✓

El momento flector solicitante de cálculo pésimo, M_r, se produce en el nudo N13, para la combinacíon de acciones 1.2·PP+1.2·CargaPermanente+0.5·Cargadeuso+0.5·Dunk(X+)-SX+0.3·SY.

Donde:

M_r: Resistencia a flexión requerida para las combinaciones de carga LRFD — M_r : *14.83* kN·m

M_c: Resistencia de diseño a flexión — M_c : *45.49* kN·m

La resistencia de diseño a flexión para secciones sometidas a momento flector es el menor valor de los obtenidos según los estados límite descritos en el Capítulo F:

Donde:

φ_b: Factor de resistencia a flexión — φ_b : *0.90*

M_n: La resistencia nominal a flexión calculada según Artículo 7, Sección 1 — M_n : *50.54* kN·m

Donde:

M_r: Resistencia a flexión requerida — M_r^+ : *14.83* kN·m

M_r^- : *7.94* kN·m

1. Fluencia

M_n : *50.54* kN·m

Donde:

F_y: Límite elástico mínimo especificado — F_y : *345.00* MPa

Z_x: Módulo resistente plástico respecto al eje X — Z_x : *146.50* cm³

2. Pandeo local del ala

a) para secciones compactas, el estado límite de pandeo local del ala no se aplica

3. Pandeo local del alma

a) para secciones compactas, el estado límite de pandeo local del alma no es de aplicación

4. Pandeo lateral-torsional

a) Cuando $L_b \leq L_p$, el estado límite de pandeo lateral-torsional no aplica.

Resistencia a flexión eje Y (Capítulo F)

Todas las secciones deben cumplir con las especificaciones LRFD desarrolladas en Capítulo F de ANSI/AISC 360-22 (LRFD).

Se debe satisfacer el siguiente criterio:

η_M : ***0.053*** ✓

El momento flector solicitante de cálculo pésimo, M_r, se produce en el nudo N13, para la combinacíon de acciones 1.2·PP+1.2·CargaPermanente+0.5·Cargadeuso+0.5·Dunk(X+)-SX+0.3·SY.

Donde:

M_r: Resistencia a flexión requerida para las combinaciones de carga LRFD — **M_r** : *1.24* kN·m

M_c: Resistencia de diseño a flexión — **M_c** : *23.57* kN·m

La resistencia de diseño a flexión para secciones sometidas a momento flector es el menor valor de los obtenidos según los estados límite descritos en el Capítulo F:

Donde:

φ_b: Factor de resistencia a flexión — **φ_b** : *0.90*

M_n: La resistencia nominal a flexión calculada según Artículo 7, Sección 2, División c — **M_n** : *26.19* kN·m

Donde:

M_r: Resistencia a flexión requerida

M_r^+ : *0.80* kN·m

M_r^- : *1.24* kN·m

1. Fluencia

M_n : *31.37* kN·m

Donde:

F_y: Límite elástico mínimo especificado — **F_y** : *345.00* MPa

Z_y: Módulo resistente plástico respecto al eje Y — **Z_y** : *90.92* cm³

2. Pandeo local del ala

c) para secciones con alas esbeltas:

M_n : *26.19* kN·m

Donde:

F_y: Límite elástico mínimo especificado — **F_y** : *345.00* MPa

S_{effy} : *75.91* cm³

Donde:

I_{effy}: Momento eficaz de inercia respecto al eje Y, basado en el ancho eficaz del ala, calculado como: — **I_{effy}** : *379.56* cm4

h_e : *147.32* mm

Donde:

E: Módulo de elasticidad del acero — **E** : *200000.00* MPa

h: Distancia libre entre alas menos el radio de acuerdo a cada lado — **h** : *180.00* mm

t: Espesor del alma — **t** : *4.00* mm

x: Distancia a la fibra extrema eficaz en flexión — **x** : *50.00* mm

3. Pandeo local del alma

a) para secciones compactas, el estado límite de pandeo local del alma no es de aplicación

4. Pandeo lateral-torsional

a) Cuando $L_b \leq L_p$, el estado límite de pandeo lateral-torsional no aplica.

Resistencia a corte X (Capítulo G)

Todas las secciones deben cumplir con las especificaciones LRFD desarrolladas en Capítulo G de ANSI/AISC 360-22 (LRFD).

Se debe satisfacer el siguiente criterio:

η_v : ***0.005*** ✓

El esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_r se produce en el nudo N3, para la combinación de hipótesis 1.2·PP+1.2·CargaPermanente+0.5·Cargadeuso+0.5·Dunk(X+)-SX+0.3·SY.

Donde:

V_r: Resistencia a cortante requerida para las combinaciones de carga LRFD — **V_r** : *0.59* kN

V_c: Resistencia de diseño a cortante

V_c : *119.23* kN

La resistencia de diseño a cortante viene dada por:

Donde:

φ_v: Factor de resistencia a cortante — **φ_v** : *0.90*

V_n: se define según lo detallado en el Capítulo G, de la siguiente forma:

en tubos rectangulares y secciones en cajón, la resistencia nominal a cortante se calcula de la siguiente forma (ANSI/AISC 360-22 (LRFD), Capítulo G - G4).

V_n : *132.48* kN

Donde:

F_y: Límite elástico mínimo especificado — **F_y** : *345.00* MPa

A_w : *6.40* cm²

Donde:

b: Distancia libre entre almas menos el radio de acuerdo a cada lado — **b** : *80.00* mm

t_f: Espesor del ala — **t_f** : *4.00* mm

b) para todas las demás secciones con simetría doble o simple y secciones en U, excepto tubos redondos, el coeficiente de cortante del alma, C_v, se calcula de la siguiente forma:

i)

C_v : *1.00*

Donde:

b: Distancia libre entre almas menos el radio de acuerdo a cada lado — **b** : *80.00* mm

t_f: Espesor del ala — **t_f** : *4.00* mm

E: Módulo de elasticidad del acero — **E** : *200000.00* MPa

K_v: Coeficiente de abolladura del alma — **K_v** : *5.00*

Resistencia a corte Y (Capítulo G)

Todas las secciones deben cumplir con las especificaciones LRFD desarrolladas en Capítulo G de ANSI/AISC 360-22 (LRFD).

Se debe satisfacer el siguiente criterio:

η_V : ***0.025*** ✓

El esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_r se produce en el nudo N3, para la combinación de hipótesis 1.2·PP+1.2·CargaPermanente+0.5·Cargadeuso+0.5·Dunk(X+)-SX+0.3·SY.

Donde:

V_r: Resistencia a cortante requerida para las combinaciones de carga LRFD — V_r : *6.80* kN

V_c: Resistencia de diseño a cortante

V_c : *268.27* kN

La resistencia de diseño a cortante viene dada por:

Donde:

ϕ_v: Factor de resistencia a cortante — ϕ_v : *0.90*

V_n: se define según lo detallado en el Capítulo G, de la siguiente forma:

en tubos rectangulares y secciones en cajón, la resistencia nominal a cortante se calcula de la siguiente forma (ANSI/AISC 360-22 (LRFD), Capítulo G - G4).

V_n : *298.08* kN

Donde:

F_y: Límite elástico mínimo especificado — F_y : *345.00* MPa

A_w : *14.40* cm²

Donde:

h: Distancia libre entre alas, menos el radio de acuerdo — h : *180.00* mm

t_w: Espesor del alma — t_w : *4.00* mm

b) para almas de todas las demás secciones con simetría doble o simple y secciones en U, excepto tubos redondos, el coeficiente de cortante del alma, C_v, se calcula de la siguiente forma:

i)

C_v : *1.00*

Donde:

h: Distancia libre entre alas, menos el radio de acuerdo — h : *180.00* mm

t_w: Espesor del alma — t_w : *4.00* mm

E: Módulo de elasticidad del acero — E : *200000.00* MPa

K_v: Coeficiente de abolladura del alma — K_v : *5.00*

<u>Esfuerzos combinados y torsión</u> (Capítulo H)

Se debe cumplir el siguiente criterio:

η : ***0.375*** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N13, para la combinación de acciones 1.2·PP+1.2·CargaPermanente+0.5·Cargadeuso+0.5·Dunk(X+)-SX+0.3·SY.

Donde:

η_1: calculado según Artículo 1, Sección 1

1. Secciones con simetría doble y simple sometidas a flexión y compresión

b) Para

η_1 : *0.38*

Donde:

P_r: Resistencia a compresión requerida	P_r :	*0.00*	kN
P_c: Resistencia axial disponible, calculado según el Capítulo E	P_c :	*532.12*	kN
M_{rx}: Resistencia a flexión requerida en el eje fuerte	M_{rx} :	*14.83*	kN·m
M_{cx}: Resistencia de diseño a flexión en el eje fuerte, calculado según el Capítulo F	M_{cx} :	*45.49*	kN·m
M_{ry}: Resistencia a flexión requerida en el eje débil	M_{ry} :	*1.16*	kN·m
M_{cy}: Resistencia de diseño a flexión en el eje débil, calculado según el Capítulo F	M_{cy} :	*23.57*	kN·m

η_2: calculado según Artículo 1, Sección 3

3. Secciones doblemente simétricas sometidas a flexocompresión simple

b) Para el estado límite de pandeo fuera del plano de flexión

η_2 : *0.11*

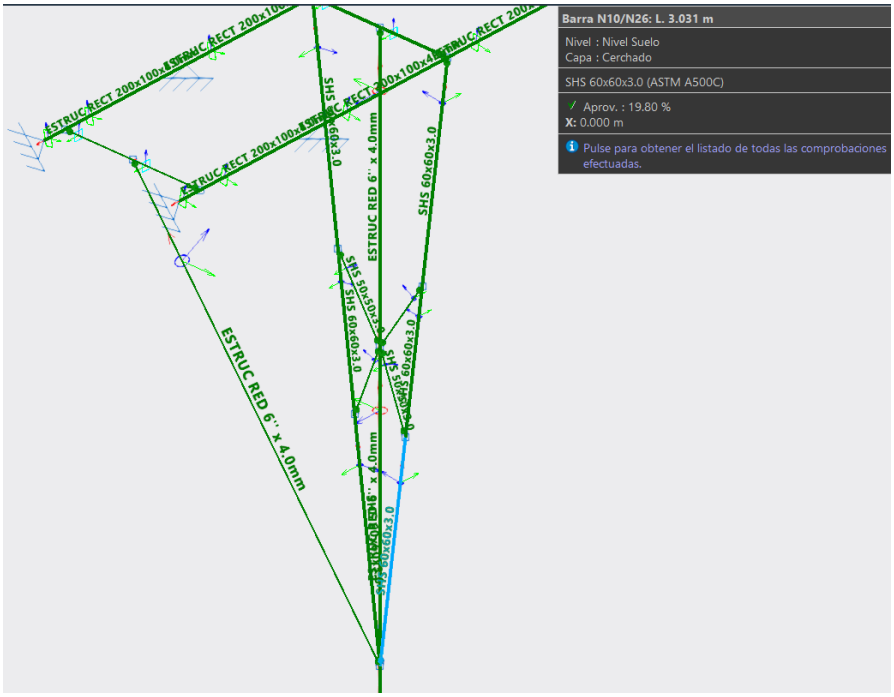
Donde:

P_r: Resistencia a compresión requerida	P_r :	*0.00*	kN
P_{co}: Resistencia de diseño a compresión para pandeo fuera del plano de flexión calculado según el Capítulo E	P_{co} :	*532.12*	kN
M_{rx}: Resistencia a flexión requerida en el eje fuerte	M_{rx} :	*14.83*	kN·m
M_{cx}: Resistencia de diseño a flexión en el eje fuerte, calculado según el Capítulo F	M_{cx} :	*45.49*	kN·m

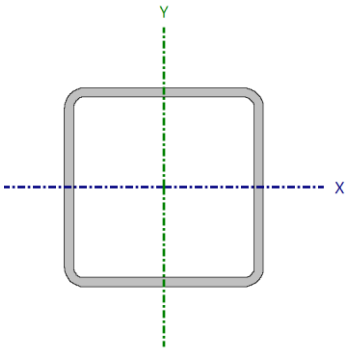
8.2.4. Elemento diagonal

El elemento propuesto y más comprometido es el siguiente, con sus respectivas comprobaciones:

Figura 13. Elemento diagonal más solicitado



Perfil: SHS 60x60x3.0Material: Acero (ASTM A500C)



Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
Inicial	Final		Área (cm^2)	I_x[1] (cm4)	I_y[1] (cm4)	I_t[2] (cm4)
N10	N26	3.031	6.61	35.10	35.10	57.03

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	3.031	3.031	0.000	0.000
C_b	-		1.000	

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

Barra	COMPROBACIONES (ANSI/AISC 360-22 (LRFD))								Estado
	P_t	λ_c	P_c	M_x	M_y	V_x	V_y	$PM_xM_yV_xV_yT$	
N10/N26	x: 3.031 m η = 8.7	λ ≤ 200.0 Cumple	x: 0 m η = 19.8	x: 3.031 m η = 1.1	x: 3.031 m η = 7.9	η = 0.2	x: 0 m η < 0.1	x: 3.031 m η = 12.0	**CUMPLE** **η = 19.8**

Notación:
P_t: Resistencia a tracción
λ_c: Limitación de esbeltez para compresión
P_c: Resistencia a compresión
M_x: Resistencia a flexión eje X
M_y: Resistencia a flexión eje Y
V_x: Resistencia a corte X
V_y: Resistencia a corte Y
$PM_xM_yV_xV_yT$: Esfuerzos combinados y torsión
x: Distancia al origen de la barra
η: Coeficiente de aprovechamiento (%)

Resistencia a tracción (Capítulo D)

Se debe satisfacer:

η_T : ***0.087*** ✓

El axil de tracción solicitante de cálculo pésimo P_r se produce en el nudo N26, para la combinación de hipótesis 1.2·PP+1.2·CargaPermanente+0.5·Cargadeuso+0.5·Dunk(X+)-SX+0.3·SY.

Donde:

P_r: Resistencia a tracción requerida para las combinaciones de carga LRFD — **P_r** : *17.84* kN

P_c: Resistencia de diseño a tracción — **P_c** : *205.02* kN

La resistencia de diseño a tracción es el menor valor de los obtenidos según el estado límite de fluencia a tracción de la sección bruta y el de rotura a tracción de la sección neta

Donde:

φ_t: Factor de resistencia a tracción, tomado como: — **φ_t** : *0.90*

a) Para fluencia bajo tracción en la sección bruta:

P_n : *227.80* kN

Donde:

A: Área bruta de la sección de la barra. — **A** : *6.60* cm²

F_y: Límite elástico mínimo especificado — **F_y** : *345.00* MPa

Limitación de esbeltez para compresión (Capítulo E)

La esbeltez máxima admisible en una barra sometida a compresión es*:

λ : ***131.6*** ✓

Donde:

λ: Coeficiente de esbeltez

λ : *131.6*

Siendo:

L_c: Longitud efectiva

Donde:

L: Longitud de la barra — **L** : *8062* mm

K: Factor de longitud efectiva. — **K** : *0.38*

r_x: Radio de giro respecto al eje X — **r_x** : *2.30* cm

Donde:

r_x : 2.30 cm

Donde:

I_x: Momento de inercia respecto al eje X — I_x : 35.00 cm4

A: Área total de la sección transversal de la barra. — **A** : 6.60 cm²

Notas:

*: La esbeltez máxima admisible está basada en las Notas de Usuario de la sección E2.

Resistencia a compresión (Capítulo E)

Todas las secciones deben cumplir con las especificaciones LRFD desarrolladas en Capítulo E de ANSI/AISC 360-22 (LRFD).

Se debe satisfacer el siguiente criterio:

η_T : **0.198** ✓

El axil de compresión solicitante de cálculo pésimo P_r se produce en el nudo N10, para la combinación de hipótesis 1.2·PP+1.2·CargaPermanente+0.5·Dunk(X-)+SX-0.3·SY.

Donde:

P_r: Resistencia a compresión requerida para las combinaciones de carga LRFD — P_r : 11.75 kN

P_c: Resistencia de diseño a compresión — P_c : 59.36 kN

La resistencia de diseño a compresión en secciones comprimidas es el menor valor de los obtenidos según los estados límite descritos en el Capítulo E.

Donde:

φ_p: Factor de resistencia a compresión, tomado como: — φ_p : 0.90

P_n: Resistencia nominal a compresión, calculada según el Artículo E3-B: — P_n : 65.95 kN

para el pandeo por flexión de secciones con elementos compactos y no compactos (ANSI/AISC 360-22 (LRFD), Capítulo E - E3-B).

Donde:

A: Área bruta de la sección de la barra. — **A** : 6.60 cm²

F_{cr}: Tensión de pandeo por flexión, tomada como: — F_{cr} : 99.89 MPa

ii) Cuando:

Donde:

F_y: Límite elástico mínimo especificado del acero de las barras — F_y : 345.00 MPa

F_e: Tensión crítica elástica de pandeo, tomada como la menor de: — F_e : 113.90 MPa

F_{ex} : 113.90 MPa

F_{ey} : 113.90 MPa

Donde:

Siendo:

L_c: Longitud efectiva

E: Módulo de elasticidad del acero — **E** : 200000.00 MPa

K: Factor de longitud efectiva. — K_x : 0.38

K_y : 0.38

L: Longitud de la barra — **L** : 8062 mm
r: Radio de giro dominante — r_x : 2.30 cm
r_y : 2.30 cm

Donde:

I: Momento de inercia — I_x : 35.00 cm4
I_y : 35.00 cm4

A: Área total de la sección transversal de la barra. — **A** : 6.60 cm²

Resistencia a flexión eje X (Capítulo F)

Todas las secciones deben cumplir con las especificaciones LRFD desarrolladas en Capítulo F de ANSI/AISC 360-22 (LRFD).

Se debe satisfacer el siguiente criterio:

η_M : ***0.011*** ✓

El momento flector solicitante de cálculo pésimo, M_r, se produce en el nudo N26, para la combinacíon de acciones 1.2·PP+1.2·CargaPermanente+0.5·Cargadeuso+0.5·Dunk(X-)-SX+0.3·SY.

Donde:

M_r: Resistencia a flexión requerida para las combinaciones de carga LRFD — **M_r** : 0.05 kN·m

M_c: Resistencia de diseño a flexión — **M_c** : 4.32 kN·m

La resistencia de diseño a flexión para secciones sometidas a momento flector es el menor valor de los obtenidos según los estados límite descritos en el Capítulo F:

Donde:

φ_b: Factor de resistencia a flexión — **φ_b** : 0.90

M_n: La resistencia nominal a flexión calculada según Artículo 7, Sección 1 — **M_n** : 4.80 kN·m

Donde:

M_r: Resistencia a flexión requerida — **M_r^+** : 0.05 kN·m
M_r^- : 0.03 kN·m

1. Fluencia

M_n : 4.80 kN·m

Donde:

F_y: Límite elástico mínimo especificado — **F_y** : 345.00 MPa

Z_x: Módulo resistente plástico respecto al eje X — **Z_x** : 13.93 cm³

2. Pandeo local del ala

a) para secciones compactas, el estado límite de pandeo local del ala no se aplica

3. Pandeo local del alma

a) para secciones compactas, el estado límite de pandeo local del alma no es de aplicación

4. Pandeo lateral-torsional

a) Cuando $L_b \leq L_p$, el estado límite de pandeo lateral-torsional no aplica.

Resistencia a flexión eje Y (Capítulo F)

Todas las secciones deben cumplir con las especificaciones LRFD desarrolladas en Capítulo F de ANSI/AISC 360-22 (LRFD).

Se debe satisfacer el siguiente criterio:

η_M : ***0.079*** ✓

El momento flector solicitante de cálculo pésimo, M_r, se produce en el nudo N26, para la combinacíon de acciones 1.2·PP+1.2·CargaPermanente-0.3·SX-SY.

Donde:

M_r: Resistencia a flexión requerida para las combinaciones de carga LRFD — **M_r** : *0.34* kN·m

M_c: Resistencia de diseño a flexión — **M_c** : *4.32* kN·m

La resistencia de diseño a flexión para secciones sometidas a momento flector es el menor valor de los obtenidos según los estados límite descritos en el Capítulo F:

Donde:

φ_b: Factor de resistencia a flexión — **φ_b** : *0.90*

M_n: La resistencia nominal a flexión calculada según Artículo 7, Sección 1 — **M_n** : *4.80* kN·m

1. Fluencia

M_n : *4.80* kN·m

Donde:

F_y: Límite elástico mínimo especificado — **F_y** : *345.00* MPa

Z_y: Módulo resistente plástico respecto al eje Y — **Z_y** : *13.93* cm³

2. Pandeo local del ala

a) para secciones compactas, el estado límite de pandeo local del ala no se aplica

3. Pandeo local del alma

a) para secciones compactas, el estado límite de pandeo local del alma no es de aplicación

4. Pandeo lateral-torsional

a) Cuando $L_b \leq L_p$, el estado límite de pandeo lateral-torsional no aplica.

Resistencia a corte X (Capítulo G)

Todas las secciones deben cumplir con las especificaciones LRFD desarrolladas en Capítulo G de ANSI/AISC 360-22 (LRFD).

Se debe satisfacer el siguiente criterio:

η_v : ***0.002*** ✓

El esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_r se produce para la combinación de hipótesis 1.2·PP+1.2·CargaPermanente-0.3·SX-SY.

Donde:

V_r: Resistencia a cortante requerida para las combinaciones de carga LRFD — **V_r** : *0.11* kN

V_c: Resistencia de diseño a cortante

V_c : *53.65* kN

La resistencia de diseño a cortante viene dada por:

Donde:

φ_v: Factor de resistencia a cortante — **φ_v** : *0.90*

V_n: se define según lo detallado en el Capítulo G, de la siguiente forma:

en tubos rectangulares y secciones en cajón, la resistencia nominal a cortante se calcula de la siguiente forma (ANSI/AISC 360-22 (LRFD), Capítulo G - G4).

V_n : *59.62* kN

Donde:

F_y: Límite elástico mínimo especificado — **F_y** : *345.00* MPa

A_w : *2.88* cm²

Donde:

b: Distancia libre entre almas menos el radio de acuerdo a cada lado — **b** : *48.00* mm

t_f: Espesor del ala — **t_f** : *3.00* mm

b) para almas de todas las demás secciones con simetría doble o simple y secciones en U, excepto tubos redondos, el coeficiente de cortante del alma, C_v, se calcula de la siguiente forma:

i)

C_v : *1.00*

Donde:

b: Distancia libre entre almas menos el radio de acuerdo a cada lado — **b** : *48.00* mm

t_f: Espesor del ala — **t_f** : *3.00* mm

E: Módulo de elasticidad del acero — **E** : *200000.00* MPa

K_v: Coeficiente de abolladura del alma — **K_v** : *5.00*

Resistencia a corte Y (Capítulo G)

Todas las secciones deben cumplir con las especificaciones LRFD desarrolladas en Capítulo G de ANSI/AISC 360-22 (LRFD).

Se debe satisfacer el siguiente criterio:

η_v < ***0.001*** ✓

El esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_r se produce en el nudo N10, para la combinación de hipótesis 1.2·PP+1.2·CargaPermanente+0.5·Cargadeuso+0.5·Dunk(X-)-SX+0.3·SY.

Donde:

V_r: Resistencia a cortante requerida para las combinaciones de carga LRFD — **V_r** : *0.03* kN

V_c: Resistencia de diseño a cortante

V_c : *53.65* kN

La resistencia de diseño a cortante viene dada por:

Donde:

φ_v: Factor de resistencia a cortante — **φ_v** : *0.90*

V_n: se define según lo detallado en el Capítulo G, de la siguiente forma:

en tubos rectangulares y secciones en cajón, la resistencia nominal a cortante se calcula de la siguiente forma (ANSI/AISC 360-22 (LRFD), Capítulo G - G4).

V_n : *59.62* kN

Donde:

F_y: Límite elástico mínimo especificado — **F_y** : *345.00* MPa

A_w : *2.88* cm²

Donde:

h: Distancia libre entre alas, menos el radio de acuerdo — **h** : *48.00* mm

t_w: Espesor del alma — **t_w** : *3.00* mm

b) para almas de todas las demás secciones con simetría doble o simple y secciones en U, excepto tubos redondos, el coeficiente de cortante del alma, C_v, se calcula de la siguiente forma:

i)

C_v : *1.00*

Donde:

h: Distancia libre entre alas, menos el radio de acuerdo	**h** :	*48.00*	mm
t_w: Espesor del alma	t_w :	*3.00*	mm
E: Módulo de elasticidad del acero	**E** :	*200000.00*	MPa
K_v: Coeficiente de abolladura del alma	K_v :	*5.00*	

Esfuerzos combinados y torsión (Capítulo H)

Se debe cumplir el siguiente criterio:

η : ***0.120*** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N26, para la combinación de acciones 1.2·PP+1.2·CargaPermanente+0.5·Dunk(X-)+SX-0.3·SY.

Donde:

η: calculado según Artículo 1, Sección 1

1. Secciones con simetría doble y simple sometidas a flexión y compresión

b) Para

η : *0.12*

Donde:

P_r: Resistencia a compresión requerida	P_r :	*11.40*	kN
P_c: Resistencia axial disponible, calculado según el Capítulo E	P_c :	*59.36*	kN
M_{rx}: Resistencia a flexión requerida en el eje fuerte	M_{rx} :	*0.00*	kN·m
M_{cx}: Resistencia de diseño a flexión en el eje fuerte, calculado según el Capítulo F	M_{cx} :	*4.32*	kN·m
M_{ry}: Resistencia a flexión requerida en el eje débil	M_{ry} :	*0.10*	kN·m
M_{cy}: Resistencia de diseño a flexión en el eje débil, calculado según el Capítulo F	M_{cy} :	*4.32*	kN·m