MEMORIA DECALCULO DE ESTRUCTURA

INTRODUCCION

La presente memoria contiene los parámetros tenidos en cuenta para la realización del cálculo de estructura en centro Stella D'Italia de la ciudad de Fray Bentos.

La estructura consiste en la ejecución de bases de hormigón armado, porticos metálicos, cubierta y cerramientos laterales.

NORMAS Y PARAMETROS DE DISEÑO

UNIT 033/1991	CARGAS A UTILIZAR EN EL PROYECTO DE EDIFICIOS.
UNIT 050/1982	ACCION DEL VIENTO SOBRE CONSTRUCCIONES.
UNIT 972/1997	HORMIGON. CLASIFICACION POR LA RESISTENCIA. CARACTERISTICA.
UNIT 971/1999	BARRAS DE ACERO CONFORMADAS. ENSAYO DE ADHERENCIA.
UNIT 975/2001	DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE HORMIGON Y HORMIGON ARMADO. NOTACIONES, SIMBOLOS GENERALES.
UNIT 1050/2005	PROYECTO Y EJECUCIÓN DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN EN MASA O ARMADO.

CARGAS MUERTAS Y VIVAS

Las cargas muertas se calculan de acuerdo con los pesos propios de los elementos considerados a partir de la densidad de masa de cada uno.

Las cargas vivas o sobrecargas se determinaron de acuerdo al uso de la construcción estableciéndose el siguiente uso exclusivo.

CARACTERISTICA DE LOS MATERIALES DE LA ESTRUCTURA

El cálculo de la estructura se realizó en base a la utilización de los siguientes materiales:

Hormigón C25

Acero conformado ADN 420

Acero laminado A36

DISEÑO DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES

El diseño de los elementos estructurales se realizó en base a la aplicación de las cargas muertas y vivas como valores máximos de cálculo. Se realiza el diseño de los elementos utilizando el método de resistencia última del hormigón tal como se describe en la norma UNIT 1050/2005.

Todos los resultados obtenidos se detallan en las láminas de estructura que componen el presente cálculo.

CIMENTACION

Para la determinación de la cimentación se ha considerado una resistencia del suelo de 2.0 kg/cm2. Por medio de cateos se verificó la falta de presencia de agua.

Para el diseño de la cimentación se consideraron las siguientes premisas de cálculo:

- No existencia de agua a la profundidad de cimentación
- Resistencia del suelo de acuerdo a valores similares de la zona 2.0 kg/cm^2.

CUBIERTA y CERRAMIENTOS

La cubierta ha sido considerada de manera que el cerramiento sea realizado con paneles del tipo Isodec de 15cm de espesor. La misma solución ha sido considerada para la realización de los cerramientos laterales. Bajo el funcionamiento total de la estructura (planta baja y pasarelas) se consideró en el cálculo de pilares la ejecución de una cubierta liviana compuesta por estructura metálica y cerramiento de paneles del tipo isodec, teniendo el conjunto una carga entre peso propio y sobre carga de 100 kg/m^2.

ESTRUCTURA METALICA

Los pórticos metálicos se ejecutarán de acuerdo con los detalles de estructura correspondientes. Los pilares que formen secciones cerradas se rellenarán de hormigón teniendo especial cuidado en no dejar huecos. En planos figuran todos los detalles de anclajes y demás elementos que la componen.

Estos perfiles se protegerán exteriormente con dos manos de antióxido y dos manos esmalte color gris grafito. Las superficies de perfiles que queden en contacto con hormigón no llevarán ninguna mano de pintura.

Para todos los elementos estructurales metálicos (pórticos y correas) se emplearán perfiles laminados en caliente nuevos, tipo “C” y tipo “I”, cuya geometría se define de acuerdo a las normas DIN 1026 y DIN 1025 respectivamente, de acero A36, según norma DIN 17100, apto para soldadura por fusión, y con tensión admisible a compresión / tracción de 1800 kg./cm^2.

Las planchuelas serán de chapa de acero al carbono, con tensión mínima de fluencia de 2200 kg/cm².

* Certificado de calidad:

La Supervisión de Obra podrá exigir a los proveedores de las estructuras la presentación de certificados de origen y calidad de los materiales componentes. No obstante, se podrá exigir la realización de ensayos adicionales cuando los certificados no contengan los datos requeridos.

Todo acero que no haya sido identificado plenamente no podrá ser utilizado sin previa autorización de la supervisión de obra.

* Fabricación:

Las operaciones de corte, preparación, soldaduras, etc. deberán ser realizadas por personal calificado. La Supervisión de Obra podrá examinar la idoneidad de los soldadores empleados para ejecutar las estructuras. Se acepta hasta un empalme soldado (con soldadura de penetración completa), en barras de más de 6 metros de longitud. En barras de hasta 6 metros de longitud no se aceptarán empalmes. Los corte que se hagan en el material deberán efectuarse de modo que queden limpios, sin rebabas y sin deformaciones.

Las piezas no deberán presentar fisuras ni alabeos, no estando permitido tapar con soldadura zonas defectuosas. Los agujeros para bulones o tornillos se realizarán con taladros y no se permitirá realizarlos con soplete ni punzón.

* Soldadura:

Las características de las soldaduras de los elementos estructurales, deberán ajustarse a lo establecido en la norma DIN 4100. Se empleará en general un cordón de soldadura de 6mm de lado y excepcionalmente superior, en aquellas barras que así lo requieran y se indique en el plano respectivo. La longitud del cordón será la que surge del dibujo. Se admite un cordón continuo de soldadura de hasta 20 cm y como mínimo de 2.5 cm.

Los elementos estructurales que han de unirse mediante soldadura han de preparase para ello convenientemente; también las soldaduras que han de realizarse en obra, han de preparase a ser posible, en el taller.

La suciedad, la herrumbre, cascarilla y pintura así como las escorias del oxicorte han de eliminarse cuidadosamente antes de la soldadura. Después de la soldadura las piezas han de tener la forma adecuada, a ser posible sin un posterior enderezado.

* Montaje:

La supervisión de obra inspeccionará en taller todas las partes prearmadas, antes de su envío a obra, para su aprobación. En la carga, descarga, transporte, almacenamiento y montaje no deben ser solicitados excesivamente, abollados o doblados los elementos estructurales.

En las piezas resistentes no deben soldarse elementos para facilitar el montaje, si no están previstos en los planos, aún cuando sólo se usen provisoriamente y más tarde se retiren. Donde sea necesario se pueden taladrar pequeños agujeros (a ser posible en aquellas piezas que no están fuertemente solicitadas). Estos agujeros no deben cerrarse mediante soldadura.

Se limitará a lo estrictamente imprescindible la soldadura en obra. Los cordones de soldadura no deben tener antes de la inspección ninguna capa de pintura o sólo una capa incolora. La calidad de las soldaduras se podrá verificar por ensayos no destructivos como ultrasónicos o tintas penetrantes.

La supervisión de obra estará facultada para exigir, si lo considera necesario, el control de las soldaduras mediante el ensayo de probeta de soldadura testigo, realizado de acuerdo con lo indicado en los artículos 2 a 6 del anexo 2.7.3 del reglamento CIRSOC 304.

* Pintura protectora:

Las superficies a pintar han de limpiarse de aquellos materiales que descomponen la pintura o bien perjudican su adherencia a la base, ante todo de suciedad, polvo, hollín y especialmente óxido. El óxido ha de eliminarse hasta la base metálica.

Inmediatamente después del desoxidado, los elementos han de cepillarse y desempolvarse pero cuando ya no presenten ningún rastro de óxido. La primera capa ha de aplicarse a continuación, en el mismo día de la desoxidación.

El recubrimiento ha de ejecutarse en dos capas de antióxido y dos capas de esmalte sintético color gris grafito. Para distinguir las diferentes capas es conveniente que tengan tonos de color desiguales.

Han de tratarse con especial cuidado los cantos vivos de los perfiles, esquinas, etc. en los cuales el recubrimiento está más en peligro.

ANEXO: DATOS DE CALCULO

1.- DATOS DE OBRA

1.2.- Estados límite

E.L.U. de rotura. Hormigón	CIRSOC 201-2005
E.L.U. de rotura. Acero conformado	AISI/NASPEC-2007 (LRFD)
E.L.U. de rotura. Acero laminado	AISC 360-05 (LRFD)
Desplazamientos	Acciones características

1.2.1.- Situaciones de proyecto

Para las distintas situaciones de proyecto, las combinaciones de acciones se definirán de acuerdo con los siguientes criterios:

$$\sum_{j\geq 1}\gamma_{Gj}G_{kj}+\gamma_P P_k+\sum_{i\geq 1}\gamma_{Qi}Q_{ki}$$

- Donde:

G_k Acción permanente
P_k Acción de pretensado
Q_k Acción variable
γ_G Coeficiente parcial de seguridad de las acciones permanentes
γ_P Coeficiente parcial de seguridad de la acción de pretensado
$\gamma_{Q,1}$ Coeficiente parcial de seguridad de la acción variable principal
$\gamma_{Q,i}$ Coeficiente parcial de seguridad de las acciones variables de acompañamiento

Para cada situación de proyecto y estado límite los coeficientes a utilizar serán:

E.L.U. de rotura. Hormigón: CIRSOC 201-2005

(9-1)		
	Coeficientes parciales de seguridad (γ)	
	Favorable	Desfavorable
Carga permanente (G)	1.400	1.400
Sobrecarga (Q)		

(9-2)		
	Coeficientes parciales de seguridad (γ)	
	Favorable	Desfavorable
Carga permanente (G)	1.200	1.200
Sobrecarga (Q)	0.000	1.600

(9-3a)		
	Coeficientes parciales de seguridad (γ)	
	Favorable	Desfavorable
Carga permanente (G)	1.200	1.200
Sobrecarga (Q)	0.000	0.500

(9-3b)		
	Coeficientes parciales de seguridad (γ)	
	Favorable	Desfavorable
Carga permanente (G)	1.200	1.200
Sobrecarga (Q)		

(9-4)		
	Coeficientes parciales de seguridad (γ)	
	Favorable	Desfavorable
Carga permanente (G)	1.200	1.200
Sobrecarga (Q)	0.000	0.500

(9-6)		
	Coeficientes parciales de seguridad (γ)	
	Favorable	Desfavorable
Carga permanente (G)	0.900	0.900
Sobrecarga (Q)		

E.L.U. de rotura. Acero conformado: AISI S100-2007 (LRFD)

E.L.U. de rotura. Acero laminado: ANSI/AISC 360-05 (LRFD)

2.3.2 - [1] (ASCE/SEI 7-05)		
	Coeficientes parciales de seguridad (γ)	
	Favorable	Desfavorable
Carga permanente (G)	1.400	1.400
Sobrecarga (Q)		

2.3.2 - [2 Lr] (ASCE/SEI 7-05)		
	Coeficientes parciales de seguridad (γ)	
	Favorable	Desfavorable
Carga permanente (G)	1.200	1.200
Sobrecarga (Q)	0.000	1.600

2.3.2 - [2 S] (ASCE/SEI 7-05)		
	Coeficientes parciales de seguridad (γ)	
	Favorable	Desfavorable
Carga permanente (G)	1.200	1.200
Sobrecarga (Q)	0.000	1.600

2.3.2 - [3 Lr, L] (ASCE/SEI 7-05)		
	Coeficientes parciales de seguridad (γ)	
	Favorable	Desfavorable
Carga permanente (G)	1.200	1.200
Sobrecarga (Q)	0.000	0.500

2.3.2 - [3 S, L] (ASCE/SEI 7-05)		
	Coeficientes parciales de seguridad (γ)	
	Favorable	Desfavorable
Carga permanente (G)	1.200	1.200
Sobrecarga (Q)	0.000	0.500

2.3.2 - [3 Lr, W] (ASCE/SEI 7-05)		
	Coeficientes parciales de seguridad (γ)	
	Favorable	Desfavorable
Carga permanente (G)	1.200	1.200
Sobrecarga (Q)		

2.3.2 - [3 S, W] (ASCE/SEI 7-05)		
	Coeficientes parciales de seguridad (γ)	
	Favorable	Desfavorable
Carga permanente (G)	1.200	1.200
Sobrecarga (Q)		

2.3.2 - [4 Lr] (ASCE/SEI 7-05)		
	Coeficientes parciales de seguridad (γ)	
	Favorable	Desfavorable
Carga permanente (G)	1.200	1.200
Sobrecarga (Q)	0.000	0.500

2.3.2 - [4 S] (ASCE/SEI 7-05)		
	Coeficientes parciales de seguridad (γ)	
	Favorable	Desfavorable
Carga permanente (G)	1.200	1.200
Sobrecarga (Q)	0.000	0.500

2.3.2 - [6] (ASCE/SEI 7-05)		
	Coeficientes parciales de seguridad (γ)	
	Favorable	Desfavorable
Carga permanente (G)	0.900	0.900
Sobrecarga (Q)		

Desplazamientos

Acciones variables sin sismo		
	Coeficientes parciales de seguridad (γ)	
	Favorable	Desfavorable
Carga permanente (G)	1.000	1.000
Sobrecarga (Q)	0.000	1.000

2.- ESTRUCTURA METALICA

2.1.- Geometría

2.1.2.2.- Descripción

Descripción											
Material		Barra	Pieza	Perfil(Serie)	Longitud			β_{xy}	β_{xz}	$Lb_{Sup.}$	$Lb_{Inf.}$
Tipo	Designación	(Ni/Nf)	(Ni/Nf)		Indeformable origen	Deformable	Indeformable extremo			(m)	(m)
Acero laminado	A36	N1 (CNX)/N9	N1 (CNX)/N9	2xUPN 180([=]) (UPN)	-	3.150	-	1.00	1.00	-	-
		N9/N27	N9/N27	2xUPN 180([=]) (UPN)	0.300	2.410	-	1.00	1.00	-	-
		N27/N33	N27/N33	2xUPN 180([=]) (UPN)	0.300	6.410	-	1.00	1.00	-	-
		N33/N39	N33/N39	2xUPN 180([=]) (UPN)	0.300	2.800	-	1.00	1.00	-	-
		N3 (CNX)/N10	N3 (CNX)/N10	2xUPN 180([=]) (UPN)	-	3.150	-	1.00	1.00	-	-
		N10/N28	N10/N28	2xUPN 180([=]) (UPN)	0.300	2.410	-	1.00	1.00	-	-
		N28/N34	N28/N34	2xUPN 180([=]) (UPN)	0.300	6.410	-	1.00	1.00	-	-
		N34/N40	N34/N40	2xUPN 180([=]) (UPN)	0.300	2.800	-	1.00	1.00	-	-
		N4 (CNX)/N13	N4 (CNX)/N13	2xUPN 180([=]) (UPN)	-	3.150	-	1.00	1.00	-	-
		N13/N30	N13/N30	2xUPN 180([=]) (UPN)	0.300	2.410	-	1.00	1.00	-	-

		N30/N35	N30/N35	2xUPN 180([=]) (UPN)	0.300	6.410	-	1.00	1.00	-	-
		N35/N43	N35/N43	2xUPN 180([=]) (UPN)	0.300	2.800	-	1.00	1.00	-	-
		N2 (CNX)/N14	N2 (CNX)/N14	2xUPN 180([=]) (UPN)	-	3.150	-	1.00	1.00	-	-
		N14/N29	N14/N29	2xUPN 180([=]) (UPN)	0.300	2.410	-	1.00	1.00	-	-
		N29/N36	N29/N36	2xUPN 180([=]) (UPN)	0.300	6.410	-	1.00	1.00	-	-
		N36/N41	N36/N41	2xUPN 180([=]) (UPN)	0.300	2.800	-	1.00	1.00	-	-
		N6 (CNX)/N12	N6 (CNX)/N12	2xUPN 180([=]) (UPN)	-	3.150	-	1.00	1.00	-	-
		N12/N32	N12/N32	2xUPN 180([=]) (UPN)	0.300	2.410	-	1.00	1.00	-	-
		N32/N37	N32/N37	2xUPN 180([=]) (UPN)	0.300	6.410	-	1.00	1.00	-	-
		N37/N42	N37/N42	2xUPN 180([=]) (UPN)	0.300	2.800	-	1.00	1.00	-	-
		N5 (CNX)/N11	N5 (CNX)/N11	2xUPN 180([=]) (UPN)	-	3.150	-	1.00	1.00	-	-
		N11/N31	N11/N31	2xUPN 180([=]) (UPN)	0.300	2.410	-	1.00	1.00	-	-
		N31/N38	N31/N38	2xUPN 180([=]) (UPN)	0.300	6.410	-	1.00	1.00	-	-
		N38/N44	N38/N44	2xUPN 180([=]) (UPN)	0.300	2.800	-	1.00	1.00	-	-
		N9/N10	N9/N10	IPN 300 (IPN)	0.490	1.276	0.490	1.00	1.00	-	-
		N10/N16	N10/N16	IPN 300 (IPN)	-	0.116	0.054	1.00	1.00	-	-
		N16/N22	N16/N22	IPN 300 (IPN)	-	0.546	0.054	1.00	1.00	-	-
		N22/N23	N22/N23	IPN 300 (IPN)	-	0.546	0.054	1.00	1.00	-	-
		N14/N13	N14/N13	IPN 300 (IPN)	0.490	1.276	0.490	1.00	1.00	-	-
		N13/N15	N13/N15	IPN 300 (IPN)	-	0.116	0.054	1.00	1.00	-	-

		N15/N21	N15/N21	IPN 300 (IPN)	-	0.546	0.054	1.00	1.00	-	-
		N21/N20	N21/N20	IPN 300 (IPN)	-	0.546	0.054	1.00	1.00	-	-
		N12/N11	N12/N11	IPN 300 (IPN)	0.490	1.276	0.490	1.00	1.00	-	-
		N11/N17	N11/N17	IPN 300 (IPN)	-	0.116	0.054	1.00	1.00	-	-
		N17/N18	N17/N18	IPN 300 (IPN)	-	0.546	0.054	1.00	1.00	-	-
		N18/N19	N18/N19	IPN 300 (IPN)	-	0.546	0.054	1.00	1.00	-	-
		N23/N20	N23/N20	IPN 220 (IPN)	0.068	1.952	-	1.00	1.00	-	-
		N20/N19	N20/N19	IPN 220 (IPN)	0.068	3.732	-	1.00	1.00	-	-
		N19/N24	N19/N24	IPN 220 (IPN)	0.068	3.172	-	1.00	1.00	-	-
		N22/N21	N22/N21	IPN 220 (IPN)	0.068	1.952	-	1.00	1.00	-	-
		N21/N18	N21/N18	IPN 220 (IPN)	0.068	3.732	-	1.00	1.00	-	-
		N18/N25	N18/N25	IPN 220 (IPN)	0.068	3.172	-	1.00	1.00	-	-
		N17/N26	N17/N26	IPN 220 (IPN)	0.068	3.172	-	1.00	1.00	-	-
		N15/N17	N15/N17	IPN 220 (IPN)	0.068	3.732	-	1.00	1.00	-	-
		N16/N15	N16/N15	IPN 220 (IPN)	0.068	1.952	-	1.00	1.00	-	-
		N26/N25	N26/N25	2xUPN 220([]) (UPN)	-	0.600	-	1.00	1.00	-	-
		N25/N24	N25/N24	UPN 220 (UPN)	-	0.600	-	1.00	1.00	-	-
		N27/N28	N27/N28	IPN 300 (IPN)	0.490	1.276	0.490	1.00	1.00	-	-
		N28/N56	N28/N56	IPN 300 (IPN)	-	0.116	0.054	1.00	1.00	-	-
		N56/N57	N56/N57	IPN 300 (IPN)	-	0.546	0.054	1.00	1.00	-	-
		N57/N58	N57/N58	IPN 300 (IPN)	-	0.546	0.054	1.00	1.00	-	-
		N29/N30	N29/N30	IPN 300 (IPN)	0.490	1.276	0.490	1.00	1.00	-	-
		N30/N61	N30/N61	IPN 300 (IPN)	-	0.116	0.054	1.00	1.00	-	-
		N61/N60	N61/N60	IPN 300 (IPN)	-	0.546	0.054	1.00	1.00	-	-
		N60/N59	N60/N59	IPN 300 (IPN)	-	0.546	0.054	1.00	1.00	-	-
		N32/N31	N32/N31	IPN 300 (IPN)	0.490	1.276	0.490	1.00	1.00	-	-

		N31/N65	N31/N65	IPN 300 (IPN)	-	0.116	0.054	1.00	1.00	-	-
		N65/N66	N65/N66	IPN 300 (IPN)	-	0.546	0.054	1.00	1.00	-	-
		N66/N67	N66/N67	IPN 300 (IPN)	-	0.546	0.054	1.00	1.00	-	-
		N69/N68	N69/N68	UPN 220 (UPN)	-	0.546	0.054	1.00	1.00	-	-
		N70/N69	N70/N69	UPN 220 (UPN)	-	0.546	0.054	1.00	1.00	-	-
		N64/N56	N64/N56	IPN 220 (IPN)	-	3.520	-	1.00	1.00	-	-
		N56/N61	N56/N61	IPN 220 (IPN)	0.068	1.952	-	1.00	1.00	-	-
		N61/N65	N61/N65	IPN 220 (IPN)	0.068	3.732	-	1.00	1.00	-	-
		N65/N70	N65/N70	IPN 220 (IPN)	0.068	3.172	-	1.00	1.00	-	-
		N66/N69	N66/N69	IPN 220 (IPN)	0.068	3.172	-	1.00	1.00	-	-
		N60/N66	N60/N66	IPN 220 (IPN)	0.068	3.732	-	1.00	1.00	-	-
		N57/N60	N57/N60	IPN 220 (IPN)	0.068	1.952	-	1.00	1.00	-	-
		N63/N57	N63/N57	IPN 220 (IPN)	-	3.520	-	1.00	1.00	-	-
		N62/N58	N62/N58	IPN 220 (IPN)	-	3.520	-	1.00	1.00	-	-
		N58/N59	N58/N59	IPN 220 (IPN)	0.068	1.952	-	1.00	1.00	-	-
		N59/N67	N59/N67	IPN 220 (IPN)	0.068	3.732	-	1.00	1.00	-	-
		N67/N68	N67/N68	IPN 220 (IPN)	0.068	3.172	-	1.00	1.00	-	-
		N63/N62	N63/N62	UPN 220 (UPN)	-	0.546	0.054	1.00	1.00	-	-
		N64/N63	N64/N63	UPN 220 (UPN)	-	0.546	0.054	1.00	1.00	-	-
		N33/N34	N33/N34	IPN 300 (IPN)	0.490	1.276	0.490	1.00	1.00	-	-
		N45/N47	N45/N47	IPN 300 (IPN)	-	0.546	0.054	1.00	1.00	-	-
		N47/N48	N47/N48	IPN 300 (IPN)	-	0.546	0.054	1.00	1.00	-	-
		N51/N53	N51/N53	IPN 300 (IPN)	-	0.546	0.054	1.00	1.00	-	-
		N52/N51	N52/N51	IPN 300 (IPN)	-	0.546	0.054	1.00	1.00	-	-
		N35/N52	N35/N52	IPN 300 (IPN)	-	0.116	0.054	1.00	1.00	-	-
		N36/N35	N36/N35	IPN 300 (IPN)	0.490	1.276	0.490	1.00	1.00	-	-

		N54/N55	N54/N55	IPN 300 (IPN)	-	0.546	0.054	1.00	1.00	-	-
		N38/N73	N38/N54	IPN 300 (IPN)	-	0.170	-	1.00	1.00	-	-
		N73/N54	N38/N54	IPN 300 (IPN)	-	0.546	0.054	1.00	1.00	-	-
		N37/N38	N37/N38	IPN 300 (IPN)	0.490	1.276	0.490	1.00	1.00	-	-
		N50/N49	N50/N49	UPN 220 (UPN)	-	0.546	0.054	1.00	1.00	-	-
		N46/N50	N46/N50	UPN 220 (UPN)	-	0.546	0.054	1.00	1.00	-	-
		N53/N55	N53/N55	IPN 220 (IPN)	0.068	3.732	-	1.00	1.00	-	-
		N48/N53	N48/N53	IPN 220 (IPN)	0.068	1.952	-	1.00	1.00	-	-
		N49/N48	N49/N48	IPN 220 (IPN)	-	3.520	-	1.00	1.00	-	-
		N50/N47	N50/N47	IPN 220 (IPN)	-	3.520	-	1.00	1.00	-	-
		N47/N51	N47/N51	IPN 220 (IPN)	0.068	1.952	-	1.00	1.00	-	-
		N51/N54	N51/N54	IPN 220 (IPN)	0.068	3.732	-	1.00	1.00	-	-
		N52/N73	N52/N73	IPN 220 (IPN)	0.068	3.732	-	1.00	1.00	-	-
		N45/N52	N45/N52	IPN 220 (IPN)	0.068	1.952	-	1.00	1.00	-	-
		N46/N45	N46/N45	IPN 220 (IPN)	-	3.520	-	1.00	1.00	-	-
		N39/N41	N39/N41	IPN 220 (IPN)	0.090	1.930	-	1.00	1.00	-	-
		N41/N42	N41/N42	IPN 220 (IPN)	0.054	3.656	0.090	1.00	1.00	-	-
		N40/N43	N40/N43	IPN 220 (IPN)	0.180	1.840	-	1.00	1.00	-	-
		N43/N44	N43/N44	IPN 220 (IPN)	0.180	3.530	0.090	1.00	1.00	-	-
		N39/N40	N39/N40	2xUPN 180([=]) (UPN)	0.490	1.276	0.490	1.00	1.00	-	-
		N40/N71	N40/N71	2xUPN 180([=]) (UPN)	-	8.101	0.176	1.00	1.00	-	-
		N71/N74	N71/N74	2xUPN 180([=]) (UPN)	0.175	1.825	-	1.00	1.00	-	-
		N75/N39	N75/N39	2xUPN 180([=]) (UPN)	-	1.016	-	1.00	1.00	-	-
		N76/N42	N76/N42	2xUPN 180([=]) (UPN)	-	1.016	-	1.00	1.00	-	-

		N42/N44	N42/N44	2xUPN 180([=]) (UPN)	0.490	1.276	0.490	1.00	1.00	-	-
		N44/N72	N44/N72	2xUPN 180([=]) (UPN)	-	8.102	0.175	1.00	1.00	-	-
		N72/N77	N72/N77	2xUPN 180([=]) (UPN)	0.175	1.825	-	1.00	1.00	-	-
		N34/N45	N34/N45	IPN 300 (IPN)	-	0.116	0.054	1.00	1.00	-	-
		N41/N43	N41/N43	IPN 220 (IPN)	0.490	1.276	0.490	1.00	1.00	-	-
		N36/N37	N36/N37	IPN 220 (IPN)	0.068	3.732	-	1.00	1.00	-	-
		N33/N36	N33/N36	IPN 220 (IPN)	0.068	1.952	-	1.00	1.00	-	-
		N29/N32	N29/N32	IPN 220 (IPN)	0.068	3.732	-	1.00	1.00	-	-
		N27/N29	N27/N29	IPN 220 (IPN)	0.068	1.952	-	1.00	1.00	-	-
		N14/N12	N14/N12	IPN 220 (IPN)	0.068	3.732	-	1.00	1.00	-	-
		N9/N14	N9/N14	IPN 220 (IPN)	0.068	1.952	-	1.00	1.00	-	-
		N36/N43	N36/N43	Ø1 (Barras redondas)	-	3.834	-	0.00	0.00	-	-
		N35/N41	N35/N41	Ø1 (Barras redondas)	-	3.834	-	0.00	0.00	-	-
		N29/N35	N29/N35	Ø1 (Barras redondas)	-	5.578	1.501	0.00	0.00	-	-
		N30/N36	N30/N36	Ø1 (Barras redondas)	-	7.079	-	0.00	0.00	-	-
		N14/N30	N14/N30	Ø1 (Barras redondas)	-	2.775	0.751	0.00	0.00	-	-
		N13/N29	N13/N29	Ø1 (Barras redondas)	-	3.526	-	0.00	0.00	-	-
		N2 (CNX)/N13	N2 (CNX)/N13	Ø1 (Barras redondas)	0.860	2.190	0.824	0.00	0.00	-	-
		N4 (CNX)/N14	N4 (CNX)/N14	Ø1 (Barras redondas)	-	3.874	-	0.00	0.00	-	-
		N2 (CNX)/N9	N2 (CNX)/N9	Ø1 (Barras redondas)	-	3.742	-	0.00	0.00	-	-
		N1 (CNX)/N14	N1 (CNX)/N14	Ø1 (Barras redondas)	-	3.742	-	0.00	0.00	-	-
		N14/N27	N14/N27	Ø1 (Barras redondas)	-	3.380	-	0.00	0.00	-	-
		N9/N29	N9/N29	Ø1 (Barras redondas)	0.265	3.115	-	0.00	0.00	-	-
		N27/N36	N27/N36	Ø1 (Barras redondas)	0.310	6.697	-	0.00	0.00	-	-
		N29/N33	N29/N33	Ø1 (Barras redondas)	-	7.007	-	0.00	0.00	-	-

		N33/N41	N33/N41	Ø1 (Barras redondas)	0.255	3.445	-	0.00	0.00	-	-
		N36/N39	N36/N39	Ø1 (Barras redondas)	-	3.389	0.311	0.00	0.00	-	-
		N34/N39	N34/N39	Ø1 (Barras redondas)	-	3.834	-	0.00	0.00	-	-
		N33/N40	N33/N40	Ø1 (Barras redondas)	-	3.834	-	0.00	0.00	-	-
		N28/N33	N28/N33	Ø1 (Barras redondas)	-	7.079	-	0.00	0.00	-	-
		N27/N34	N27/N34	Ø1 (Barras redondas)	-	5.578	1.501	0.00	0.00	-	-
		N9/N28	N9/N28	Ø1 (Barras redondas)	-	2.775	0.751	0.00	0.00	-	-
		N10/N27	N10/N27	Ø1 (Barras redondas)	-	3.526	-	0.00	0.00	-	-
		N1 (CNX)/N10	N1 (CNX)/N10	Ø1 (Barras redondas)	0.860	2.190	0.824	0.00	0.00	-	-
		N3 (CNX)/N9	N3 (CNX)/N9	Ø1 (Barras redondas)	-	3.874	-	0.00	0.00	-	-
Acero conformado	ASTM A 36 36 ksi	N7 (P6)/N71	N7 (P6)/N71	tubo metalico (tubo)	-	15.670	-	1.00	1.00	-	-
		N8 (P5)/N72	N8 (P5)/N72	tubo metalico (tubo)	-	15.670	-	1.00	1.00	-	-

Notación:

Ni: Nudo inicial

Nf: Nudo final

β : Coeficiente de pandeo en el plano 'XY'

2.1.2.5.- Resumen de cómputo

Resumen de cómputo												
Material		Serie	Perfil	Longitud			Volumen			Peso		
Tipo	Designación			Perfil	Serie	Material	Perfil	Serie	Material	Perfil	Serie	Material
Acero laminado	A36	UPN	UPN 180, Doble en cajón con presillas	121.118			0.678			5324.33		
			UPN 220, Doble en cajón soldado	0.600			0.004			35.23		
			UPN 220	4.200			0.016			123.31		
					125.918			0.698			5482.87	
		IPN	IPN 300	32.630			0.225			1767.42		
			IPN 220	124.299			0.491			3854.19		
					156.929			0.716			5621.61	
		Barras redondas	Ø1	108.910			0.055			433.21		
					108.910			0.055			433.21	
						391.757			1.470			11537.69
Acero conformado	ASTM A 36 36 ksi	tubo	tubo metalico	31.340			0.335			2627.83		
					31.340			0.335			2627.83	
						31.340			0.335			2627.83

2.1.2.6.- Cómputo de las presillas

Cómputo empresillado					
Acero	Espesor	Peralte	Longitud	Peso	Total
ASTM A 36 36 ksi	10	70	159.300	833.8	
ASTM A 36 36 ksi	10	80	18.900	113.1	
ASTM A 36 36 ksi	10	90	12.000	80.8	
ASTM A 36 36 ksi	13	100	57.600	574.2	
					1601.8
					1601.8

2.1.2.7.- Cómputo de superficies

Perfiles de acero: Cómputo de las superficies a pintar					
Tipo	Serie	Perfil	Superficie unitaria	Longitud	Superficie
Acero laminado	UPN	UPN 180, Doble en cajón con presillas	1.248	121.118	151.155
		UPN 220, Doble en cajón soldado	0.760	0.600	0.456
		UPN 220	0.742	4.200	3.116
	IPN	IPN 300	1.078	32.630	35.189
		IPN 220	0.816	124.299	101.403
	Barras redondas	Ø1	0.080	108.910	8.691

				Subtotal	300.009
Acero conformado	tubo	tubo metalico	1.100	31.340	34.460
				Subtotal	34.460
				Total	**334.469**
Notas:					

2.2.- Cargas

2.2.1.- Barras

Cargas en barras										
Barra	Hipótesis	Tipo	Valores		Posición		Dirección			
			P1	P2	L1	L2	Ejes	X	Y	Z
N1 (CNX)/N9	Peso propio	Uniforme	0.044	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N9/N27	Peso propio	Uniforme	0.044	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N27/N33	Peso propio	Uniforme	0.044	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N33/N39	Peso propio	Uniforme	0.044	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N3 (CNX)/N10	Peso propio	Uniforme	0.044	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N10/N28	Peso propio	Uniforme	0.044	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N28/N34	Peso propio	Uniforme	0.044	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N34/N40	Peso propio	Uniforme	0.044	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N4 (CNX)/N13	Peso propio	Uniforme	0.044	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N13/N30	Peso propio	Uniforme	0.044	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N30/N35	Peso propio	Uniforme	0.044	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N35/N43	Peso propio	Uniforme	0.044	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N2 (CNX)/N14	Peso propio	Uniforme	0.044	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N14/N29	Peso propio	Uniforme	0.044	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N29/N36	Peso propio	Uniforme	0.044	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N36/N41	Peso propio	Uniforme	0.044	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N6 (CNX)/N12	Peso propio	Uniforme	0.044	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N12/N32	Peso propio	Uniforme	0.044	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N32/N37	Peso propio	Uniforme	0.044	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N37/N42	Peso propio	Uniforme	0.044	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N5 (CNX)/N11	Peso propio	Uniforme	0.044	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N11/N31	Peso propio	Uniforme	0.044	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N31/N38	Peso propio	Uniforme	0.044	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N38/N44	Peso propio	Uniforme	0.044	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N7 (P6)/N71	Peso propio	Uniforme	0.084	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N8 (P5)/N72	Peso propio	Uniforme	0.084	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000

N9/N10	Peso propio	Uniforme	0.054	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N10/N16	Peso propio	Uniforme	0.054	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N16/N22	Peso propio	Uniforme	0.054	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N22/N23	Peso propio	Uniforme	0.054	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N14/N13	Peso propio	Uniforme	0.054	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N13/N15	Peso propio	Uniforme	0.054	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N15/N21	Peso propio	Uniforme	0.054	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N21/N20	Peso propio	Uniforme	0.054	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N12/N11	Peso propio	Uniforme	0.054	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N11/N17	Peso propio	Uniforme	0.054	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N17/N18	Peso propio	Uniforme	0.054	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N18/N19	Peso propio	Uniforme	0.054	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N23/N20	Peso propio	Uniforme	0.031	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N23/N20	Peso propio	Uniforme	0.090	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N20/N19	Peso propio	Uniforme	0.031	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N20/N19	Peso propio	Uniforme	0.090	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N19/N24	Peso propio	Uniforme	0.031	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N19/N24	Peso propio	Uniforme	0.090	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N22/N21	Peso propio	Uniforme	0.031	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N22/N21	Peso propio	Uniforme	0.180	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N21/N18	Peso propio	Uniforme	0.031	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N21/N18	Peso propio	Uniforme	0.180	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N18/N25	Peso propio	Uniforme	0.031	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N18/N25	Peso propio	Uniforme	0.180	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N17/N26	Peso propio	Uniforme	0.031	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N17/N26	Peso propio	Uniforme	0.090	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N15/N17	Peso propio	Uniforme	0.031	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N15/N17	Peso propio	Uniforme	0.090	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N16/N15	Peso propio	Uniforme	0.031	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N16/N15	Peso propio	Uniforme	0.090	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N26/N25	Peso propio	Uniforme	0.059	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N25/N24	Peso propio	Uniforme	0.029	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N27/N28	Peso propio	Uniforme	0.054	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N28/N56	Peso propio	Uniforme	0.054	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N56/N57	Peso propio	Uniforme	0.054	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N57/N58	Peso propio	Uniforme	0.054	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N29/N30	Peso propio	Uniforme	0.054	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N30/N61	Peso propio	Uniforme	0.054	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N61/N60	Peso propio	Uniforme	0.054	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N60/N59	Peso propio	Uniforme	0.054	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000

N32/N31	Peso propio	Uniforme	0.054	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N31/N65	Peso propio	Uniforme	0.054	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N65/N66	Peso propio	Uniforme	0.054	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N66/N67	Peso propio	Uniforme	0.054	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N69/N68	Peso propio	Uniforme	0.029	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N70/N69	Peso propio	Uniforme	0.029	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N64/N56	Peso propio	Uniforme	0.031	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N64/N56	Peso propio	Uniforme	0.090	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N56/N61	Peso propio	Uniforme	0.031	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N56/N61	Peso propio	Uniforme	0.090	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N61/N65	Peso propio	Uniforme	0.031	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N61/N65	Peso propio	Uniforme	0.090	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N65/N70	Peso propio	Uniforme	0.031	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N65/N70	Peso propio	Uniforme	0.090	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N66/N69	Peso propio	Uniforme	0.031	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N66/N69	Peso propio	Uniforme	0.180	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N60/N66	Peso propio	Uniforme	0.031	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N60/N66	Peso propio	Uniforme	0.180	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N57/N60	Peso propio	Uniforme	0.031	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N57/N60	Peso propio	Uniforme	0.180	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N63/N57	Peso propio	Uniforme	0.031	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N63/N57	Peso propio	Uniforme	0.180	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N62/N58	Peso propio	Uniforme	0.031	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N62/N58	Peso propio	Uniforme	0.090	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N58/N59	Peso propio	Uniforme	0.031	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N58/N59	Peso propio	Uniforme	0.090	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N59/N67	Peso propio	Uniforme	0.031	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N59/N67	Peso propio	Uniforme	0.090	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N67/N68	Peso propio	Uniforme	0.031	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N67/N68	Peso propio	Uniforme	0.090	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N63/N62	Peso propio	Uniforme	0.029	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N64/N63	Peso propio	Uniforme	0.029	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N33/N34	Peso propio	Uniforme	0.054	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N45/N47	Peso propio	Uniforme	0.054	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N47/N48	Peso propio	Uniforme	0.054	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N51/N53	Peso propio	Uniforme	0.054	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N52/N51	Peso propio	Uniforme	0.054	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N35/N52	Peso propio	Uniforme	0.054	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N36/N35	Peso propio	Uniforme	0.054	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N54/N55	Peso propio	Uniforme	0.054	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000

N38/N73	Peso propio	Uniforme	0.054	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N73/N54	Peso propio	Uniforme	0.054	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N37/N38	Peso propio	Uniforme	0.054	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N50/N49	Peso propio	Uniforme	0.029	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N46/N50	Peso propio	Uniforme	0.029	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N53/N55	Peso propio	Uniforme	0.031	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N53/N55	Peso propio	Uniforme	0.090	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N48/N53	Peso propio	Uniforme	0.031	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N48/N53	Peso propio	Uniforme	0.090	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N49/N48	Peso propio	Uniforme	0.031	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N49/N48	Peso propio	Uniforme	0.090	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N50/N47	Peso propio	Uniforme	0.031	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N50/N47	Peso propio	Uniforme	0.180	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N47/N51	Peso propio	Uniforme	0.031	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N47/N51	Peso propio	Uniforme	0.180	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N51/N54	Peso propio	Uniforme	0.031	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N51/N54	Peso propio	Uniforme	0.180	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N52/N73	Peso propio	Uniforme	0.031	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N52/N73	Peso propio	Uniforme	0.090	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N45/N52	Peso propio	Uniforme	0.031	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N45/N52	Peso propio	Uniforme	0.090	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N46/N45	Peso propio	Uniforme	0.031	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N46/N45	Peso propio	Uniforme	0.090	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N39/N41	Peso propio	Uniforme	0.031	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N41/N42	Peso propio	Uniforme	0.031	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N40/N43	Peso propio	Uniforme	0.031	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N43/N44	Peso propio	Uniforme	0.031	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N39/N40	Peso propio	Uniforme	0.044	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N39/N40	Peso propio	Uniforme	0.408	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N40/N71	Peso propio	Uniforme	0.044	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N40/N71	Peso propio	Uniforme	0.408	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N71/N74	Peso propio	Uniforme	0.044	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N71/N74	Peso propio	Uniforme	0.408	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N75/N39	Peso propio	Uniforme	0.044	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N75/N39	Peso propio	Uniforme	0.408	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N76/N42	Peso propio	Uniforme	0.044	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N76/N42	Peso propio	Uniforme	0.408	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N42/N44	Peso propio	Uniforme	0.044	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N42/N44	Peso propio	Uniforme	0.408	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N44/N72	Peso propio	Uniforme	0.044	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000

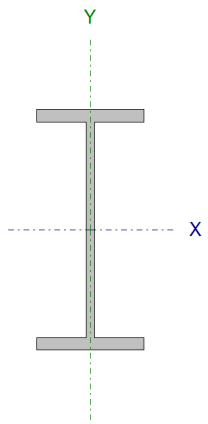
N44/N72	Peso propio	Uniforme	0.408	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N72/N77	Peso propio	Uniforme	0.044	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N72/N77	Peso propio	Uniforme	0.408	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N34/N45	Peso propio	Uniforme	0.054	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N41/N43	Peso propio	Uniforme	0.031	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N36/N37	Peso propio	Uniforme	0.031	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N33/N36	Peso propio	Uniforme	0.031	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N29/N32	Peso propio	Uniforme	0.031	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N27/N29	Peso propio	Uniforme	0.031	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N14/N12	Peso propio	Uniforme	0.031	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N9/N14	Peso propio	Uniforme	0.031	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000

2.3.2.4.- Comprobaciones E.L.U. (Completo)

Nota: Se muestra el listado completo de comprobaciones realizadas para las 10 barras con mayor coeficiente de aprovechamiento.

Barra N47/N51

Perfil: IPN 220Material: Acero (A36)



Nudos		Longitud	Características mecánicas			
Inicial	Final	(m)	Área	I_x(1)	I_y(1)	I_t(2)
N47	N51	2.020	39.50	3060.00	162.00	16.97

Notas:

(1) Inercia respecto al eje indicado

	Pandeo		Pandeo lateral	
	Plano ZX	Plano ZY	Ala sup.	Ala inf.
β	1.00	1.00	0.00	0.00
L_K	2.020	2.020	0.000	0.000
C_b	-		1.000	

Notación:

β: Coeficiente de pandeo

Resistencia a tracción (Capítulo D)

Se debe satisfacer:

$$\eta_T = \frac{P_r}{P_c} \leq 1$$

η_T : ***0.001*** ✓

El axil de tracción solicitante de cálculo pésimo P_r se produce para la combinación de hipótesis 1.4·PP+1.4·CM.

Donde:

P_r: Resistencia a tracción requerida para las combinaciones de carga LRFD — **P_r** : *0.077* t

P_c: Resistencia de diseño a tracción — **P_c** : *90.596* t

$$P_c = \varphi_t P_n$$

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:

$$P_n = F_y A \quad (D2-1)$$

P_n : *100.663* t

Donde:

A: Área bruta de la sección de la barra. — **A** : *39.50* cm²

F_y: Límite elástico mínimo especificado — **F_y** : *2548.42* kp/cm²

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 360-05 (LRFD).
Se debe satisfacer el siguiente criterio:

$$\eta_M = \frac{M_r}{M_c} \leq 1$$

η_M : ***0.204*** ✓

El momento flector solicitante de cálculo pésimo, M_r, se produce en un punto situado a una distancia de 0.068 m del nudo N47, para la combinacíon de acciones 1.4·PP+1.4·CM.

Donde:

M_r: Resistencia a flexión requerida para las combinaciones de carga LRFD — M_r : *1.498* t·m

M_c: Resistencia de diseño a flexión — M_c : *7.354* t·m

$$M_c = \varphi_b M_n$$

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 2, Sección 1 — M_n : *8.171* t·m

1. Fluencia

$$M_n = M_p = F_y Z_x$$

M_n : *8.171* t·m

Donde:

F_y: Límite elástico mínimo especificado — F_y : *2548.42* kp/cm²

Z_x: Módulo resistente plástico respecto al eje X — Z_x : *320.63* cm³

2. Pandeo lateral

a) Si $L_b \leq L_p$:, el estado límite de pandeo lateral no es de aplicación

Donde:

L_b: Distancia entre puntos de arriostramiento al desplazamiento lateral del ala comprimida o de la torsión de la sección transversal — L_b : *0* mm

$$L_p = 1.76 r_y \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

L_p : *1008.13* mm

Donde:

E: Módulo de elasticidad del acero — E : *2038735.98* kp/cm²

F_y: Límite elástico mínimo especificado — F_y : *2548.42* kp/cm²

$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}}$$

r_y : *2.03* cm

Donde:

I_y: Momento de inercia respecto al eje Y	I_y :	*162.00*	cm4
A: Área total de la sección transversal de la barra.	**A** :	*39.50*	cm²

Resistencia a flexión eje Y (Capítulo F)

Todas las secciones deben cumplir con las especificaciones LRFD desarrolladas en Capítulo F de ANSI/AISC 360-05 (LRFD).
Se debe satisfacer el siguiente criterio:

$$\eta_M = \frac{M_r}{M_c} \leq 1$$

η_M : ***0.021*** ✓

El momento flector solicitante de cálculo pésimo, M_r, se produce en el nudo N51, para la combinacíon de acciones 1.4·PP+1.4·CM.
Donde:

M_r: Resistencia a flexión requerida para las combinaciones de carga LRFD	M_r :	*0.026*	t·m
M_c: Resistencia de diseño a flexión	M_c :	*1.213*	t·m

$$M_c = \varphi_b M_n$$

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 6, Sección 1	M_n :	*1.348*	t·m

1. Fluencia

$$M_n = M_p = F_y Z_y \leq 1.6 F_y S_y$$

M_n : *1.348* t·m

Donde:

F_y: Límite elástico mínimo especificado	F_y :	*2548.42*	kp/cm²
Z_y: Módulo resistente plástico respecto al eje Y	Z_y :	*56.20*	cm³
S_y: Módulo resistente elástico respecto al eje Y			

$$S_y = \frac{I_y}{x}$$

S_y : *33.06* cm³

Donde:

I_y: Momento de inercia respecto al eje Y	I_y :	*162.00*	cm4
x: Distancia a la fibra extrema en flexión desde el baricentro	**x** :	*49.00*	mm

2. Pandeo local del ala

a) Para secciones con alas compactas el estado límite de fluencia es de aplicación

Resistencia a corte X (Capítulo G)

Todas las secciones deben cumplir con las especificaciones LRFD desarrolladas en Capítulo G de ANSI/AISC 360-05 (LRFD).
Se debe satisfacer el siguiente criterio:

$$\eta_v = \frac{V_r}{V_c} \leq 1$$

η_v : ***0.001*** ✓

El esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_r se produce para la combinación de hipótesis 1.4·PP+1.4·CM.
Donde:

V_r: Resistencia a cortante requerida para las combinaciones de carga LRFD — **V_r** : *0.026* t

V_c: Resistencia de diseño a cortante

$$V_c = \varphi_v V_n$$

V_c : *32.906* t

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:

para secciones con simetría simple y doble cargadas en el eje débil, la resistencia nominal a cortante se calcula de la siguiente forma (ANSI/AISC 360-05 (LRFD), Capítulo G - G-7).

$$V_n = 0.6 F_y A_w C_v$$

V_n : *36.563* t

Donde:

F_y: Límite elástico mínimo especificado — **F_y** : *2548.42* kp/cm²

$$A_w = 2 b_f t_f$$

A_w : *23.91* cm²

Donde:

b_f: Anchura total del ala — **b_f** : *98.00* mm

t_f: Espesor del ala — **t_f** : *12.20* 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) $\frac{b}{t_f} \leq 1.10\sqrt{k_v \frac{E}{F_y}}$

$$C_v = 1.0$$

C_v : *1.00*

Donde:

b: La mitad del ancho total del ala — **b** : *49.00* mm

t_f: Espesor del ala — **t_f** : *12.20* mm

E: Módulo de elasticidad del acero — **E** : *2038735.98* kp/cm²

K_v: Coeficiente de abolladura del alma — **K_v** : *1.20*

Resistencia a corte Y (Capítulo G)

Todas las secciones deben cumplir con las especificaciones LRFD desarrolladas en Capítulo G de ANSI/AISC 360-05 (LRFD).
Se debe satisfacer el siguiente criterio:

$$\eta_v = \frac{V_r}{V_c} \leq 1$$

η_v : ***0.030*** ✓

El esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_r se produce en un punto situado a una distancia de 0.068 m del nudo N47, para la combinación de hipótesis 1.4·PP+1.4·CM.
Donde:

V_r: Resistencia a cortante requerida para las combinaciones de carga LRFD — **V_r** : *0.822* t

V_c: Resistencia de diseño a cortante

$$V_c = \varphi_v V_n$$

V_c : *27.248* t

La resistencia de diseño a cortante viene dada por:

Donde:

En la Sección G2.1 a:

φ_v: Factor de resistencia a cortante — **φ_v** : *1.00*

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

para almas de secciones con simetría simple o doble y en U sometidas a cortante en el plano del alma (ANSI/AISC 360-05 (LRFD), Capítulo G - G2).

$$V_n = 0.6 F_y A_w C_v$$

V_n : *27.248* t

Donde:

F_y: Límite elástico mínimo especificado — **F_y** : *2548.42* kp/cm²

$$A_w = d t_w$$

A_w : *17.82* cm²

Donde:

d: Canto total — **d** : *220.00* mm

t_w: Espesor del alma — **t_w** : *8.10* mm

1. Resistencia nominal a cortante

a) para almas de perfiles laminados de sección en doble T cuando se cumple:

$$\frac{h}{t_w} \leq 2.24\sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

C_v: Coeficiente de cortante del alma — **C_v** : *1.00*

Donde:

h: Distancia libre entre alas, menos el radio de acuerdo	**h** :	*195.60*	mm
E: Módulo de elasticidad del acero	**E** :	*2038735.98*	kp/cm²

2. Comprobación de rigidizadores transversales

(a) si $\frac{h}{t_w} \leq 2.46\sqrt{\frac{E}{F_y}}$

No son necesarios rigidizadores transversales.

Donde:

h: Distancia libre entre alas, menos el radio de acuerdo	**h** :	*195.60*	mm
t_w: Espesor del alma	**t_w** :	*8.10*	mm
E: Módulo de elasticidad del acero	**E** :	*2038735.98*	kp/cm²
F_y: Límite elástico mínimo especificado	**F_y** :	*2548.42*	kp/cm²

Esfuerzos combinados y torsión (Capítulo H)

Se debe cumplir el siguiente criterio:

$\eta \leq 1$ η : ***0.269*** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.068 m del nudo N47, para la combinación de acciones 1.4·PP+1.4·CM.
Donde:

Según el capítulo H3.3, las secciones abiertas sometidas a torsión junto con tensiones combinadas, han de satisfacer la siguiente condición:

$\eta = \frac{T_r}{T_c} \leq 1$ η : ***0.004*** ✓

Ya que la norma no proporciona una comprobación general para secciones abiertas sometidas a torsión combinada con otros esfuerzos, se considera que este elemento debe cumplir, además, los siguientes criterios para la tensión de Von Mises:

$\eta = \left|\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}}\right| \leq 1$ η : ***0.269*** ✓

$\eta = \left|\frac{f_{Vx}}{F_{Vx}} + \frac{f_{Vy}}{F_{Vy}} + \frac{f_T}{F_T}\right| \leq 1$ η : ***0.004*** ✓

$\left[f_a + f_{bx} + f_{by}\right]^2 + \left[f_{Vx} + f_{Vy} + f_T\right]^2 \leq 1$

η : **0.073** ✓

3. Resistencia de secciones no tubulares sometidas a torsión y tensiones combinadas

T_r: Resistencia a torsión requerida — T_r : 0.001 t·m

$T_c = \phi_T T_n$ — T_c : 0.191 t·m

Donde:

φ_T: Factor de resistencia para torsión — φ_T : 0.90

T_n: Resistencia nominal a torsión, definida como:

$T_n = F_n C$ — T_n : 0.213 t·m

Donde:

C: Módulo resistente a torsión — **C** : 13.91 cm³

b) El estado límite de fluencia bajo tensiones tangenciales por cortante

$F_n = 0.6F_y$ — F_n : 1529.05 kp/cm²

Donde:

F_y: Límite elástico mínimo especificado del acero de las barras — F_y : 2548.42 kp/cm²

Comprobación de Von Mises (comprobación adicional)

f_a: Tensión normal debida al esfuerzo axil (tracción o compresión) calculada para la sección bruta.

$f_a = \frac{P_r}{A}$ — f_a : 1.94 kp/cm²

Donde:

P_r: Resistencia requerida a compresión (para las combinaciones de carga LRFD). — P_r : 0.077 t

A: Área total de la sección transversal de la barra. — **A** : 39.50 cm²

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

$f_{bx} = \frac{-y}{I_x} M_{rx}$ — f_{bx} : 538.52 kp/cm²

Donde:

M_{rx}: Resistencia requerida a flexión alrededor del eje x (para las combinaciones de carga LRFD). — M_{rx} : 1.498 t·m

I_x: Momento de inercia respecto al eje X — I_x : 3060.00 cm4

y: Coordenada y del punto pésimo respecto al centro de gravedad. — **y** : -110.00 mm

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

$f_{by} = \frac{-x}{I_y} M_{ry}$ — f_{by} : 77.40 kp/cm²

Donde:

M_{ry}: Resistencia requerida a flexión alrededor del eje y (para las combinaciones de carga LRFD). — M_{ry} : 0.026 t·m

I_y: Momento de inercia respecto al eje Y — I_y : 162.00 cm4

x: Coordenada x del punto pésimo respecto al centro de gravedad. — **x** : -49.00 mm

f_{Vx}: Tensión tangencial debida a cortante en la dirección x.

$$f_{Vx} = -\frac{V_x Q_y}{I_y b}$$

f_{Vx} :	*0.00*	kp/cm²

Donde:

V_x: Resistencia requerida a cortante en la dirección x (para las combinaciones de carga LRFD).	V_x :	*0.026*	t
Q_y: Momento estático respecto del eje y de la sección parcial de área correspondiente al punto pésimo.	Q_y :	*0.00*	cm³
I_y: Momento de inercia respecto al eje Y	I_y :	*162.00*	cm4
b: Espesor del elemento en el punto pésimo.	b :	*12.20*	mm

f_{Vy}: Tensión tangencial debida a cortante en la dirección y.

$$f_{Vy} = -\frac{V_y Q_x}{I_x b}$$

f_{Vy} :	*0.00*	kp/cm²

Donde:

V_y: Resistencia requerida a cortante en la dirección y (para las combinaciones de carga LRFD).	V_y :	*0.822*	t
Q_x: Momento estático respecto del eje x de la sección parcial de área correspondiente al punto pésimo.	Q_x :	*0.00*	cm³
I_x: Momento de inercia respecto al eje X	I_x :	*3060.00*	cm4
b: Espesor del elemento en el punto pésimo.	b :	*12.20*	mm

f_T: Tensión tangencial debida a torsión.

$$f_T = \pm\frac{b}{J} T_r$$

f_T :	*-5.35*	kp/cm²

Donde:

T_r: Resistencia requerida a torsión (para las combinaciones de carga LRFD).	T_r :	*0.001*	t·m
J: Momento de inercia a torsión uniforme	J :	*16.97*	cm4
b: Espesor del elemento en el punto pésimo.	b :	*12.20*	mm

F_a: Resistencia a tracción de la sección.

$$F_a = \phi_t F_y$$

F_a :	*2293.58*	kp/cm²

Donde:

φ_t: Factor de seguridad para tracción.	φ_t :	*0.90*	
F_y: Límite elástico mínimo especificado del acero de las barras	F_y :	*2548.42*	kp/cm²

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

$$F_{bx} = F_{by} = \phi_b F_y$$

F_{bx} :	*2293.58*	kp/cm²
F_{by} :	*2293.58*	kp/cm²

Donde:

φ_b: Factor de resistencia para flexión.	φ_b :	*0.90*	
F_y: Límite elástico mínimo especificado del acero de las barras	F_y :	*2548.42*	kp/cm²

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

$$F_{Vx} = F_{Vy} = \phi_v F_y / \sqrt{3}$$

F_{Vx} :	*1324.20*	kp/cm²

F_{Vy} : 1324.20 kp/cm²

Donde:

φ_V: Factor de resistencia para cortante. φ_V : 0.90

F_y: Límite elástico mínimo especificado del acero de las barras F_y : 2548.42 kp/cm²

F_T: Resistencia a torsión de la sección.

$F_T = \phi_T F_y / \sqrt{3}$ F_T : 1324.20 kp/cm²

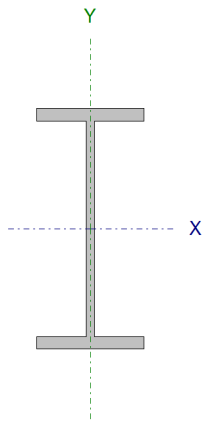
Donde:

φ_T: Factor de resistencia para torsión φ_T : 0.90

F_y: Límite elástico mínimo especificado del acero de las barras F_y : 2548.42 kp/cm²

Barra N57/N60

Perfil: IPN 220Material: Acero (A36)



Nudos		Longitud	Características mecánicas			
Inicial	Final	(m)	Área	I_x(1)	I_y(1)	I_t(2)
N57	N60	2.020	39.50	3060.00	162.00	16.97

Notas:

(1) Inercia respecto al eje indicado

	Pandeo		Pandeo lateral	
	Plano ZX	Plano ZY	Ala sup.	Ala inf.
β	1.00	1.00	0.00	0.00
L_K	2.020	2.020	0.000	0.000
C_b	-		1.000	

Notación:

β: Coeficiente de pandeo

Resistencia a tracción (Capítulo D)

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

Limitación de esbeltez para compresión (Capítulo E)

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

$\lambda \leq 200$

λ: ***100*** ✓

Donde:

λ: Coeficiente de esbeltez

λ : 100

Donde:

L: Longitud de la barra — **L** : 1952 mm

K: Factor de longitud efectiva. — **K** : 1.03

r_y: Radio de giro respecto al eje Y — r_y : 2.03 cm

Donde:

$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}}$$

r_y : 2.03 cm

Donde:

I_y: Momento de inercia respecto al eje Y — I_y : 162.00 cm4

A: Área total de la sección transversal de la barra. — **A** : 39.50 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 360-05 (LRFD).
Se debe satisfacer el siguiente criterio:

$$\eta_T = \frac{P_r}{P_c} \leq 1$$

η_T < **0.001** ✓

El axil de compresión solicitante de cálculo pésimo P_r se produce para la combinación de hipótesis 1.4·PP+1.4·CM.

Donde:

P_r: Resistencia a compresión requerida para las combinaciones de carga LRFD — P_r : 0.007 t

P_c: Resistencia de diseño a compresión — P_c : 53.470 t

$$P_c = \varphi_p P_n$$

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-A: — P_n : 59.411 t

$$P_n = F_{cr} A$$

para el pandeo por flexión de secciones con elementos compactos y no compactos (ANSI/AISC 360-05 (LRFD), Capítulo E - E3-A).

Donde:

A: Área bruta de la sección de la barra. | **A** : | *39.50* | cm²

F_{cr}: Tensión de pandeo por flexión, tomada como: | **F_{cr}** : | *1504.07* | kp/cm²

i) Cuando: $F_e \geq 0.44F_y$

$$F_{cr} = \left[0.658^{\frac{F_y}{F_e}}\right]F_y$$

Donde:

F_y: Límite elástico mínimo especificado del acero de las barras | **F_y** : | *2548.42* | kp/cm²

F_e: Tensión crítica elástica de pandeo, tomada como la menor de: | **F_e** : | *2022.85* | kp/cm²

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2}$$

F_{ex} :	*38209.44*	kp/cm²
F_{ey} :	*2022.85*	kp/cm²

Donde:

E: Módulo de elasticidad del acero | **E** : | *2038735.98* | kp/cm²

K: Factor de longitud efectiva. | **K_x** : | *1.03*

K_y :	*1.03*	
L: Longitud de la barra	**L** :	*1952*	mm
r: Radio de giro dominante	**r_x** :	*8.80*	cm
	r_y :	*2.03*	cm

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

Donde:

I: Momento de inercia | **I_x** : | *3060.00* | cm4

I_y :	*162.00*	cm4
A: Área total de la sección transversal de la barra.	**A** :	*39.50*	cm²

Resistencia a flexión eje X (Capítulo F)

Todas las secciones deben cumplir con las especificaciones LRFD desarrolladas en Capítulo F de ANSI/AISC 360-05 (LRFD).
Se debe satisfacer el siguiente criterio:

$$\eta_M = \frac{M_r}{M_c} \leq 1$$

η_M : ***0.205*** ✓

El momento flector solicitante de cálculo pésimo, M_r, se produce en un punto situado a una distancia de 0.068 m del nudo N57, para la combinacíon de acciones 1.4·PP+1.4·CM.

Donde:

M_r: Resistencia a flexión requerida para las combinaciones de carga LRFD	**M_r** :	*1.510*	t·m
M_c: Resistencia de diseño a flexión	**M_c** :	*7.354*	t·m

$$M_c = \varphi_b M_n$$

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 2, Sección 1	**M_n** :	*8.171*	t·m

1. Fluencia

$$M_n = M_p = F_y Z_x$$

M_n : *8.171* t·m

Donde:

F_y: Límite elástico mínimo especificado	**F_y** :	*2548.42*	kp/cm²
Z_x: Módulo resistente plástico respecto al eje X	**Z_x** :	*320.63*	cm³

2. Pandeo lateral

a) Si $L_b \leq L_p$:, el estado límite de pandeo lateral no es de aplicación

Donde:

L_b: Distancia entre puntos de arriostramiento al desplazamiento lateral del ala comprimida o de la torsión de la sección transversal	**L_b** :	*0*	mm

$$L_p = 1.76 r_y \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

L_p : *1008.13* mm

Donde:

E: Módulo de elasticidad del acero	**E** :	*2038735.98*	kp/cm²
F_y: Límite elástico mínimo especificado	**F_y** :	*2548.42*	kp/cm²

$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}}$$

r_y : *2.03* cm

Donde:

I_y: Momento de inercia respecto al eje Y	**I_y** :	*162.00*	cm4
A: Área total de la sección transversal de la barra.	**A** :	*39.50*	cm²

Resistencia a flexión eje Y (Capítulo F)

Todas las secciones deben cumplir con las especificaciones LRFD desarrolladas en Capítulo F de ANSI/AISC 360-05 (LRFD).

Se debe satisfacer el siguiente criterio:

$$n_{..} = \frac{M_r}{\ldots} < 1$$

η_M : **0.011** ✓

El momento flector solicitante de cálculo pésimo, M_r, se produce en un punto situado a una distancia de 0.068 m del nudo N57, para la combinacíon de acciones 1.4·PP+1.4·CM.
Donde:

M_r: Resistencia a flexión requerida para las combinaciones de carga LRFD — **M_r** : *0.013* t·m

M_c: Resistencia de diseño a flexión — **M_c** : *1.213* t·m

$$M_c = \varphi_b M_n$$

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 6, Sección 1 — **M_n** : *1.348* t·m

1. Fluencia

$$M_n = M_p = F_y Z_y \leq 1.6 F_y S_y$$

M_n : *1.348* t·m

Donde:

F_y: Límite elástico mínimo especificado — **F_y** : *2548.42* kp/cm²

Z_y: Módulo resistente plástico respecto al eje Y — **Z_y** : *56.20* cm³

S_y: Módulo resistente elástico respecto al eje Y

$$S_y = \frac{I_y}{x}$$

S_y : *33.06* cm³

Donde:

I_y: Momento de inercia respecto al eje Y — **I_y** : *162.00* cm4

x: Distancia a la fibra extrema en flexión desde el baricentro — **x** : *49.00* mm

2. Pandeo local del ala

a) Para secciones con alas compactas el estado límite de fluencia es de aplicación

Resistencia a corte X (Capítulo G)

Todas las secciones deben cumplir con las especificaciones LRFD desarrolladas en Capítulo G de ANSI/AISC 360-05 (LRFD).
Se debe satisfacer el siguiente criterio:

$$\eta_v = \frac{V_r}{V_c} \leq 1$$

η_V < **0.001** ✓

El esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_r se produce para la combinación de hipótesis 1.4·PP+1.4·CM.

Donde:

V_r: Resistencia a cortante requerida para las combinaciones de carga LRFD — **V_r** : *0.013* t

V_c: Resistencia de diseño a cortante

$V_c = \varphi_v V_n$ — **V_c** : *32.906* t

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:

para secciones con simetría simple y doble cargadas en el eje débil, la resistencia nominal a cortante se calcula de la siguiente forma (ANSI/AISC 360-05 (LRFD), Capítulo G - G-7).

$V_n = 0.6 F_y A_w C_v$ — **V_n** : *36.563* t

Donde:

F_y: Límite elástico mínimo especificado — **F_y** : *2548.42* kp/cm²

$A_w = 2 b_f t_f$ — **A_w** : *23.91* cm²

Donde:

b_f: Anchura total del ala — **b_f** : *98.00* mm

t_f: Espesor del ala — **t_f** : *12.20* 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) $\frac{b}{t_f} \leq 1.10 \sqrt{k_v \frac{E}{F_y}}$

$C_v = 1.0$ — **C_v** : *1.00*

Donde:

b: La mitad del ancho total del ala — **b** : *49.00* mm

t_f: Espesor del ala — **t_f** : *12.20* mm

E: Módulo de elasticidad del acero — **E** : *2038735.98* kp/cm²

K_v: Coeficiente de abolladura del alma — **K_v** : *1.20*

Resistencia a corte Y (Capítulo G)

Todas las secciones deben cumplir con las especificaciones LRFD desarrolladas en Capítulo G de ANSI/AISC 360-05 (LRFD).
Se debe satisfacer el siguiente criterio:

$n = \frac{V_r}{\ } \leq 1$

η_V : **0.037** ✓

El esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_r se produce en un punto situado a una distancia de 0.068 m del nudo N57, para la combinación de hipótesis 1.4·PP+1.4·CM.

Donde:

V_r: Resistencia a cortante requerida para las combinaciones de carga LRFD — V_r : *1.012* t

V_c: Resistencia de diseño a cortante

$V_c = \varphi_V V_n$ — V_c : *27.248* t

La resistencia de diseño a cortante viene dada por:

Donde:

En la Sección G2.1 a:

φ_v: Factor de resistencia a cortante — φ_v : *1.00*

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

para almas de secciones con simetría simple o doble y en U sometidas a cortante en el plano del alma (ANSI/AISC 360-05 (LRFD), Capítulo G - G2).

$V_n = 0.6F_yA_wC_v$ — V_n : *27.248* t

Donde:

F_y: Límite elástico mínimo especificado — F_y : *2548.42* kp/cm²

$A_w = dt_w$ — A_w : *17.82* cm²

Donde:

d: Canto total — **d** : *220.00* mm

t_w: Espesor del alma — t_w : *8.10* mm

1. Resistencia nominal a cortante

a) para almas de perfiles laminados de sección en doble T cuando se cumple:

$$\frac{h}{t_w} \le 2.24\sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

C_v: Coeficiente de cortante del alma — C_v : *1.00*

Donde:

h: Distancia libre entre alas, menos el radio de acuerdo — **h** : *195.60* mm

E: Módulo de elasticidad del acero — **E** : *2038735.98* kp/cm²

2. Comprobación de rigidizadores transversales

(a) si $\frac{h}{t_w} \le 2.46\sqrt{\frac{E}{F_y}}$

No son necesarios rigidizadores transversales.

Donde:

h: Distancia libre entre alas, menos el radio de acuerdo — **h** : *195.60* mm

t_w: Espesor del alma — t_w : *8.10* mm

E: Módulo de elasticidad del acero — **E** : *2038735.98* kp/cm²

F_y: Límite elástico mínimo especificado F_y : 2548.42 kp/cm²

Esfuerzos combinados y torsión (Capítulo H)

Se debe cumplir el siguiente criterio:

$$\eta \leq 1$$

η : **0.254** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.068 m del nudo N57, para la combinación de acciones 1.4·PP+1.4·CM.
Donde:

Según el capítulo H3.3, las secciones abiertas sometidas a torsión junto con tensiones combinadas, han de satisfacer la siguiente condición:

$$\eta = \frac{T_r}{T_c} \leq 1$$

η : **0.004** ✓

Ya que la norma no proporciona una comprobación general para secciones abiertas sometidas a torsión combinada con otros esfuerzos, se considera que este elemento debe cumplir, además, los siguientes criterios para la tensión de Von Mises:

$$\eta = \left| \frac{f_a}{F_a} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \right| \leq 1$$

η : **0.254** ✓

$$\eta = \left| \frac{f_{Vx}}{F_{Vx}} + \frac{f_{Vy}}{F_{Vy}} + \frac{f_T}{F_T} \right| \leq 1$$

η : **0.005** ✓

$$\eta = \left[\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \right]^2 + \left[\frac{f_{Vx}}{F_{Vx}} + \frac{f_{Vy}}{F_{Vy}} + \frac{f_T}{F_T} \right]^2 \leq 1$$

η : **0.065** ✓

3. Resistencia de secciones no tubulares sometidas a torsión y tensiones combinadas

T_r: Resistencia a torsión requerida T_r : 0.001 t·m

$T_c = \phi_T T_n$ T_c : 0.191 t·m

Donde:

φ_T: Factor de resistencia para torsión φ_T : 0.90

T_n: Resistencia nominal a torsión, definida como:

$T_n = F_n C$ T_n : 0.213 t·m

Donde:

C: Módulo resistente a torsión — **C** : *13.91* cm³

b) El estado límite de fluencia bajo tensiones tangenciales por cortante

$F_n = 0.6F_y$ — F_n : *1529.05* kp/cm²

Donde:

F_y: Límite elástico mínimo especificado del acero de las barras — F_y : *2548.42* kp/cm²

Comprobación de Von Mises (comprobación adicional)

f_a: Tensión normal debida al esfuerzo axil (tracción o compresión) calculada para la sección bruta.

$f_a = \frac{P_r}{A}$ — f_a : *0.19* kp/cm²

Donde:

P_r: Resistencia requerida a compresión (para las combinaciones de carga LRFD). — P_r : *0.007* t

A: Área total de la sección transversal de la barra. — **A** : *39.50* cm²

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

$f_{bx} = \frac{-y}{I_x} M_{rx}$ — f_{bx} : *542.71* kp/cm²

Donde:

M_{rx}: Resistencia requerida a flexión alrededor del eje x (para las combinaciones de carga LRFD). — M_{rx} : *1.510* t·m

I_x: Momento de inercia respecto al eje X — I_x : *3060.00* cm4

y: Coordenada y del punto pésimo respecto al centro de gravedad. — **y** : *-110.00* mm

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

$f_{by} = \frac{-x}{I_y} M_{ry}$ — f_{by} : *39.49* kp/cm²

Donde:

M_{ry}: Resistencia requerida a flexión alrededor del eje y (para las combinaciones de carga LRFD). — M_{ry} : *0.013* t·m

I_y: Momento de inercia respecto al eje Y — I_y : *162.00* cm4

x: Coordenada x del punto pésimo respecto al centro de gravedad. — **x** : *-49.00* mm

f_{Vx}: Tensión tangencial debida a cortante en la dirección x.

$f_{Vx} = -\frac{V_x Q_y}{I_y b}$ — f_{Vx} : *0.00* kp/cm²

Donde:

V_x: Resistencia requerida a cortante en la dirección x (para las combinaciones de carga LRFD). — V_x : *0.013* t

Q_y: Momento estático respecto del eje y de la sección parcial de área correspondiente al punto pésimo. — Q_y : *0.00* cm³

I_y: Momento de inercia respecto al eje Y — I_y : *162.00* cm4

b: Espesor del elemento en el punto pésimo. — **b** : *12.20* mm

f_{Vy}: Tensión tangencial debida a cortante en la dirección y.

$$f_{Vy} = -\frac{V_y Q_x}{I_x b}$$

f_{Vy} : 0.00 kp/cm²

Donde:

V_y: Resistencia requerida a cortante en la dirección y (para las combinaciones de carga LRFD). — V_y : 1.012 t

Q_x: Momento estático respecto del eje x de la sección parcial de área correspondiente al punto pésimo. — Q_x : 0.00 cm³

I_x: Momento de inercia respecto al eje X — I_x : 3060.00 cm4

b: Espesor del elemento en el punto pésimo. — b : 12.20 mm

f_T: Tensión tangencial debida a torsión.

$$f_T = \pm\frac{b}{J}T_r$$

f_T : -6.75 kp/cm²

Donde:

T_r: Resistencia requerida a torsión (para las combinaciones de carga LRFD). — T_r : 0.001 t·m

J: Momento de inercia a torsión uniforme — J : 16.97 cm4

b: Espesor del elemento en el punto pésimo. — b : 12.20 mm

F_a: Resistencia a compresión de la sección.

$$F_a = \phi_c F_{cr}$$

F_a : 1353.67 kp/cm²

Donde:

φ_c: Factor de seguridad para compresión. — φ_c : 0.90

F_{cr}: Resistencia crítica de pandeo (calculada según el Capítulo E). — F_{cr} : 1504.07 kp/cm²

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

$$F_{bx} = F_{by} = \phi_b F_y$$

F_{bx} : 2293.58 kp/cm²

F_{by} : 2293.58 kp/cm²

Donde:

φ_b: Factor de resistencia para flexión. — φ_b : 0.90

F_y: Límite elástico mínimo especificado del acero de las barras — F_y : 2548.42 kp/cm²

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

$$F_{Vx} = F_{Vy} = \phi_v F_y / \sqrt{3}$$

F_{Vx} : 1324.20 kp/cm²

F_{Vy} : 1324.20 kp/cm²

Donde:

φ_V: Factor de resistencia para cortante. — φ_V : 0.90

F_y: Límite elástico mínimo especificado del acero de las barras — F_y : 2548.42 kp/cm²

F_T: Resistencia a torsión de la sección.

$$F_T = \phi_T F_y / \sqrt{3}$$

F_T : 1324.20 kp/cm²

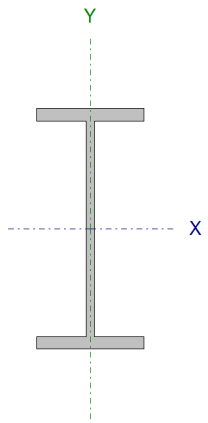
Donde:

φ_T: Factor de resistencia para torsión — φ_T : 0.90

F_y: Límite elástico mínimo especificado del acero de las barras — F_y : 2548.42 kp/cm²

Barra N48/N53

Perfil: IPN 220Material: Acero (A36)



Nudos		Longitud	Características mecánicas			
Inicial	Final	(m)	Área	I_x(1)	I_y(1)	I_t(2)
N48	N53	2.020	39.50	3060.00	162.00	16.97

Notas:

(1) Inercia respecto al eje indicado

	Pandeo		Pandeo lateral	
	Plano ZX	Plano ZY	Ala sup.	Ala inf.
β	1.00	1.00	0.00	0.00
L_K	2.020	2.020	0.000	0.000
C_b	-		1.000	

Notación:

β: Coeficiente de pandeo

Resistencia a tracción (Capítulo D)

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

Limitación de esbeltez para compresión (Capítulo E)

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

$\lambda \leq 200$

λ: ***100*** ✓

Donde:

λ: Coeficiente de esbeltez

λ : 100

Donde:

L: Longitud de la barra — **L** : 1952 mm

K: Factor de longitud efectiva. — **K** : 1.03

r_y: Radio de giro respecto al eje Y — **r_y** : 2.03 cm

Donde:

$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}}$$

r_y : 2.03 cm

Donde:

I_y: Momento de inercia respecto al eje Y — **I_y** : 162.00 cm4

A: Área total de la sección transversal de la barra. — **A** : 39.50 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 360-05 (LRFD).
Se debe satisfacer el siguiente criterio:

$$\eta_T = \frac{P_r}{P_c} \leq 1$$

η_T : **0.001** ✓

El axil de compresión solicitante de cálculo pésimo P_r se produce para la combinación de hipótesis 1.4·PP+1.4·CM.

Donde:

P_r: Resistencia a compresión requerida para las combinaciones de carga LRFD — **P_r** : 0.079 t

P_c: Resistencia de diseño a compresión — **P_c** : 53.470 t

$$P_c = \varphi_p P_n$$

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-A: — **P_n** : 59.411 t

$$P_n = F_{cr} A$$

para el pandeo por flexión de secciones con elementos compactos y no compactos (ANSI/AISC 360-05 (LRFD), Capítulo E - E3-A).

Donde:

A: Área bruta de la sección de la barra. | **A** : | *39.50* | cm²

F_{cr}: Tensión de pandeo por flexión, tomada como: | **F_{cr}** : | *1504.07* | kp/cm²

i) Cuando: $F_e \geq 0.44F_y$

$$F_{cr} = \left[0.658^{\frac{F_y}{F_e}}\right]F_y$$

Donde:

F_y: Límite elástico mínimo especificado del acero de las barras | **F_y** : | *2548.42* | kp/cm²

F_e: Tensión crítica elástica de pandeo, tomada como la menor de: | **F_e** : | *2022.85* | kp/cm²

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2}$$

F_{ex} :	*38209.44*	kp/cm²
F_{ey} :	*2022.85*	kp/cm²

Donde:

E: Módulo de elasticidad del acero | **E** : | *2038735.98* | kp/cm²

K: Factor de longitud efectiva. | **K_x** : | *1.03*

K_y : | *1.03*

L: Longitud de la barra | **L** : | *1952* | mm

r: Radio de giro dominante | **r_x** : | *8.80* | cm

r_y : | *2.03* | cm

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

Donde:

I: Momento de inercia | **I_x** : | *3060.00* | cm4

I_y : | *162.00* | cm4

A: Área total de la sección transversal de la barra. | **A** : | *39.50* | cm²

Resistencia a flexión eje X (Capítulo F)

Todas las secciones deben cumplir con las especificaciones LRFD desarrolladas en Capítulo F de ANSI/AISC 360-05 (LRFD).
Se debe satisfacer el siguiente criterio:

$$\eta_M = \frac{M_r}{M_c} \leq 1$$

η_M : ***0.185*** ✓

El momento flector solicitante de cálculo pésimo, M_r, se produce en un punto situado a una distancia de 0.068 m del nudo N48, para la combinacíon de acciones 1.4·PP+1.4·CM.

Donde:

M_r: Resistencia a flexión requerida para las combinaciones de carga LRFD	**M_r** :	*1.361*	t·m
M_c: Resistencia de diseño a flexión	**M_c** :	*7.354*	t·m

$$M_c = \varphi_b M_n$$

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 2, Sección 1	**M_n** :	*8.171*	t·m

1. Fluencia

$$M_n = M_p = F_y Z_x$$

M_n : *8.171* t·m

Donde:

F_y: Límite elástico mínimo especificado	**F_y** :	*2548.42*	kp/cm²
Z_x: Módulo resistente plástico respecto al eje X	**Z_x** :	*320.63*	cm³

2. Pandeo lateral

a) Si $L_b \leq L_p$:, el estado límite de pandeo lateral no es de aplicación

Donde:

L_b: Distancia entre puntos de arriostramiento al desplazamiento lateral del ala comprimida o de la torsión de la sección transversal	**L_b** :	*0*	mm

$$L_p = 1.76 r_y \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

L_p : *1008.13* mm

Donde:

E: Módulo de elasticidad del acero	**E** :	*2038735.98*	kp/cm²
F_y: Límite elástico mínimo especificado	**F_y** :	*2548.42*	kp/cm²

$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}}$$

r_y : *2.03* cm

Donde:

I_y: Momento de inercia respecto al eje Y	**I_y** :	*162.00*	cm4
A: Área total de la sección transversal de la barra.	**A** :	*39.50*	cm²

Resistencia a flexión eje Y (Capítulo F)

Todas las secciones deben cumplir con las especificaciones LRFD desarrolladas en Capítulo F de ANSI/AISC 360-05 (LRFD).

Se debe satisfacer el siguiente criterio:

$$n_{..} = \frac{M_r}{\ldots} < 1$$

η_M : **0.022** ✓

El momento flector solicitante de cálculo pésimo, M_r, se produce en el nudo N53, para la combinacíon de acciones 1.4·PP+1.4·CM.

Donde:

M_r: Resistencia a flexión requerida para las combinaciones de carga LRFD — **M_r** : *0.027* t·m

M_c: Resistencia de diseño a flexión — **M_c** : *1.213* t·m

$$M_c = \varphi_b M_n$$

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 6, Sección 1 — **M_n** : *1.348* t·m

1. Fluencia

$$M_n = M_p = F_y Z_y \leq 1.6 F_y S_y$$

M_n : *1.348* t·m

Donde:

F_y: Límite elástico mínimo especificado — **F_y** : *2548.42* kp/cm²

Z_y: Módulo resistente plástico respecto al eje Y — **Z_y** : *56.20* cm³

S_y: Módulo resistente elástico respecto al eje Y

$$S_y = \frac{I_y}{x}$$

S_y : *33.06* cm³

Donde:

I_y: Momento de inercia respecto al eje Y — **I_y** : *162.00* cm4

x: Distancia a la fibra extrema en flexión desde el baricentro — **x** : *49.00* mm

2. Pandeo local del ala

a) Para secciones con alas compactas el estado límite de fluencia es de aplicación

Resistencia a corte X (Capítulo G)

Todas las secciones deben cumplir con las especificaciones LRFD desarrolladas en Capítulo G de ANSI/AISC 360-05 (LRFD).

Se debe satisfacer el siguiente criterio:

$$\eta_v = \frac{V_r}{V_c} \leq 1$$

η_V : **0.001** ✓

El esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_r se produce para la combinación de hipótesis 1.4·PP+1.4·CM.

Donde:

V_r: Resistencia a cortante requerida para las combinaciones de carga LRFD — **V_r** : *0.026* t

V_c: Resistencia de diseño a cortante

$V_c = \varphi_v V_n$ — **V_c** : *32.906* t

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:

para secciones con simetría simple y doble cargadas en el eje débil, la resistencia nominal a cortante se calcula de la siguiente forma (ANSI/AISC 360-05 (LRFD), Capítulo G - G-7).

$V_n = 0.6 F_y A_w C_v$ — **V_n** : *36.563* t

Donde:

F_y: Límite elástico mínimo especificado — **F_y** : *2548.42* kp/cm²

$A_w = 2 b_f t_f$ — **A_w** : *23.91* cm²

Donde:

b_f: Anchura total del ala — **b_f** : *98.00* mm

t_f: Espesor del ala — **t_f** : *12.20* 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) $\frac{b}{t_f} \leq 1.10 \sqrt{k_v \frac{E}{F_y}}$

$C_v = 1.0$ — **C_v** : *1.00*

Donde:

b: La mitad del ancho total del ala — **b** : *49.00* mm

t_f: Espesor del ala — **t_f** : *12.20* mm

E: Módulo de elasticidad del acero — **E** : *2038735.98* kp/cm²

K_v: Coeficiente de abolladura del alma — **K_v** : *1.20*

Resistencia a corte Y (Capítulo G)

Todas las secciones deben cumplir con las especificaciones LRFD desarrolladas en Capítulo G de ANSI/AISC 360-05 (LRFD).
Se debe satisfacer el siguiente criterio:

$n = \frac{V_r}{} \leq 1$

η_V : **0.023** ✓

El esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_r se produce en un punto situado a una distancia de 0.068 m del nudo N48, para la combinación de hipótesis 1.4·PP+1.4·CM.

Donde:

V_r: Resistencia a cortante requerida para las combinaciones de carga LRFD — V_r : *0.633* t

V_c: Resistencia de diseño a cortante

$V_c = \varphi_V V_n$ — V_c : *27.248* t

La resistencia de diseño a cortante viene dada por:

Donde:

En la Sección G2.1 a:

φ_v: Factor de resistencia a cortante — φ_v : *1.00*

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

para almas de secciones con simetría simple o doble y en U sometidas a cortante en el plano del alma (ANSI/AISC 360-05 (LRFD), Capítulo G - G2).

$V_n = 0.6F_yA_wC_v$ — V_n : *27.248* t

Donde:

F_y: Límite elástico mínimo especificado — F_y : *2548.42* kp/cm²

$A_w = dt_w$ — A_w : *17.82* cm²

Donde:

d: Canto total — **d** : *220.00* mm

t_w: Espesor del alma — t_w : *8.10* mm

1. Resistencia nominal a cortante

a) para almas de perfiles laminados de sección en doble T cuando se cumple:

$$\frac{h}{t_w} \le 2.24\sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

C_v: Coeficiente de cortante del alma — C_v : *1.00*

Donde:

h: Distancia libre entre alas, menos el radio de acuerdo — **h** : *195.60* mm

E: Módulo de elasticidad del acero — **E** : *2038735.98* kp/cm²

2. Comprobación de rigidizadores transversales

(a) si $\frac{h}{t_w} \le 2.46\sqrt{\frac{E}{F_y}}$

No son necesarios rigidizadores transversales.

Donde:

h: Distancia libre entre alas, menos el radio de acuerdo — **h** : *195.60* mm

t_w: Espesor del alma — t_w : *8.10* mm

E: Módulo de elasticidad del acero — **E** : *2038735.98* kp/cm²

F_y: Límite elástico mínimo especificado F_y : 2548.42 kp/cm²

Esfuerzos combinados y torsión (Capítulo H)

Se debe cumplir el siguiente criterio:

$$\eta \leq 1$$

η : **0.248** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.068 m del nudo N48, para la combinación de acciones 1.4·PP+1.4·CM.
Donde:

Según el capítulo H3.3, las secciones abiertas sometidas a torsión junto con tensiones combinadas, han de satisfacer la siguiente condición:

$$\eta = \frac{T_r}{T_c} \leq 1$$

η : **0.004** ✓

Ya que la norma no proporciona una comprobación general para secciones abiertas sometidas a torsión combinada con otros esfuerzos, se considera que este elemento debe cumplir, además, los siguientes criterios para la tensión de Von Mises:

$$\eta = \left| \frac{f_a}{F_a} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \right| \leq 1$$

η : **0.248** ✓

$$\eta = \left| \frac{f_{Vx}}{F_{Vx}} + \frac{f_{Vy}}{F_{Vy}} + \frac{f_T}{F_T} \right| \leq 1$$

η : **0.004** ✓

$$\eta = \left[\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \right]^2 + \left[\frac{f_{Vx}}{F_{Vx}} + \frac{f_{Vy}}{F_{Vy}} + \frac{f_T}{F_T} \right]^2 \leq 1$$

η : **0.061** ✓

3. Resistencia de secciones no tubulares sometidas a torsión y tensiones combinadas

T_r: Resistencia a torsión requerida T_r : 0.001 t·m

$T_c = \phi_T T_n$ T_c : 0.191 t·m

Donde:

φ_T: Factor de resistencia para torsión φ_T : 0.90

T_n: Resistencia nominal a torsión, definida como:

$T_n = F_n C$ T_n : 0.213 t·m

Donde:

C: Módulo resistente a torsión — **C** : *13.91* cm³

b) El estado límite de fluencia bajo tensiones tangenciales por cortante

$F_n = 0.6F_y$ — F_n : *1529.05* kp/cm²

Donde:

F_y: Límite elástico mínimo especificado del acero de las barras — F_y : *2548.42* kp/cm²

Comprobación de Von Mises (comprobación adicional)

f_a: Tensión normal debida al esfuerzo axil (tracción o compresión) calculada para la sección bruta.

$f_a = \frac{P_r}{A}$ — f_a : *1.99* kp/cm²

Donde:

P_r: Resistencia requerida a compresión (para las combinaciones de carga LRFD). — P_r : *0.079* t

A: Área total de la sección transversal de la barra. — **A** : *39.50* cm²

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

$f_{bx} = \frac{-y}{I_x} M_{rx}$ — f_{bx} : *489.36* kp/cm²

Donde:

M_{rx}: Resistencia requerida a flexión alrededor del eje x (para las combinaciones de carga LRFD). — M_{rx} : *1.361* t·m

I_x: Momento de inercia respecto al eje X — I_x : *3060.00* cm4

y: Coordenada y del punto pésimo respecto al centro de gravedad. — **y** : *-110.00* mm

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

$f_{by} = \frac{-x}{I_y} M_{ry}$ — f_{by} : *75.03* kp/cm²

Donde:

M_{ry}: Resistencia requerida a flexión alrededor del eje y (para las combinaciones de carga LRFD). — M_{ry} : *0.025* t·m

I_y: Momento de inercia respecto al eje Y — I_y : *162.00* cm4

x: Coordenada x del punto pésimo respecto al centro de gravedad. — **x** : *-49.00* mm

f_{Vx}: Tensión tangencial debida a cortante en la dirección x.

$f_{Vx} = -\frac{V_x Q_y}{I_y b}$ — f_{Vx} : *0.00* kp/cm²

Donde:

V_x: Resistencia requerida a cortante en la dirección x (para las combinaciones de carga LRFD). — V_x : *0.026* t

Q_y: Momento estático respecto del eje y de la sección parcial de área correspondiente al punto pésimo. — Q_y : *0.00* cm³

I_y: Momento de inercia respecto al eje Y — I_y : *162.00* cm4

b: Espesor del elemento en el punto pésimo. — **b** : *12.20* mm

f_{Vy}: Tensión tangencial debida a cortante en la dirección y.

$$f_{Vy} = -\frac{V_y Q_x}{I_x b}$$

f_{Vy} : 0.00 kp/cm²

Donde:

V_y: Resistencia requerida a cortante en la dirección y (para las combinaciones de carga LRFD). — V_y : 0.633 t

Q_x: Momento estático respecto del eje x de la sección parcial de área correspondiente al punto pésimo. — Q_x : 0.00 cm³

I_x: Momento de inercia respecto al eje X — I_x : 3060.00 cm4

b: Espesor del elemento en el punto pésimo. — b : 12.20 mm

f_T: Tensión tangencial debida a torsión.

$$f_T = \pm\frac{b}{J}T_r$$

f_T : -5.82 kp/cm²

Donde:

T_r: Resistencia requerida a torsión (para las combinaciones de carga LRFD). — T_r : 0.001 t·m

J: Momento de inercia a torsión uniforme — J : 16.97 cm4

b: Espesor del elemento en el punto pésimo. — b : 12.20 mm

F_a: Resistencia a compresión de la sección.

$$F_a = \phi_c F_{cr}$$

F_a : 1353.67 kp/cm²

Donde:

φ_c: Factor de seguridad para compresión. — φ_c : 0.90

F_{cr}: Resistencia crítica de pandeo (calculada según el Capítulo E). — F_{cr} : 1504.07 kp/cm²

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

$$F_{bx} = F_{by} = \phi_b F_y$$

F_{bx} : 2293.58 kp/cm²

F_{by} : 2293.58 kp/cm²

Donde:

φ_b: Factor de resistencia para flexión. — φ_b : 0.90

F_y: Límite elástico mínimo especificado del acero de las barras — F_y : 2548.42 kp/cm²

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

$$F_{Vx} = F_{Vy} = \phi_v F_y / \sqrt{3}$$

F_{Vx} : 1324.20 kp/cm²

F_{Vy} : 1324.20 kp/cm²

Donde:

φ_V: Factor de resistencia para cortante. — φ_V : 0.90

F_y: Límite elástico mínimo especificado del acero de las barras — F_y : 2548.42 kp/cm²

F_T: Resistencia a torsión de la sección.

$$F_T = \phi_T F_y / \sqrt{3}$$

F_T : 1324.20 kp/cm²

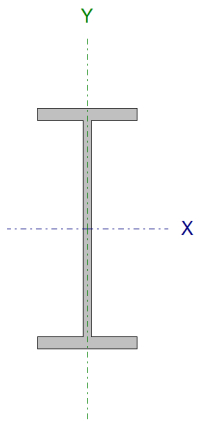
Donde:

φ_T: Factor de resistencia para torsión — φ_T : 0.90

F_y: Límite elástico mínimo especificado del acero de las barras — F_y : 2548.42 kp/cm²

Barra N28/N56

Perfil: IPN 300Material: Acero (A36)



Nudos		Longitud	Características mecánicas			
Inicial	Final	(m)	Área	I_x(1)	I_y(1)	I_t(2)
N28	N56	0.170	69.00	9800.00	451.00	51.87

Notas:

(1) Inercia respecto al eje indicado

	Pandeo		Pandeo lateral	
	Plano ZX	Plano ZY	Ala sup.	Ala inf.
β	1.00	1.00	0.00	0.00
L_K	0.170	0.170	0.000	0.000
C_b	-		1.000	

Notación:

β: Coeficiente de pandeo

Resistencia a tracción (Capítulo D)

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

Limitación de esbeltez para compresión (Capítulo E)

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

$\lambda \leq 200$

λ: **7** ✓

Donde:

λ: Coeficiente de esbeltez

λ : 7

Donde:

L: Longitud de la barra — **L** : 116 mm

K: Factor de longitud efectiva. — **K** : 1.47

r_y: Radio de giro respecto al eje Y — r_y : 2.56 cm

Donde:

$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}}$$

r_y : 2.56 cm

Donde:

I_y: Momento de inercia respecto al eje Y — I_y : 451.00 cm4

A: Área total de la sección transversal de la barra. — **A** : 69.00 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 360-05 (LRFD).
Se debe satisfacer el siguiente criterio:

$$\eta_T = \frac{P_r}{P_c} \leq 1$$

η_T < **0.001** ✓

El axil de compresión solicitante de cálculo pésimo P_r se produce para la combinación de hipótesis 1.4·PP+1.4·CM.

Donde:

P_r: Resistencia a compresión requerida para las combinaciones de carga LRFD — P_r : 0.040 t

P_c: Resistencia de diseño a compresión — P_c : 157.886 t

$$P_c = \varphi_p P_n$$

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-A: — P_n : 175.429 t

$$P_n = F_{cr} A$$

para el pandeo por flexión de secciones con elementos compactos y no compactos (ANSI/AISC 360-05 (LRFD), Capítulo E - E3-A).

Donde:

A: Área bruta de la sección de la barra. | **A** : 69.00 cm²

F_{cr}: Tensión de pandeo por flexión, tomada como: | **F_{cr}** : 2542.45 kp/cm²

i) Cuando: $F_e \geq 0.44F_y$

$$F_{cr} = \left[0.658^{\frac{F_y}{F_e}}\right]F_y$$

Donde:

F_y: Límite elástico mínimo especificado del acero de las barras | **F_y** : 2548.42 kp/cm²

F_e: Tensión crítica elástica de pandeo, tomada como la menor de: | **F_e** : 455082.72 kp/cm²

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2}$$

F_{ex} : 9888715.33 kp/cm²

F_{ey} : 455082.72 kp/cm²

Donde:

E: Módulo de elasticidad del acero | **E** : 2038735.98 kp/cm²

K: Factor de longitud efectiva. | **K_x** : 1.47

K_y : 1.47

L: Longitud de la barra | **L** : 116 mm

r: Radio de giro dominante | **r_x** : 11.92 cm

r_y : 2.56 cm

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

Donde:

I: Momento de inercia | **I_x** : 9800.00 cm4

I_y : 451.00 cm4

A: Área total de la sección transversal de la barra. | **A** : 69.00 cm²

Resistencia a flexión eje X (Capítulo F)

Todas las secciones deben cumplir con las especificaciones LRFD desarrolladas en Capítulo F de ANSI/AISC 360-05 (LRFD).
Se debe satisfacer el siguiente criterio:

$$\eta_M = \frac{M_r}{M_c} \leq 1$$

η_M : **0.204** ✓

El momento flector solicitante de cálculo pésimo, M_r, se produce en el nudo N28, para la combinacíon de acciones 1.4·PP+1.4·CM.

Donde:

M_r: Resistencia a flexión requerida para las combinaciones de carga LRFD	**M_r** :	*3.535*	t·m
M_c: Resistencia de diseño a flexión	**M_c** :	*17.336*	t·m

$$M_c = \varphi_b M_n$$

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 2, Sección 1	**M_n** :	*19.263*	t·m

1. Fluencia

$$M_n = M_p = F_y Z_x$$

M_n : *19.263* t·m

Donde:

F_y: Límite elástico mínimo especificado	**F_y** :	*2548.42*	kp/cm²
Z_x: Módulo resistente plástico respecto al eje X	**Z_x** :	*755.87*	cm³

2. Pandeo lateral

a) Si $L_b \leq L_p$:, el estado límite de pandeo lateral no es de aplicación

Donde:

L_b: Distancia entre puntos de arriostramiento al desplazamiento lateral del ala comprimida o de la torsión de la sección transversal	**L_b** :	*0*	mm

$$L_p = 1.76 r_y \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

L_p : *1272.69* mm

Donde:

E: Módulo de elasticidad del acero	**E** :	*2038735.98*	kp/cm²
F_y: Límite elástico mínimo especificado	**F_y** :	*2548.42*	kp/cm²

$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}}$$

r_y : *2.56* cm

Donde:

I_y: Momento de inercia respecto al eje Y	**I_y** :	*451.00*	cm4
A: Área total de la sección transversal de la barra.	**A** :	*69.00*	cm²

<u>**Resistencia a flexión eje Y**</u> (Capítulo F)

Todas las secciones deben cumplir con las especificaciones LRFD desarrolladas en Capítulo F de ANSI/AISC 360-05 (LRFD).

Se debe satisfacer el siguiente criterio:

$$\eta_M = \frac{M_r}{M_c} \leq 1$$

η_M : ***0.006*** ✓

El momento flector solicitante de cálculo pésimo, M_r, se produce en el nudo N28, para la combinacíon de acciones 1.4·PP+1.4·CM.

Donde:

M_r: Resistencia a flexión requerida para las combinaciones de carga LRFD — **M_r** : *0.015* t·m

M_c: Resistencia de diseño a flexión — **M_c** : *2.648* t·m

$$M_c = \varphi_b M_n$$

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 6, Sección 1 — **M_n** : *2.942* t·m

1. Fluencia

$$M_n = M_p = F_y Z_y \leq 1.6 F_y S_y$$

M_n : *2.942* t·m

Donde:

F_y: Límite elástico mínimo especificado — **F_y** : *2548.42* kp/cm²

Z_y: Módulo resistente plástico respecto al eje Y — **Z_y** : *122.75* cm³

S_y: Módulo resistente elástico respecto al eje Y

$$S_y = \frac{I_y}{x}$$

S_y : *72.16* cm³

Donde:

I_y: Momento de inercia respecto al eje Y — **I_y** : *451.00* cm4

x: Distancia a la fibra extrema en flexión desde el baricentro — **x** : *62.50* mm

2. Pandeo local del ala

a) Para secciones con alas compactas el estado límite de fluencia es de aplicación

Resistencia a corte X (Capítulo G)

Todas las secciones deben cumplir con las especificaciones LRFD desarrolladas en Capítulo G de ANSI/AISC 360-05 (LRFD).

Se debe satisfacer el siguiente criterio:

$$\eta_v = \frac{V_r}{V_c} \leq 1$$

η_v < ***0.001*** ✓

El esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_r se produce para la combinación de hipótesis 1.4·PP+1.4·CM.

Donde:

V_r: Resistencia a cortante requerida para las combinaciones de carga LRFD — **V_r** : *0.011* t

V_c: Resistencia de diseño a cortante

$V_c = \varphi_V V_n$ — **V_c** : *55.734* t

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:

para secciones con simetría simple y doble cargadas en el eje débil, la resistencia nominal a cortante se calcula de la siguiente forma (ANSI/AISC 360-05 (LRFD), Capítulo G - G-7).

$V_n = 0.6F_yA_wC_v$ — **V_n** : *61.927* t

Donde:

F_y: Límite elástico mínimo especificado — **F_y** : *2548.42* kp/cm²

$A_w = 2b_ft_f$ — **A_w** : *40.50* cm²

Donde:

b_f: Anchura total del ala — **b_f** : *125.00* mm

t_f: Espesor del ala — **t_f** : *16.20* 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) $\frac{b}{t_f} \leq 1.10\sqrt{k_v \frac{E}{F_y}}$

$C_v = 1.0$ — **C_v** : *1.00*

Donde:

b: La mitad del ancho total del ala — **b** : *62.50* mm

t_f: Espesor del ala — **t_f** : *16.20* mm

E: Módulo de elasticidad del acero — **E** : *2038735.98* kp/cm²

K_v: Coeficiente de abolladura del alma — **K_v** : *1.20*

Resistencia a corte Y (Capítulo G)

Todas las secciones deben cumplir con las especificaciones LRFD desarrolladas en Capítulo G de ANSI/AISC 360-05 (LRFD).
Se debe satisfacer el siguiente criterio:

$\eta_v = \frac{V_r}{V_c} \leq 1$ — **η_v** : ***0.102*** ✓

El esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_r se produce en el nudo N28, para la combinación de hipótesis 1.4·PP+1.4·CM.

Donde:

V_r: Resistencia a cortante requerida para las combinaciones de carga LRFD — **V_r** : *5.037* t

V_c: Resistencia de diseño a cortante

$V_c = \varphi_V V_n$ — **V_c** : *49.541* t

La resistencia de diseño a cortante viene dada por:

Donde:

En la Sección G2.1 a:

φ_v: Factor de resistencia a cortante — **φ_v** : *1.00*

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

para almas de secciones con simetría simple o doble y en U sometidas a cortante en el plano del alma (ANSI/AISC 360-05 (LRFD), Capítulo G - G2).

$V_n = 0.6F_yA_wC_v$ — **V_n** : *49.541* t

Donde:

F_y: Límite elástico mínimo especificado — **F_y** : *2548.42* kp/cm²

$A_w = dt_w$ — **A_w** : *32.40* cm²

Donde:

d: Canto total — **d** : *300.00* mm

t_w: Espesor del alma — **t_w** : *10.80* mm

1. Resistencia nominal a cortante

a) para almas de perfiles laminados de sección en doble T cuando se cumple:

$$\frac{h}{t_w} \le 2.24\sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

C_v: Coeficiente de cortante del alma — **C_v** : *1.00*

Donde:

h: Distancia libre entre alas, menos el radio de acuerdo — **h** : *267.60* mm

E: Módulo de elasticidad del acero — **E** : *2038735.98* kp/cm²

2. Comprobación de rigidizadores transversales

(a) si $\frac{h}{t_w} \le 2.46\sqrt{\frac{E}{F_y}}$

No son necesarios rigidizadores transversales.

Donde:

h: Distancia libre entre alas, menos el radio de acuerdo — **h** : *267.60* mm

t_w: Espesor del alma — **t_w** : *10.80* mm

E: Módulo de elasticidad del acero — **E** : *2038735.98* kp/cm²

F_y: Límite elástico mínimo especificado — **F_y** : *2548.42* kp/cm²

Esfuerzos combinados y torsión (Capítulo H)

Se debe cumplir el siguiente criterio:

$$\eta \leq 1$$

η : **0.245** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N28, para la combinación de acciones 1.4·PP+1.4·CM.
Donde:

Según el capítulo H3.3, las secciones abiertas sometidas a torsión junto con tensiones combinadas, han de satisfacer la siguiente condición:

$$\eta = \frac{T_r}{T_c} \leq 1$$

η : **0.117** ✓

Ya que la norma no proporciona una comprobación general para secciones abiertas sometidas a torsión combinada con otros esfuerzos, se considera que este elemento debe cumplir, además, los siguientes criterios para la tensión de Von Mises:

$$\eta = \left| \frac{f_a}{F_a} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \right| \leq 1$$

η : **0.245** ✓

$$\eta = \left| \frac{f_{Vx}}{F_{Vx}} + \frac{f_{Vy}}{F_{Vy}} + \frac{f_T}{F_T} \right| \leq 1$$

η : **0.133** ✓

$$\eta = \left[\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \right]^2 + \left[\frac{f_{Vx}}{F_{Vx}} + \frac{f_{Vy}}{F_{Vy}} + \frac{f_T}{F_T} \right]^2 \leq 1$$

η : **0.078** ✓

3. Resistencia de secciones no tubulares sometidas a torsión y tensiones combinadas

T_r: Resistencia a torsión requerida — T_r : *0.052* t·m

$$T_c = \phi_T T_n$$

T_c : *0.441* t·m

Donde:

φ_T: Factor de resistencia para torsión — φ_T : *0.90*

T_n: Resistencia nominal a torsión, definida como:

$$T_n = F_n C$$

T_n : *0.490* t·m

Donde:

C: Módulo resistente a torsión — **C** : *32.02* cm³

b) El estado límite de fluencia bajo tensiones tangenciales por cortante

$F_n = 0.6F_y$ — F_n : 1529.05 kp/cm²

Donde:

F_y: Límite elástico mínimo especificado del acero de las barras — F_y : 2548.42 kp/cm²

Comprobación de Von Mises (comprobación adicional)

f_a: Tensión normal debida al esfuerzo axil (tracción o compresión) calculada para la sección bruta.

$f_a = \frac{P_r}{A}$ — f_a : 0.58 kp/cm²

Donde:

P_r: Resistencia requerida a compresión (para las combinaciones de carga LRFD). — P_r : 0.040 t

A: Área total de la sección transversal de la barra. — A : 69.00 cm²

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

$f_{bx} = \frac{-y}{I_x} M_{rx}$ — f_{bx} : 541.02 kp/cm²

Donde:

M_{rx}: Resistencia requerida a flexión alrededor del eje x (para las combinaciones de carga LRFD). — M_{rx} : 3.535 t·m

I_x: Momento de inercia respecto al eje X — I_x : 9800.00 cm4

y: Coordenada y del punto pésimo respecto al centro de gravedad. — y : -150.00 mm

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

$f_{by} = \frac{-x}{I_y} M_{ry}$ — f_{by} : 20.87 kp/cm²

Donde:

M_{ry}: Resistencia requerida a flexión alrededor del eje y (para las combinaciones de carga LRFD). — M_{ry} : 0.015 t·m

I_y: Momento de inercia respecto al eje Y — I_y : 451.00 cm4

x: Coordenada x del punto pésimo respecto al centro de gravedad. — x : -62.50 mm

f_{Vx}: Tensión tangencial debida a cortante en la dirección x.

$f_{Vx} = -\frac{V_x Q_y}{I_y b}$ — f_{Vx} : 0.00 kp/cm²

Donde:

V_x: Resistencia requerida a cortante en la dirección x (para las combinaciones de carga LRFD). — V_x : 0.011 t

Q_y: Momento estático respecto del eje y de la sección parcial de área correspondiente al punto pésimo. — Q_y : 0.00 cm³

I_y: Momento de inercia respecto al eje Y — I_y : 451.00 cm4

b: Espesor del elemento en el punto pésimo. — b : 16.20 mm

f_{Vy}: Tensión tangencial debida a cortante en la dirección y.

f_{Vy} : 0.00 kp/cm²

Donde:

V_y: Resistencia requerida a cortante en la dirección y (para las combinaciones de carga LRFD). — V_y : 5.037 t

Q_x: Momento estático respecto del eje x de la sección parcial de área correspondiente al punto pésimo. — Q_x : 0.00 cm³

I_x: Momento de inercia respecto al eje X — I_x : 9800.00 cm4

b: Espesor del elemento en el punto pésimo. — **b** : 16.20 mm

f_T: Tensión tangencial debida a torsión.

$$f_T = \pm \frac{b}{J} T_r$$

f_T : -176.51 kp/cm²

Donde:

T_r: Resistencia requerida a torsión (para las combinaciones de carga LRFD). — T_r : 0.052 t·m

J: Momento de inercia a torsión uniforme — **J** : 51.87 cm4

b: Espesor del elemento en el punto pésimo. — **b** : 16.20 mm

F_a: Resistencia a compresión de la sección.

$$F_a = \phi_c F_{cr}$$

F_a : 2288.21 kp/cm²

Donde:

φ_c: Factor de seguridad para compresión. — φ_c : 0.90

F_{cr}: Resistencia crítica de pandeo (calculada según el Capítulo E). — F_{cr} : 2542.45 kp/cm²

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

$$F_{bx} = F_{by} = \phi_b F_y$$

F_{bx} : 2293.58 kp/cm²

F_{by} : 2293.58 kp/cm²

Donde:

φ_b: Factor de resistencia para flexión. — φ_b : 0.90

F_y: Límite elástico mínimo especificado del acero de las barras — F_y : 2548.42 kp/cm²

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

$$F_{Vx} = F_{Vy} = \phi_v F_y / \sqrt{3}$$

F_{Vx} : 1324.20 kp/cm²

F_{Vy} : 1324.20 kp/cm²

Donde:

φ_V: Factor de resistencia para cortante. — φ_V : 0.90

F_y: Límite elástico mínimo especificado del acero de las barras — F_y : 2548.42 kp/cm²

F_T: Resistencia a torsión de la sección.

$$F_T = \phi_T F_y / \sqrt{3}$$

F_T : 1324.20 kp/cm²

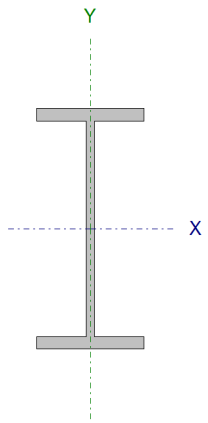
Donde:

φ_T: Factor de resistencia para torsión — φ_T : 0.90

F_y: Límite elástico mínimo especificado del acero de las barras — F_y : 2548.42 kp/cm²

Barra N45/N52

Perfil: IPN 220Material: Acero (A36)



Nudos		Longitud	Características mecánicas			
Inicial	Final	(m)	Área	I_x(1)	I_y(1)	I_t(2)
N45	N52	2.020	39.50	3060.00	162.00	16.97

Notas:

(1) Inercia respecto al eje indicado

	Pandeo		Pandeo lateral	
	Plano ZX	Plano ZY	Ala sup.	Ala inf.
β	1.00	1.00	0.00	0.00
L_K	2.020	2.020	0.000	0.000
C_b	-		1.000	

Notación:

β: Coeficiente de pandeo

Resistencia a tracción (Capítulo D)

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

Limitación de esbeltez para compresión (Capítulo E)

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

$\lambda \leq 200$

λ: ***100*** ✓

Donde:

λ: Coeficiente de esbeltez

λ : 100

Donde:

L: Longitud de la barra — **L** : 1952 mm

K: Factor de longitud efectiva. — **K** : 1.03

r_y: Radio de giro respecto al eje Y — **r_y** : 2.03 cm

Donde:

$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}}$$

r_y : 2.03 cm

Donde:

I_y: Momento de inercia respecto al eje Y — **I_y** : 162.00 cm4

A: Área total de la sección transversal de la barra. — **A** : 39.50 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 360-05 (LRFD).
Se debe satisfacer el siguiente criterio:

$$\eta_T = \frac{P_r}{P_c} \leq 1$$

η_T : **0.002** ✓

El axil de compresión solicitante de cálculo pésimo P_r se produce para la combinación de hipótesis 1.4·PP+1.4·CM.

Donde:

P_r: Resistencia a compresión requerida para las combinaciones de carga LRFD — **P_r** : 0.117 t

P_c: Resistencia de diseño a compresión — **P_c** : 53.470 t

$$P_c = \varphi_p P_n$$

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-A: — **P_n** : 59.411 t

$$P_n = F_{cr} A$$

para el pandeo por flexión de secciones con elementos compactos y no compactos (ANSI/AISC 360-05 (LRFD), Capítulo E - E3-A).

Donde:

A: Área bruta de la sección de la barra. | **A** : | *39.50* | cm²

F_{cr}: Tensión de pandeo por flexión, tomada como: | **F_{cr}** : | *1504.07* | kp/cm²

i) Cuando: $F_e \geq 0.44F_y$

$$F_{cr} = \left[0.658^{\frac{F_y}{F_e}}\right]F_y$$

Donde:

F_y: Límite elástico mínimo especificado del acero de las barras | **F_y** : | *2548.42* | kp/cm²

F_e: Tensión crítica elástica de pandeo, tomada como la menor de: | **F_e** : | *2022.85* | kp/cm²

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2}$$

F_{ex} :	*38209.44*	kp/cm²
F_{ey} :	*2022.85*	kp/cm²

Donde:

E: Módulo de elasticidad del acero | **E** : | *2038735.98* | kp/cm²

K: Factor de longitud efectiva. | **K_x** : | *1.03*

K_y : | *1.03*

L: Longitud de la barra | **L** : | *1952* | mm

r: Radio de giro dominante | **r_x** : | *8.80* | cm

r_y : | *2.03* | cm

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

Donde:

I: Momento de inercia | **I_x** : | *3060.00* | cm4

I_y : | *162.00* | cm4

A: Área total de la sección transversal de la barra. | **A** : | *39.50* | cm²

Resistencia a flexión eje X (Capítulo F)

Todas las secciones deben cumplir con las especificaciones LRFD desarrolladas en Capítulo F de ANSI/AISC 360-05 (LRFD).
Se debe satisfacer el siguiente criterio:

$$\eta_M = \frac{M_r}{M_c} \leq 1$$

η_M : | ***0.177*** ✓

El momento flector solicitante de cálculo pésimo, M_r, se produce en un punto situado a una distancia de 0.068 m del nudo N45, para la combinacíon de acciones 1.4·PP+1.4·CM.

Donde:

M_r: Resistencia a flexión requerida para las combinaciones de carga LRFD	**M_r** :	*1.304*	t·m
M_c: Resistencia de diseño a flexión	**M_c** :	*7.354*	t·m

$$M_c = \varphi_b M_n$$

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 2, Sección 1	**M_n** :	*8.171*	t·m

1. Fluencia

$$M_n = M_p = F_y Z_x$$

M_n : *8.171* t·m

Donde:

F_y: Límite elástico mínimo especificado	**F_y** :	*2548.42*	kp/cm²
Z_x: Módulo resistente plástico respecto al eje X	**Z_x** :	*320.63*	cm³

2. Pandeo lateral

a) Si $L_b \leq L_p$:, el estado límite de pandeo lateral no es de aplicación

Donde:

L_b: Distancia entre puntos de arriostramiento al desplazamiento lateral del ala comprimida o de la torsión de la sección transversal	**L_b** :	*0*	mm

$$L_p = 1.76 r_y \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

L_p : *1008.13* mm

Donde:

E: Módulo de elasticidad del acero	**E** :	*2038735.98*	kp/cm²
F_y: Límite elástico mínimo especificado	**F_y** :	*2548.42*	kp/cm²

$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}}$$

r_y : *2.03* cm

Donde:

I_y: Momento de inercia respecto al eje Y	**I_y** :	*162.00*	cm4
A: Área total de la sección transversal de la barra.	**A** :	*39.50*	cm²

Resistencia a flexión eje Y (Capítulo F)

Todas las secciones deben cumplir con las especificaciones LRFD desarrolladas en Capítulo F de ANSI/AISC 360-05 (LRFD).

Se debe satisfacer el siguiente criterio:

$$n_{..} = \frac{M_r}{\ldots} < 1$$

η_M : **0.020** ✓

El momento flector solicitante de cálculo pésimo, M_r, se produce en un punto situado a una distancia de 0.068 m del nudo N45, para la combinacíon de acciones 1.4·PP+1.4·CM.
Donde:

M_r: Resistencia a flexión requerida para las combinaciones de carga LRFD — M_r : 0.025 t·m

M_c: Resistencia de diseño a flexión — M_c : 1.213 t·m

$$M_c = \varphi_b M_n$$

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 6, Sección 1 — M_n : 1.348 t·m

1. Fluencia

$$M_n = M_p = F_y Z_y \leq 1.6 F_y S_y$$

M_n : 1.348 t·m

Donde:

F_y: Límite elástico mínimo especificado — F_y : 2548.42 kp/cm²

Z_y: Módulo resistente plástico respecto al eje Y — Z_y : 56.20 cm³

S_y: Módulo resistente elástico respecto al eje Y

$$S_y = \frac{I_y}{x}$$

S_y : 33.06 cm³

Donde:

I_y: Momento de inercia respecto al eje Y — I_y : 162.00 cm4

x: Distancia a la fibra extrema en flexión desde el baricentro — x : 49.00 mm

2. Pandeo local del ala

a) Para secciones con alas compactas el estado límite de fluencia es de aplicación

Resistencia a corte X (Capítulo G)

Todas las secciones deben cumplir con las especificaciones LRFD desarrolladas en Capítulo G de ANSI/AISC 360-05 (LRFD).
Se debe satisfacer el siguiente criterio:

$$\eta_v = \frac{V_r}{V_c} \leq 1$$

η_V : **0.001** ✓

El esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_r se produce para la combinación de hipótesis 1.4·PP+1.4·CM.

Donde:

V_r: Resistencia a cortante requerida para las combinaciones de carga LRFD — **V_r** : *0.024* t

V_c: Resistencia de diseño a cortante

$V_c = \varphi_v V_n$ — **V_c** : *32.906* t

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:

para secciones con simetría simple y doble cargadas en el eje débil, la resistencia nominal a cortante se calcula de la siguiente forma (ANSI/AISC 360-05 (LRFD), Capítulo G - G-7).

$V_n = 0.6 F_y A_w C_v$ — **V_n** : *36.563* t

Donde:

F_y: Límite elástico mínimo especificado — **F_y** : *2548.42* kp/cm²

$A_w = 2 b_f t_f$ — **A_w** : *23.91* cm²

Donde:

b_f: Anchura total del ala — **b_f** : *98.00* mm

t_f: Espesor del ala — **t_f** : *12.20* 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) $\frac{b}{t_f} \leq 1.10 \sqrt{k_v \frac{E}{F_y}}$

$C_v = 1.0$ — **C_v** : *1.00*

Donde:

b: La mitad del ancho total del ala — **b** : *49.00* mm

t_f: Espesor del ala — **t_f** : *12.20* mm

E: Módulo de elasticidad del acero — **E** : *2038735.98* kp/cm²

K_v: Coeficiente de abolladura del alma — **K_v** : *1.20*

Resistencia a corte Y (Capítulo G)

Todas las secciones deben cumplir con las especificaciones LRFD desarrolladas en Capítulo G de ANSI/AISC 360-05 (LRFD).
Se debe satisfacer el siguiente criterio:

$n = \frac{V_r}{} \leq 1$

η_V : **0.026** ✓

El esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_r se produce en un punto situado a una distancia de 0.068 m del nudo N45, para la combinación de hipótesis 1.4·PP+1.4·CM.

Donde:

V_r: Resistencia a cortante requerida para las combinaciones de carga LRFD — V_r : *0.713* t

V_c: Resistencia de diseño a cortante

$V_c = \varphi_V V_n$ — V_c : *27.248* t

La resistencia de diseño a cortante viene dada por:

Donde:

En la Sección G2.1 a:

φ_v: Factor de resistencia a cortante — φ_v : *1.00*

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

para almas de secciones con simetría simple o doble y en U sometidas a cortante en el plano del alma (ANSI/AISC 360-05 (LRFD), Capítulo G - G2).

$V_n = 0.6F_yA_wC_v$ — V_n : *27.248* t

Donde:

F_y: Límite elástico mínimo especificado — F_y : *2548.42* kp/cm²

$A_w = dt_w$ — A_w : *17.82* cm²

Donde:

d: Canto total — **d** : *220.00* mm

t_w: Espesor del alma — t_w : *8.10* mm

1. Resistencia nominal a cortante

a) para almas de perfiles laminados de sección en doble T cuando se cumple:

$$\frac{h}{t_w} \le 2.24\sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

C_v: Coeficiente de cortante del alma — C_v : *1.00*

Donde:

h: Distancia libre entre alas, menos el radio de acuerdo — **h** : *195.60* mm

E: Módulo de elasticidad del acero — **E** : *2038735.98* kp/cm²

2. Comprobación de rigidizadores transversales

(a) si $\frac{h}{t_w} \le 2.46\sqrt{\frac{E}{F_y}}$

No son necesarios rigidizadores transversales.

Donde:

h: Distancia libre entre alas, menos el radio de acuerdo — **h** : *195.60* mm

t_w: Espesor del alma — t_w : *8.10* mm

E: Módulo de elasticidad del acero — **E** : *2038735.98* kp/cm²

F_y: Límite elástico mínimo especificado F_y : 2548.42 kp/cm²

Esfuerzos combinados y torsión (Capítulo H)

Se debe cumplir el siguiente criterio:

$$\eta \leq 1$$

η : **0.239** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.068 m del nudo N45, para la combinación de acciones 1.4·PP+1.4·CM.
Donde:

Según el capítulo H3.3, las secciones abiertas sometidas a torsión junto con tensiones combinadas, han de satisfacer la siguiente condición:

$$\eta = \frac{T_r}{T_c} \leq 1$$

η : **0.002** ✓

Ya que la norma no proporciona una comprobación general para secciones abiertas sometidas a torsión combinada con otros esfuerzos, se considera que este elemento debe cumplir, además, los siguientes criterios para la tensión de Von Mises:

$$\eta = \left| \frac{f_a}{F_a} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \right| \leq 1$$

η : **0.239** ✓

$$\eta = \left| \frac{f_{Vx}}{F_{Vx}} + \frac{f_{Vy}}{F_{Vy}} + \frac{f_T}{F_T} \right| \leq 1$$

η : **0.003** ✓

$$\eta = \left[\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \right]^2 + \left[\frac{f_{Vx}}{F_{Vx}} + \frac{f_{Vy}}{F_{Vy}} + \frac{f_T}{F_T} \right]^2 \leq 1$$

η : **0.057** ✓

3. Resistencia de secciones no tubulares sometidas a torsión y tensiones combinadas

T_r: Resistencia a torsión requerida T_r : 0.000 t·m

$T_c = \phi_T T_n$ T_c : 0.191 t·m

Donde:

φ_T: Factor de resistencia para torsión φ_T : 0.90

T_n: Resistencia nominal a torsión, definida como:

$T_n = F_n C$ T_n : 0.213 t·m

Donde:

C: Módulo resistente a torsión — **C** : *13.91* cm³

b) El estado límite de fluencia bajo tensiones tangenciales por cortante

$F_n = 0.6F_y$ — F_n : *1529.05* kp/cm²

Donde:

F_y: Límite elástico mínimo especificado del acero de las barras — F_y : *2548.42* kp/cm²

Comprobación de Von Mises (comprobación adicional)

f_a: Tensión normal debida al esfuerzo axil (tracción o compresión) calculada para la sección bruta.

$f_a = \frac{P_r}{A}$ — f_a : *2.96* kp/cm²

Donde:

P_r: Resistencia requerida a compresión (para las combinaciones de carga LRFD). — P_r : *0.117* t

A: Área total de la sección transversal de la barra. — **A** : *39.50* cm²

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

$f_{bx} = \frac{-y}{I_x} M_{rx}$ — f_{bx} : *468.59* kp/cm²

Donde:

M_{rx}: Resistencia requerida a flexión alrededor del eje x (para las combinaciones de carga LRFD). — M_{rx} : *1.304* t·m

I_x: Momento de inercia respecto al eje X — I_x : *3060.00* cm4

y: Coordenada y del punto pésimo respecto al centro de gravedad. — **y** : *-110.00* mm

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

$f_{by} = \frac{-x}{I_y} M_{ry}$ — f_{by} : *74.96* kp/cm²

Donde:

M_{ry}: Resistencia requerida a flexión alrededor del eje y (para las combinaciones de carga LRFD). — M_{ry} : *0.025* t·m

I_y: Momento de inercia respecto al eje Y — I_y : *162.00* cm4

x: Coordenada x del punto pésimo respecto al centro de gravedad. — **x** : *-49.00* mm

f_{Vx}: Tensión tangencial debida a cortante en la dirección x.

$f_{Vx} = -\frac{V_x Q_y}{I_y b}$ — f_{Vx} : *0.00* kp/cm²

Donde:

V_x: Resistencia requerida a cortante en la dirección x (para las combinaciones de carga LRFD). — V_x : *0.024* t

Q_y: Momento estático respecto del eje y de la sección parcial de área correspondiente al punto pésimo. — Q_y : *0.00* cm³

I_y: Momento de inercia respecto al eje Y — I_y : *162.00* cm4

b: Espesor del elemento en el punto pésimo. — **b** : *12.20* mm

f_{Vy}: Tensión tangencial debida a cortante en la dirección y.

$$f_{Vy} = -\frac{V_y Q_x}{I_x b}$$

f_{Vy} : 0.00 kp/cm²

Donde:

V_y: Resistencia requerida a cortante en la dirección y (para las combinaciones de carga LRFD). — V_y : 0.713 t

Q_x: Momento estático respecto del eje x de la sección parcial de área correspondiente al punto pésimo. — Q_x : 0.00 cm³

I_x: Momento de inercia respecto al eje X — I_x : 3060.00 cm4

b: Espesor del elemento en el punto pésimo. — b : 12.20 mm

f_T: Tensión tangencial debida a torsión.

$$f_T = \pm \frac{b}{J} T_r$$

f_T : -3.36 kp/cm²

Donde:

T_r: Resistencia requerida a torsión (para las combinaciones de carga LRFD). — T_r : 0.000 t·m

J: Momento de inercia a torsión uniforme — J : 16.97 cm4

b: Espesor del elemento en el punto pésimo. — b : 12.20 mm

F_a: Resistencia a compresión de la sección.

$$F_a = \phi_c F_{cr}$$

F_a : 1353.67 kp/cm²

Donde:

φ_c: Factor de seguridad para compresión. — φ_c : 0.90

F_{cr}: Resistencia crítica de pandeo (calculada según el Capítulo E). — F_{cr} : 1504.07 kp/cm²

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

$$F_{bx} = F_{by} = \phi_b F_y$$

F_{bx} : 2293.58 kp/cm²

F_{by} : 2293.58 kp/cm²

Donde:

φ_b: Factor de resistencia para flexión. — φ_b : 0.90

F_y: Límite elástico mínimo especificado del acero de las barras — F_y : 2548.42 kp/cm²

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

$$F_{Vx} = F_{Vy} = \phi_v F_y / \sqrt{3}$$

F_{Vx} : 1324.20 kp/cm²

F_{Vy} : 1324.20 kp/cm²

Donde:

φ_V: Factor de resistencia para cortante. — φ_V : 0.90

F_y: Límite elástico mínimo especificado del acero de las barras — F_y : 2548.42 kp/cm²

F_T: Resistencia a torsión de la sección.

$$F_T = \phi_T F_y / \sqrt{3}$$

F_T : 1324.20 kp/cm²

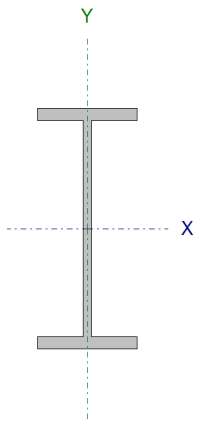
Donde:

φ_T: Factor de resistencia para torsión — φ_T : 0.90

F_y: Límite elástico mínimo especificado del acero de las barras — F_y : 2548.42 kp/cm²

Barra N34/N45

Perfil: IPN 300Material: Acero (A36)



Nudos		Longitud	Características mecánicas			
Inicial	Final	(m)	Área	I_x(1)	I_y(1)	I_t(2)
N34	N45	0.170	69.00	9800.00	451.00	51.87

Notas:

(1) Inercia respecto al eje indicado

	Pandeo		Pandeo lateral	
	Plano ZX	Plano ZY	Ala sup.	Ala inf.
β	1.00	1.00	0.00	0.00
L_K	0.170	0.170	0.000	0.000
C_b	-		1.000	

Notación:

β: Coeficiente de pandeo

Resistencia a tracción (Capítulo D)

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

Limitación de esbeltez para compresión (Capítulo E)

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

$\lambda \leq 200$

λ: **7** ✓

Donde:

λ: Coeficiente de esbeltez

λ : 7

Donde:

L: Longitud de la barra — **L** : 116 mm

K: Factor de longitud efectiva. — **K** : 1.47

r_y: Radio de giro respecto al eje Y — r_y : 2.56 cm

Donde:

$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}}$$

r_y : 2.56 cm

Donde:

I_y: Momento de inercia respecto al eje Y — I_y : 451.00 cm4

A: Área total de la sección transversal de la barra. — **A** : 69.00 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 360-05 (LRFD).
Se debe satisfacer el siguiente criterio:

$$\eta_T = \frac{P_r}{P_c} \leq 1$$

η_T < **0.001** ✓

El axil de compresión solicitante de cálculo pésimo P_r se produce para la combinación de hipótesis 1.4·PP+1.4·CM.

Donde:

P_r: Resistencia a compresión requerida para las combinaciones de carga LRFD — P_r : 0.077 t

P_c: Resistencia de diseño a compresión — P_c : 157.886 t

$$P_c = \varphi_p P_n$$

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-A: — P_n : 175.429 t

$$P_n = F_{cr} A$$

para el pandeo por flexión de secciones con elementos compactos y no compactos (ANSI/AISC 360-05 (LRFD), Capítulo E - E3-A).

Donde:

A: Área bruta de la sección de la barra. | **A** : | *69.00* | cm²

F_{cr}: Tensión de pandeo por flexión, tomada como: | **F_{cr}** : | *2542.45* | kp/cm²

i) Cuando: $F_e \geq 0.44F_y$

$$F_{cr} = \left[0.658^{\frac{F_y}{F_e}}\right]F_y$$

Donde:

F_y: Límite elástico mínimo especificado del acero de las barras | **F_y** : | *2548.42* | kp/cm²

F_e: Tensión crítica elástica de pandeo, tomada como la menor de: | **F_e** : | *455082.72* | kp/cm²

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2}$$

F_{ex} :	*9888715.33*	kp/cm²
F_{ey} :	*455082.72*	kp/cm²

Donde:

E: Módulo de elasticidad del acero | **E** : | *2038735.98* | kp/cm²

K: Factor de longitud efectiva. | **K_x** : | *1.47*

K_y :	*1.47*	
L :	*116*	mm
r_x :	*11.92*	cm
r_y :	*2.56*	cm

L: Longitud de la barra

r: Radio de giro dominante

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

Donde:

I: Momento de inercia | **I_x** : | *9800.00* | cm4

I_y :	*451.00*	cm4
A :	*69.00*	cm²

A: Área total de la sección transversal de la barra.

Resistencia a flexión eje X (Capítulo F)

Todas las secciones deben cumplir con las especificaciones LRFD desarrolladas en Capítulo F de ANSI/AISC 360-05 (LRFD).
Se debe satisfacer el siguiente criterio:

$$\eta_M = \frac{M_r}{M_c} \leq 1$$

η_M : ***0.187*** ✓

El momento flector solicitante de cálculo pésimo, M_r, se produce en el nudo N34, para la combinacíon de acciones 1.4·PP+1.4·CM.

Donde:

M_r: Resistencia a flexión requerida para las combinaciones de carga LRFD	M_r :	3.235	t·m
M_c: Resistencia de diseño a flexión	M_c :	17.336	t·m

$$M_c = \varphi_b M_n$$

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 2, Sección 1	M_n :	19.263	t·m

1. Fluencia

$$M_n = M_p = F_y Z_x$$

M_n : 19.263 t·m

Donde:

F_y: Límite elástico mínimo especificado	F_y :	2548.42	kp/cm²
Z_x: Módulo resistente plástico respecto al eje X	Z_x :	755.87	cm³

2. Pandeo lateral

a) Si $L_b \leq L_p$:, el estado límite de pandeo lateral no es de aplicación

Donde:

L_b: Distancia entre puntos de arriostramiento al desplazamiento lateral del ala comprimida o de la torsión de la sección transversal	L_b :	0	mm

$$L_p = 1.76 r_y \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

L_p : 1272.69 mm

Donde:

E: Módulo de elasticidad del acero	E :	2038735.98	kp/cm²
F_y: Límite elástico mínimo especificado	F_y :	2548.42	kp/cm²

$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}}$$

r_y : 2.56 cm

Donde:

I_y: Momento de inercia respecto al eje Y	I_y :	451.00	cm4
A: Área total de la sección transversal de la barra.	A :	69.00	cm²

Resistencia a flexión eje Y (Capítulo F)

Todas las secciones deben cumplir con las especificaciones LRFD desarrolladas en Capítulo F de ANSI/AISC 360-05 (LRFD).

Se debe satisfacer el siguiente criterio:

$$\eta_M = \frac{M_r}{M_c} \leq 1$$

η_M : **0.010** ✓

El momento flector solicitante de cálculo pésimo, M_r, se produce en un punto situado a una distancia de 0.116 m del nudo N34, para la combinacíon de acciones 1.4·PP+1.4·CM.
Donde:

M_r: Resistencia a flexión requerida para las combinaciones de carga LRFD — **M_r** : *0.027* t·m

M_c: Resistencia de diseño a flexión — **M_c** : *2.648* t·m

$$M_c = \varphi_b M_n$$

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 6, Sección 1 — **M_n** : *2.942* t·m

1. Fluencia

$$M_n = M_p = F_y Z_y \leq 1.6 F_y S_y$$

M_n : *2.942* t·m

Donde:

F_y: Límite elástico mínimo especificado — **F_y** : *2548.42* kp/cm²

Z_y: Módulo resistente plástico respecto al eje Y — **Z_y** : *122.75* cm³

S_y: Módulo resistente elástico respecto al eje Y

$$S_y = \frac{I_y}{x}$$

S_y : *72.16* cm³

Donde:

I_y: Momento de inercia respecto al eje Y — **I_y** : *451.00* cm4

x: Distancia a la fibra extrema en flexión desde el baricentro — **x** : *62.50* mm

2. Pandeo local del ala

a) Para secciones con alas compactas el estado límite de fluencia es de aplicación

<u>**Resistencia a corte X**</u> (Capítulo G)

Todas las secciones deben cumplir con las especificaciones LRFD desarrolladas en Capítulo G de ANSI/AISC 360-05 (LRFD).
Se debe satisfacer el siguiente criterio:

$$\eta_v = \frac{V_r}{V_c} \leq 1$$

η_v : ***0.002*** ✓

El esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_r se produce para la combinación de hipótesis 1.4·PP+1.4·CM.

Donde:

V_r: Resistencia a cortante requerida para las combinaciones de carga LRFD — **V_r** : *0.119* t

V_c: Resistencia de diseño a cortante

$V_c = \varphi_v V_n$ — **V_c** : *55.734* t

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:

para secciones con simetría simple y doble cargadas en el eje débil, la resistencia nominal a cortante se calcula de la siguiente forma (ANSI/AISC 360-05 (LRFD), Capítulo G - G-7).

$V_n = 0.6 F_y A_w C_v$ — **V_n** : *61.927* t

Donde:

F_y: Límite elástico mínimo especificado — **F_y** : *2548.42* kp/cm²

$A_w = 2 b_f t_f$ — **A_w** : *40.50* cm²

Donde:

b_f: Anchura total del ala — **b_f** : *125.00* mm

t_f: Espesor del ala — **t_f** : *16.20* 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) $\frac{b}{t_f} \leq 1.10\sqrt{k_v \frac{E}{F_y}}$

$C_v = 1.0$ — **C_v** : *1.00*

Donde:

b: La mitad del ancho total del ala — **b** : *62.50* mm

t_f: Espesor del ala — **t_f** : *16.20* mm

E: Módulo de elasticidad del acero — **E** : *2038735.98* kp/cm²

K_v: Coeficiente de abolladura del alma — **K_v** : *1.20*

Resistencia a corte Y (Capítulo G)

Todas las secciones deben cumplir con las especificaciones LRFD desarrolladas en Capítulo G de ANSI/AISC 360-05 (LRFD).
Se debe satisfacer el siguiente criterio:

$\eta_v = \frac{V_r}{V_c} \leq 1$ — **η_v** : ***0.092*** ✓

El esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_r se produce en el nudo N34, para la combinación de hipótesis 1.4·PP+1.4·CM.

Donde:

V_r: Resistencia a cortante requerida para las combinaciones de carga LRFD — **V_r** : *4.554* t

V_c: Resistencia de diseño a cortante

$V_c = \varphi_V V_n$ — **V_c** : *49.541* t

La resistencia de diseño a cortante viene dada por:

Donde:

En la Sección G2.1 a:

φ_v: Factor de resistencia a cortante — **φ_v** : *1.00*

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

para almas de secciones con simetría simple o doble y en U sometidas a cortante en el plano del alma (ANSI/AISC 360-05 (LRFD), Capítulo G - G2).

$V_n = 0.6F_yA_wC_v$ — **V_n** : *49.541* t

Donde:

F_y: Límite elástico mínimo especificado — **F_y** : *2548.42* kp/cm²

$A_w = dt_w$ — **A_w** : *32.40* cm²

Donde:

d: Canto total — **d** : *300.00* mm

t_w: Espesor del alma — **t_w** : *10.80* mm

1. Resistencia nominal a cortante

a) para almas de perfiles laminados de sección en doble T cuando se cumple:

$$\frac{h}{t_w} \le 2.24\sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

C_v: Coeficiente de cortante del alma — **C_v** : *1.00*

Donde:

h: Distancia libre entre alas, menos el radio de acuerdo — **h** : *267.60* mm

E: Módulo de elasticidad del acero — **E** : *2038735.98* kp/cm²

2. Comprobación de rigidizadores transversales

(a) si $\frac{h}{t_w} \le 2.46\sqrt{\frac{E}{F_y}}$

No son necesarios rigidizadores transversales.

Donde:

h: Distancia libre entre alas, menos el radio de acuerdo — **h** : *267.60* mm

t_w: Espesor del alma — **t_w** : *10.80* mm

E: Módulo de elasticidad del acero — **E** : *2038735.98* kp/cm²

F_y: Límite elástico mínimo especificado — **F_y** : *2548.42* kp/cm²

Esfuerzos combinados y torsión (Capítulo H)

Se debe cumplir el siguiente criterio:

$$\eta \leq 1$$

η : **0.237** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N34, para la combinación de acciones 1.4·PP+1.4·CM.
Donde:

Según el capítulo H3.3, las secciones abiertas sometidas a torsión junto con tensiones combinadas, han de satisfacer la siguiente condición:

$$\eta = \frac{T_r}{T_c} \leq 1$$

η : **0.150** ✓

Ya que la norma no proporciona una comprobación general para secciones abiertas sometidas a torsión combinada con otros esfuerzos, se considera que este elemento debe cumplir, además, los siguientes criterios para la tensión de Von Mises:

$$\eta = \left| \frac{f_a}{F_a} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \right| \leq 1$$

η < **0.001** ✓

$$\eta = \left| \frac{f_{Vx}}{F_{Vx}} + \frac{f_{Vy}}{F_{Vy}} + \frac{f_T}{F_T} \right| \leq 1$$

η : **0.237** ✓

$$\eta = \left[\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \right]^2 + \left[\frac{f_{Vx}}{F_{Vx}} + \frac{f_{Vy}}{F_{Vy}} + \frac{f_T}{F_T} \right]^2 \leq 1$$

η : **0.056** ✓

3. Resistencia de secciones no tubulares sometidas a torsión y tensiones combinadas

T_r: Resistencia a torsión requerida — T_r : *0.066* t·m

$T_c = \phi_T T_n$ — T_c : *0.441* t·m

Donde:

φ_T: Factor de resistencia para torsión — φ_T : *0.90*

T_n: Resistencia nominal a torsión, definida como:

$T_n = F_n C$ — T_n : *0.490* t·m

Donde:

C: Módulo resistente a torsión — **C** : *32.02* cm³

b) El estado límite de fluencia bajo tensiones tangenciales por cortante

$F_n = 0.6F_y$ — F_n : 1529.05 kp/cm²

Donde:

F_y: Límite elástico mínimo especificado del acero de las barras — F_y : 2548.42 kp/cm²

Comprobación de Von Mises (comprobación adicional)

f_a: Tensión normal debida al esfuerzo axil (tracción o compresión) calculada para la sección bruta.

$f_a = \frac{P_r}{A}$ — f_a : 1.11 kp/cm²

Donde:

P_r: Resistencia requerida a compresión (para las combinaciones de carga LRFD). — P_r : 0.077 t

A: Área total de la sección transversal de la barra. — A : 69.00 cm²

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

$f_{bx} = \frac{-y}{I_x} M_{rx}$ — f_{bx} : 0.00 kp/cm²

Donde:

M_{rx}: Resistencia requerida a flexión alrededor del eje x (para las combinaciones de carga LRFD). — M_{rx} : 3.235 t·m

I_x: Momento de inercia respecto al eje X — I_x : 9800.00 cm4

y: Coordenada y del punto pésimo respecto al centro de gravedad. — y : 0.00 mm

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

$f_{by} = \frac{-x}{I_y} M_{ry}$ — f_{by} : 0.00 kp/cm²

Donde:

M_{ry}: Resistencia requerida a flexión alrededor del eje y (para las combinaciones de carga LRFD). — M_{ry} : 0.013 t·m

I_y: Momento de inercia respecto al eje Y — I_y : 451.00 cm4

x: Coordenada x del punto pésimo respecto al centro de gravedad. — x : 0.00 mm

f_{Vx}: Tensión tangencial debida a cortante en la dirección x.

$f_{Vx} = -\frac{V_x Q_y}{I_y b}$ — f_{Vx} : 0.00 kp/cm²

Donde:

V_x: Resistencia requerida a cortante en la dirección x (para las combinaciones de carga LRFD). — V_x : 0.119 t

Q_y: Momento estático respecto del eje y de la sección parcial de área correspondiente al punto pésimo. — Q_y : 0.00 cm³

I_y: Momento de inercia respecto al eje Y — I_y : 451.00 cm4

b: Espesor del elemento en el punto pésimo. — b : 10.80 mm

f_{Vy}: Tensión tangencial debida a cortante en la dirección y.

f_{Vy} :	-163.54	kp/cm²

Donde:

V_y: Resistencia requerida a cortante en la dirección y (para las combinaciones de carga LRFD).	V_y :	4.554	t
Q_x: Momento estático respecto del eje x de la sección parcial de área correspondiente al punto pésimo.	Q_x :	396.08	cm³
I_x: Momento de inercia respecto al eje X	I_x :	9800.00	cm4
b: Espesor del elemento en el punto pésimo.	**b** :	10.80	mm

f_T: Tensión tangencial debida a torsión.

$$f_T = \pm \frac{b}{J} T_r$$

f_T :	-150.50	kp/cm²

Donde:

T_r: Resistencia requerida a torsión (para las combinaciones de carga LRFD).	T_r :	0.066	t·m
J: Momento de inercia a torsión uniforme	**J** :	51.87	cm4
b: Espesor del elemento en el punto pésimo.	**b** :	10.80	mm

F_a: Resistencia a compresión de la sección.

$$F_a = \phi_c F_{cr}$$

F_a :	2288.21	kp/cm²

Donde:

φ_c: Factor de seguridad para compresión.	φ_c :	0.90	
F_{cr}: Resistencia crítica de pandeo (calculada según el Capítulo E).	F_{cr} :	2542.45	kp/cm²

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

$$F_{bx} = F_{by} = \phi_b F_y$$

F_{bx} :	2293.58	kp/cm²
F_{by} :	2293.58	kp/cm²

Donde:

φ_b: Factor de resistencia para flexión.	φ_b :	0.90	
F_y: Límite elástico mínimo especificado del acero de las barras	F_y :	2548.42	kp/cm²

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

$$F_{Vx} = F_{Vy} = \phi_v F_y / \sqrt{3}$$

F_{Vx} :	1324.20	kp/cm²
F_{Vy} :	1324.20	kp/cm²

Donde:

φ_V: Factor de resistencia para cortante.	φ_V :	0.90	
F_y: Límite elástico mínimo especificado del acero de las barras	F_y :	2548.42	kp/cm²

F_T: Resistencia a torsión de la sección.

$$F_T = \phi_T F_y / \sqrt{3}$$

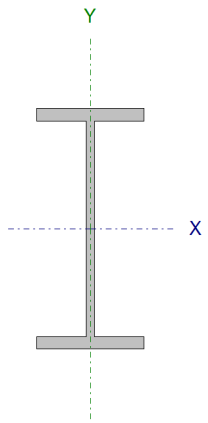
F_T :	1324.20	kp/cm²

Donde:

φ_T: Factor de resistencia para torsión	φ_T :	0.90	
F_y: Límite elástico mínimo especificado del acero de las barras	F_y :	2548.42	kp/cm²

Barra N63/N57

Perfil: IPN 220Material: Acero (A36)



Nudos		Longitud	Características mecánicas			
Inicial	Final	(m)	Área	I_x(1)	I_y(1)	I_t(2)
N63	N57	3.520	39.50	3060.00	162.00	16.97

Notas:

(1) Inercia respecto al eje indicado

	Pandeo		Pandeo lateral	
	Plano ZX	Plano ZY	Ala sup.	Ala inf.
β	1.00	1.00	0.00	0.00
L_K	3.520	3.520	0.000	0.000
C_b	-		1.000	

Notación:

β: Coeficiente de pandeo

Resistencia a tracción (Capítulo D)

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

Limitación de esbeltez para compresión (Capítulo E)

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

$\lambda \leq 200$

λ: ***174*** ✓

Donde:

λ: Coeficiente de esbeltez

λ : 174

Donde:

L: Longitud de la barra — **L** : 3520 mm

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

r_y: Radio de giro respecto al eje Y — r_y : 2.03 cm

Donde:

$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}}$$

r_y : 2.03 cm

Donde:

I_y: Momento de inercia respecto al eje Y — I_y : 162.00 cm4

A: Área total de la sección transversal de la barra. — **A** : 39.50 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 360-05 (LRFD).
Se debe satisfacer el siguiente criterio:

$$\eta_T = \frac{P_r}{P_c} \leq 1$$

η_T < **0.001** ✓

El axil de compresión solicitante de cálculo pésimo P_r se produce para la combinación de hipótesis 1.4·PP+1.4·CM.

Donde:

P_r: Resistencia a compresión requerida para las combinaciones de carga LRFD — P_r : 0.006 t

P_c: Resistencia de diseño a compresión — P_c : 20.765 t

$$P_c = \varphi_p P_n$$

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 : 23.072 t

$$P_n = F_{cr} A$$

para el pandeo por flexión de secciones con elementos compactos y no compactos (ANSI/AISC 360-05 (LRFD), Capítulo E - E3-B).

Donde:

A: Área bruta de la sección de la barra. | **A** : | *39.50* | cm²

F_{cr}: Tensión de pandeo por flexión, tomada como: | **F_{cr}** : | *584.11* | kp/cm²

ii) Cuando: $F_e < 0.44F_y$

$$F_{cr}=0.877F_e$$

Donde:

F_y: Límite elástico mínimo especificado del acero de las barras | **F_y** : | *2548.42* | kp/cm²

F_e: Tensión crítica elástica de pandeo, tomada como la menor de: | **F_e** : | *666.03* | kp/cm²

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2}$$

F_{ex} :	*12580.55*	kp/cm²
F_{ey} :	*666.03*	kp/cm²

Donde:

E: Módulo de elasticidad del acero | **E** : | *2038735.98* | kp/cm²

K: Factor de longitud efectiva. | **K_x** : | *1.00*

K_y : | *1.00*

L: Longitud de la barra | **L** : | *3520* | mm

r: Radio de giro dominante | **r_x** : | *8.80* | cm

r_y : | *2.03* | cm

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

Donde:

I: Momento de inercia | **I_x** : | *3060.00* | cm4

I_y : | *162.00* | cm4

A: Área total de la sección transversal de la barra. | **A** : | *39.50* | cm²

Resistencia a flexión eje X (Capítulo F)

Todas las secciones deben cumplir con las especificaciones LRFD desarrolladas en Capítulo F de ANSI/AISC 360-05 (LRFD).
Se debe satisfacer el siguiente criterio:

$$\eta_M = \frac{M_r}{M_c} \leq 1$$

η_M : | ***0.198*** | ✓

El momento flector solicitante de cálculo pésimo, M_r, se produce en el nudo N57, para la combinacíon de acciones 1.4·PP+1.4·CM.
Donde:

M_r: Resistencia a flexión requerida para las combinaciones de carga LRFD | **M_r** : | *1.458* | t·m

M_c: Resistencia de diseño a flexión | **M_c** : 7.354 t·m

$M_c = \varphi_b M_n$

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 2, Sección 1 | **M_n** : 8.171 t·m

1. Fluencia

$M_n = M_p = F_y Z_x$ | **M_n** : 8.171 t·m

Donde:

F_y: Límite elástico mínimo especificado | **F_y** : 2548.42 kp/cm²

Z_x: Módulo resistente plástico respecto al eje X | **Z_x** : 320.63 cm³

2. Pandeo lateral

a) Si $L_b \leq L_p$:, el estado límite de pandeo lateral no es de aplicación

Donde:

L_b: Distancia entre puntos de arriostramiento al desplazamiento lateral del ala comprimida o de la torsión de la sección transversal | **L_b** : 0 mm

$L_p = 1.76 r_y \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ | **L_p** : 1008.13 mm

Donde:

E: Módulo de elasticidad del acero | **E** : 2038735.98 kp/cm²

F_y: Límite elástico mínimo especificado | **F_y** : 2548.42 kp/cm²

$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}}$ | **r_y** : 2.03 cm

Donde:

I_y: Momento de inercia respecto al eje Y | **I_y** : 162.00 cm4

A: Área total de la sección transversal de la barra. | **A** : 39.50 cm²

Resistencia a flexión eje Y (Capítulo F)

Todas las secciones deben cumplir con las especificaciones LRFD desarrolladas en Capítulo F de ANSI/AISC 360-05 (LRFD).

Se debe satisfacer el siguiente criterio:

$\eta_M = \frac{M_r}{M_c} \leq 1$ | **η_M** < **0.001** ✓

El momento flector solicitante de cálculo pésimo, M_r, se produce en el nudo N57, para la combinacíon de acciones 1.4·PP+1.4·CM.

Donde:

M_r: Resistencia a flexión requerida para las combinaciones de carga LRFD	**M_r** :	*0.000*	t·m
M_c: Resistencia de diseño a flexión	**M_c** :	*1.213*	t·m

$$M_c = \varphi_b M_n$$

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 6, Sección 1	**M_n** :	*1.348*	t·m

1. Fluencia

$$M_n = M_p = F_y Z_y \leq 1.6 F_y S_y$$

M_n : *1.348* t·m

Donde:

F_y: Límite elástico mínimo especificado	**F_y** :	*2548.42*	kp/cm²
Z_y: Módulo resistente plástico respecto al eje Y	**Z_y** :	*56.20*	cm³
S_y: Módulo resistente elástico respecto al eje Y			

$$S_y = \frac{I_y}{x}$$

S_y : *33.06* cm³

Donde:

I_y: Momento de inercia respecto al eje Y	**I_y** :	*162.00*	cm4
x: Distancia a la fibra extrema en flexión desde el baricentro	**x** :	*49.00*	mm

2. Pandeo local del ala

a) Para secciones con alas compactas el estado límite de fluencia es de aplicación

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 360-05 (LRFD).

Se debe satisfacer el siguiente criterio:

$$\eta_v = \frac{V_r}{V_c} \leq 1$$

η_V : **0.034** ✓

El esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_r se produce en el nudo N57, para la combinación de hipótesis 1.4·PP+1.4·CM.

Donde:

V_r: Resistencia a cortante requerida para las combinaciones de carga LRFD — V_r : *0.933* t

V_c: Resistencia de diseño a cortante

$$V_c = \varphi_V V_n$$

V_c : *27.248* t

La resistencia de diseño a cortante viene dada por:

Donde:

En la Sección G2.1 a:

φ_v: Factor de resistencia a cortante — φ_v : *1.00*

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

para almas de secciones con simetría simple o doble y en U sometidas a cortante en el plano del alma (ANSI/AISC 360-05 (LRFD), Capítulo G - G2).

$$V_n = 0.6 F_y A_w C_v$$

V_n : *27.248* t

Donde:

F_y: Límite elástico mínimo especificado — F_y : *2548.42* kp/cm²

$$A_w = d t_w$$

A_w : *17.82* cm²

Donde:

d: Canto total — **d** : *220.00* mm

t_w: Espesor del alma — t_w : *8.10* mm

1. Resistencia nominal a cortante

a) para almas de perfiles laminados de sección en doble T cuando se cumple:

$$\frac{h}{t_w} \leq 2.24\sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

C_v: Coeficiente de cortante del alma — C_v : *1.00*

Donde:

h: Distancia libre entre alas, menos el radio de acuerdo — **h** : *195.60* mm

E: Módulo de elasticidad del acero — **E** : *2038735.98* kp/cm²

2. Comprobación de rigidizadores transversales

(a) si $\frac{h}{t_w} \leq 2.46\sqrt{\frac{E}{F_y}}$

No son necesarios rigidizadores transversales.

Donde:

h: Distancia libre entre alas, menos el radio de acuerdo — **h** : *195.60* mm

t_w: Espesor del alma	t_w :	8.10	mm
E: Módulo de elasticidad del acero	E :	2038735.98	kp/cm²
F_y: Límite elástico mínimo especificado	F_y :	2548.42	kp/cm²

Esfuerzos combinados y torsión (Capítulo H)

Se debe cumplir el siguiente criterio:

$$\eta \leq 1$$

η : **0.229** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N57, para la combinación de acciones 1.4·PP+1.4·CM.
Donde:

Según el capítulo H3.3, las secciones abiertas sometidas a torsión junto con tensiones combinadas, han de satisfacer la siguiente condición:

$$\eta = \frac{T_r}{T_c} \leq 1$$

η : **0.013** ✓

Ya que la norma no proporciona una comprobación general para secciones abiertas sometidas a torsión combinada con otros esfuerzos, se considera que este elemento debe cumplir, además, los siguientes criterios para la tensión de Von Mises:

$$\eta = \left| \frac{f_a}{F_a} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \right| \leq 1$$

η : **0.229** ✓

$$\eta = \left| \frac{f_{Vx}}{F_{Vx}} + \frac{f_{Vy}}{F_{Vy}} + \frac{f_T}{F_T} \right| \leq 1$$

η : **0.006** ✓

$$\eta = \left[\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \right]^2 + \left[\frac{f_{Vx}}{F_{Vx}} + \frac{f_{Vy}}{F_{Vy}} + \frac{f_T}{F_T} \right]^2 \leq 1$$

η : **0.053** ✓

3. Resistencia de secciones no tubulares sometidas a torsión y tensiones combinadas

T_r: Resistencia a torsión requerida	T_r :	0.001	t·m
$T_c = \phi_T T_n$	T_c :	0.083	t·m

Donde:

φ_T: Factor de resistencia para torsión	φ_T :	0.90	

T_n: Resistencia nominal a torsión, definida como:

T_n :	0.093	t·m

Donde:

C: Módulo resistente a torsión

C :	13.91	cm³

c) El estado límite de pandeo

$$F_n = F_{cr}$$

F_n :	666.03	kp/cm²

Donde:

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2}$$

F_{ex} :	12580.55	kp/cm²
F_{ey} :	666.03	kp/cm²

Donde:

E: Módulo de elasticidad del acero	**E** :	2038735.98	kp/cm²
K: Factor de longitud efectiva.	K_x :	1.00	
	K_y :	1.00	
L: Longitud de la barra	**L** :	3520	mm
r: Radio de giro dominante	r_x :	8.80	cm
	r_y :	2.03	cm

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

Donde:

I: Momento de inercia	I_x :	3060.00	cm4
	I_y :	162.00	cm4
A: Área total de la sección transversal de la barra.	**A** :	39.50	cm²

$$F_e = \left[\frac{\pi^2 E C_w}{(K_z L)^2} + GJ\right]\frac{1}{I_x + I_y}$$

F_e :	∞	

Donde:

E: Módulo de elasticidad del acero	**E** :	2038735.98	kp/cm²
C_w: Constante de alabeo de la sección	C_w :	20752.92	cm6
K_z: Factor de longitud efectiva de pandeo alrededor del eje Z	K_z :	0.00	
L: Longitud de la barra	**L** :	3520	mm
G: Módulo de elasticidad transversal del acero	**G** :	815494.39	kp/cm²
J: Momento de inercia a torsión uniforme	**J** :	16.97	cm4
I_x: Momento de inercia respecto al eje X	I_x :	3060.00	cm4
I_y: Momento de inercia respecto al eje Y	I_y :	162.00	cm4

Comprobación de Von Mises (comprobación adicional)

f_a: Tensión normal debida al esfuerzo axil (tracción o compresión) calculada para la sección bruta.

f_a :	0.15	kp/cm²

Donde:

P_r: Resistencia requerida a compresión (para las combinaciones de carga LRFD).	P_r :	0.006	t
A: Área total de la sección transversal de la barra.	A :	39.50	cm²

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

$$f_{bx} = \frac{-y}{I_x} M_{rx}$$

f_{bx} :	524.20	kp/cm²

Donde:

M_{rx}: Resistencia requerida a flexión alrededor del eje x (para las combinaciones de carga LRFD).	M_{rx} :	1.458	t·m
I_x: Momento de inercia respecto al eje X	I_x :	3060.00	cm4
y: Coordenada y del punto pésimo respecto al centro de gravedad.	y :	-110.00	mm

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

$$f_{by} = \frac{-x}{I_y} M_{ry}$$

f_{by} :	0.90	kp/cm²

Donde:

M_{ry}: Resistencia requerida a flexión alrededor del eje y (para las combinaciones de carga LRFD).	M_{ry} :	0.000	t·m
I_y: Momento de inercia respecto al eje Y	I_y :	162.00	cm4
x: Coordenada x del punto pésimo respecto al centro de gravedad.	x :	-49.00	mm

f_{Vx}: Tensión tangencial debida a cortante en la dirección x.

$$f_{Vx} = -\frac{V_x Q_y}{I_y b}$$

f_{Vx} :	0.00	kp/cm²

Donde:

V_x: Resistencia requerida a cortante en la dirección x (para las combinaciones de carga LRFD).	V_x :	0.000	t
Q_y: Momento estático respecto del eje y de la sección parcial de área correspondiente al punto pésimo.	Q_y :	0.00	cm³
I_y: Momento de inercia respecto al eje Y	I_y :	162.00	cm4
b: Espesor del elemento en el punto pésimo.	b :	12.20	mm

f_{Vy}: Tensión tangencial debida a cortante en la dirección y.

$$f_{Vy} = -\frac{V_y Q_x}{I_x b}$$

f_{Vy} :	0.00	kp/cm²

Donde:

V_y: Resistencia requerida a cortante en la dirección y (para las combinaciones de carga LRFD).	V_y :	0.933	t
Q_x: Momento estático respecto del eje x de la sección parcial de área correspondiente al punto pésimo.	Q_x :	0.00	cm³
I_x: Momento de inercia respecto al eje X	I_x :	3060.00	cm4

b: Espesor del elemento en el punto pésimo. | **b** : 12.20 mm

f_T: Tensión tangencial debida a torsión.

$$f_T = \pm \frac{b}{J} T_r$$

f_T : -8.54 kp/cm²

Donde:

T_r: Resistencia requerida a torsión (para las combinaciones de carga LRFD). | **T_r** : 0.001 t·m

J: Momento de inercia a torsión uniforme | **J** : 16.97 cm4

b: Espesor del elemento en el punto pésimo. | **b** : 12.20 mm

F_a: Resistencia a compresión de la sección.

$$F_a = \phi_c F_{cr}$$

F_a : 525.70 kp/cm²

Donde:

φ_c: Factor de seguridad para compresión. | **φ_c** : 0.90

F_{cr}: Resistencia crítica de pandeo (calculada según el Capítulo E). | **F_{cr}** : 584.11 kp/cm²

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

$$F_{bx} = F_{by} = \phi_b F_y$$

F_{bx} : 2293.58 kp/cm²

F_{by} : 2293.58 kp/cm²

Donde:

φ_b: Factor de resistencia para flexión. | **φ_b** : 0.90

F_y: Límite elástico mínimo especificado del acero de las barras | **F_y** : 2548.42 kp/cm²

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

$$F_{Vx} = F_{Vy} = \phi_v F_y / \sqrt{3}$$

F_{Vx} : 1324.20 kp/cm²

F_{Vy} : 1324.20 kp/cm²

Donde:

φ_V: Factor de resistencia para cortante. | **φ_V** : 0.90

F_y: Límite elástico mínimo especificado del acero de las barras | **F_y** : 2548.42 kp/cm²

F_T: Resistencia a torsión de la sección.

$$F_T = \phi_T F_y / \sqrt{3}$$

F_T : 1324.20 kp/cm²

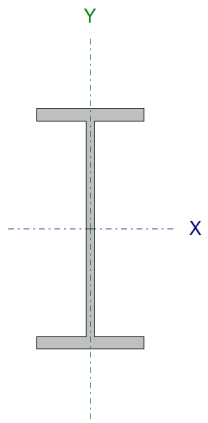
Donde:

φ_T: Factor de resistencia para torsión | **φ_T** : 0.90

F_y: Límite elástico mínimo especificado del acero de las barras | **F_y** : 2548.42 kp/cm²

Barra N56/N61

Perfil: IPN 220Material: Acero (A36)



Nudos		Longitud	Características mecánicas			
Inicial	Final	(m)	Área	I_x(1)	I_y(1)	I_t(2)
N56	N61	2.020	39.50	3060.00	162.00	16.97

Notas:

(1) Inercia respecto al eje indicado

	Pandeo		Pandeo lateral	
	Plano ZX	Plano ZY	Ala sup.	Ala inf.
β	1.00	1.00	0.00	0.00
L_K	2.020	2.020	0.000	0.000
C_b	-		1.000	

Notación:

β: Coeficiente de pandeo

Resistencia a tracción (Capítulo D)

Se debe satisfacer:

$$\eta_T = \frac{P_r}{P_c} \leq 1$$

$\eta_T <$ ***0.001*** ✓

El axil de tracción solicitante de cálculo pésimo P_r se produce para la combinación de hipótesis 1.4·PP+1.4·CM.

Donde:

P_r: Resistencia a tracción requerida para las combinaciones de carga LRFD — **P_r** : *0.037* t

P_c: Resistencia de diseño a tracción — **P_c** : *90.596* t

$$P_c = \varphi_t P_n$$

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:

$P_n = F_y A$ (D2 – 1) P_n : 100.663 t

Donde:

A: Área bruta de la sección de la barra. **A** : 39.50 cm²

F_y: Límite elástico mínimo especificado **F_y** : 2548.42 kp/cm²

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 360-05 (LRFD).
Se debe satisfacer el siguiente criterio:

$$\eta_M = \frac{M_r}{M_c} \leq 1$$

η_M : **0.179** ✓

El momento flector solicitante de cálculo pésimo, M_r, se produce en un punto situado a una distancia de 0.068 m del nudo N56, para la combinacíon de acciones 1.4·PP+1.4·CM.

Donde:

M_r: Resistencia a flexión requerida para las combinaciones de carga LRFD **M_r** : 1.318 t·m

M_c: Resistencia de diseño a flexión **M_c** : 7.354 t·m

$M_c = \varphi_b M_n$

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 2, Sección 1	M_n :	8.171	t·m

1. Fluencia

$M_n = M_p = F_y Z_x$

M_n :	8.171	t·m

Donde:

F_y: Límite elástico mínimo especificado	F_y :	2548.42	kp/cm²
Z_x: Módulo resistente plástico respecto al eje X	Z_x :	320.63	cm³

2. Pandeo lateral

a) Si $L_b \leq L_p$:, el estado límite de pandeo lateral no es de aplicación

Donde:

L_b: Distancia entre puntos de arriostramiento al desplazamiento lateral del ala comprimida o de la torsión de la sección transversal	L_b :	0	mm

$L_p = 1.76 r_y \sqrt{\frac{E}{F_y}}$

L_p :	1008.13	mm

Donde:

E: Módulo de elasticidad del acero	E :	2038735.98	kp/cm²
F_y: Límite elástico mínimo especificado	F_y :	2548.42	kp/cm²

$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}}$

r_y :	2.03	cm

Donde:

I_y: Momento de inercia respecto al eje Y	I_y :	162.00	cm4
A: Área total de la sección transversal de la barra.	A :	39.50	cm²

Resistencia a flexión eje Y (Capítulo F)

Todas las secciones deben cumplir con las especificaciones LRFD desarrolladas en Capítulo F de ANSI/AISC 360-05 (LRFD).

Se debe satisfacer el siguiente criterio:

$\eta_M = \frac{M_r}{M_c} \leq 1$

η_M : **0.013** ✓

El momento flector solicitante de cálculo pésimo, M_r, se produce en un punto situado a una distancia de 0.068 m del nudo N56, para la combinacíon de acciones 1.4·PP+1.4·CM.

Donde:

M_r: Resistencia a flexión requerida para las combinaciones de carga LRFD — **M_r** : *0.016* t·m

M_c: Resistencia de diseño a flexión — **M_c** : *1.213* t·m

$$M_c = \varphi_b M_n$$

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 6, Sección 1 — **M_n** : *1.348* t·m

1. Fluencia

$$M_n = M_p = F_y Z_y \leq 1.6 F_y S_y$$

M_n : *1.348* t·m

Donde:

F_y: Límite elástico mínimo especificado — **F_y** : *2548.42* kp/cm²

Z_y: Módulo resistente plástico respecto al eje Y — **Z_y** : *56.20* cm³

S_y: Módulo resistente elástico respecto al eje Y

$$S_y = \frac{I_y}{x}$$

S_y : *33.06* cm³

Donde:

I_y: Momento de inercia respecto al eje Y — **I_y** : *162.00* cm4

x: Distancia a la fibra extrema en flexión desde el baricentro — **x** : *49.00* mm

2. Pandeo local del ala

a) Para secciones con alas compactas el estado límite de fluencia es de aplicación

<u>**Resistencia a corte X**</u> (Capítulo G)

Todas las secciones deben cumplir con las especificaciones LRFD desarrolladas en Capítulo G de ANSI/AISC 360-05 (LRFD).
Se debe satisfacer el siguiente criterio:

$$\eta_v = \frac{V_r}{V_c} \leq 1$$

η_v < ***0.001*** ✓

El esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_r se produce para la combinación de hipótesis 1.4·PP+1.4·CM.

Donde:

V_r: Resistencia a cortante requerida para las combinaciones de carga LRFD — **V_r** : *0.016* t

V_c: Resistencia de diseño a cortante

$$V_c = \varphi_v V_n$$

V_c : *32.906* t

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:

para secciones con simetría simple y doble cargadas en el eje débil, la resistencia nominal a cortante se calcula de la siguiente forma (ANSI/AISC 360-05 (LRFD), Capítulo G - G-7).

$$V_n = 0.6 F_y A_w C_v$$

V_n : 36.563 t

Donde:

F_y: Límite elástico mínimo especificado — F_y : 2548.42 kp/cm²

$$A_w = 2 b_f t_f$$

A_w : 23.91 cm²

Donde:

b_f: Anchura total del ala — b_f : 98.00 mm

t_f: Espesor del ala — t_f : 12.20 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) $\frac{b}{t_f} \leq 1.10\sqrt{k_v \frac{E}{F_y}}$

$$C_v = 1.0$$

C_v : 1.00

Donde:

b: La mitad del ancho total del ala — **b** : 49.00 mm

t_f: Espesor del ala — t_f : 12.20 mm

E: Módulo de elasticidad del acero — **E** : 2038735.98 kp/cm²

K_v: Coeficiente de abolladura del alma — K_v : 1.20

Resistencia a corte Y (Capítulo G)

Todas las secciones deben cumplir con las especificaciones LRFD desarrolladas en Capítulo G de ANSI/AISC 360-05 (LRFD).
Se debe satisfacer el siguiente criterio:

$$\eta_v = \frac{V_r}{V_c} \leq 1$$

η_v : **0.033** ✓

El esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_r se produce en un punto situado a una distancia de 0.068 m del nudo N56, para la combinación de hipótesis 1.4·PP+1.4·CM.

Donde:

V_r: Resistencia a cortante requerida para las combinaciones de carga LRFD — **V_r** : *0.898* t

V_c: Resistencia de diseño a cortante

$V_c = \varphi_v V_n$ — **V_c** : *27.248* t

La resistencia de diseño a cortante viene dada por:

Donde:

En la Sección G2.1 a:

φ_v: Factor de resistencia a cortante — **φ_v** : *1.00*

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

para almas de secciones con simetría simple o doble y en U sometidas a cortante en el plano del alma (ANSI/AISC 360-05 (LRFD), Capítulo G - G2).

$V_n = 0.6F_yA_wC_v$ — **V_n** : *27.248* t

Donde:

F_y: Límite elástico mínimo especificado — **F_y** : *2548.42* kp/cm²

$A_w = dt_w$ — **A_w** : *17.82* cm²

Donde:

d: Canto total — **d** : *220.00* mm

t_w: Espesor del alma — **t_w** : *8.10* mm

1. Resistencia nominal a cortante

a) para almas de perfiles laminados de sección en doble T cuando se cumple:

$$\frac{h}{t_w} \leq 2.24\sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

C_v: Coeficiente de cortante del alma — **C_v** : *1.00*

Donde:

h: Distancia libre entre alas, menos el radio de acuerdo — **h** : *195.60* mm

E: Módulo de elasticidad del acero — **E** : *2038735.98* kp/cm²

2. Comprobación de rigidizadores transversales

(a) si $\frac{h}{t_w} \leq 2.46\sqrt{\frac{E}{F_y}}$

No son necesarios rigidizadores transversales.

Donde:

h: Distancia libre entre alas, menos el radio de acuerdo — **h** : *195.60* mm

t_w: Espesor del alma — **t_w** : *8.10* mm

E: Módulo de elasticidad del acero — **E** : *2038735.98* kp/cm²

F_y: Límite elástico mínimo especificado — **F_y** : *2548.42* kp/cm²

Esfuerzos combinados y torsión (Capítulo H)

Se debe cumplir el siguiente criterio:

$\eta \leq 1$ — η : **0.228** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.068 m del nudo N56, para la combinación de acciones 1.4·PP+1.4·CM.
Donde:

Según el capítulo H3.3, las secciones abiertas sometidas a torsión junto con tensiones combinadas, han de satisfacer la siguiente condición:

$$\eta = \frac{T_r}{T_c} \leq 1$$

η : **0.002** ✓

Ya que la norma no proporciona una comprobación general para secciones abiertas sometidas a torsión combinada con otros esfuerzos, se considera que este elemento debe cumplir, además, los siguientes criterios para la tensión de Von Mises:

$$\eta = \left| \frac{f_a}{F_a} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \right| \leq 1$$

η : **0.228** ✓

$$\eta = \left| \frac{f_{Vx}}{F_{Vx}} + \frac{f_{Vy}}{F_{Vy}} + \frac{f_T}{F_T} \right| \leq 1$$

η : **0.003** ✓

$$\eta = \left[\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \right]^2 + \left[\frac{f_{Vx}}{F_{Vx}} + \frac{f_{Vy}}{F_{Vy}} + \frac{f_T}{F_T} \right]^2 \leq 1$$

η : **0.052** ✓

3. Resistencia de secciones no tubulares sometidas a torsión y tensiones combinadas

T_r: Resistencia a torsión requerida — T_r : *0.000* t·m

$T_c = \phi_T T_n$ — T_c : *0.191* t·m

Donde:

φ_T: Factor de resistencia para torsión — φ_T : *0.90*

T_n: Resistencia nominal a torsión, definida como:

$T_n = F_n C$ — T_n : *0.213* t·m

Donde:

C: Módulo resistente a torsión — **C** : *13.91* cm³

b) El estado límite de fluencia bajo tensiones tangenciales por cortante

$F_n = 0.6 F_y$ — F_n : *1529.05* kp/cm²

Donde:

F_y: Límite elástico mínimo especificado del acero de las barras — **F_y** : *2548.42* kp/cm²

Comprobación de Von Mises (comprobación adicional)

f_a: Tensión normal debida al esfuerzo axil (tracción o compresión) calculada para la sección bruta.

$$f_a = \frac{P_r}{A}$$

f_a : *0.93* kp/cm²

Donde:

P_r: Resistencia requerida a compresión (para las combinaciones de carga LRFD). — **P_r** : *0.037* t

A: Área total de la sección transversal de la barra. — **A** : *39.50* cm²

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

$$f_{bx} = \frac{-y}{I_x} M_{rx}$$

f_{bx} : *473.77* kp/cm²

Donde:

M_{rx}: Resistencia requerida a flexión alrededor del eje x (para las combinaciones de carga LRFD). — **M_{rx}** : *1.318* t·m

I_x: Momento de inercia respecto al eje X — **I_x** : *3060.00* cm4

y: Coordenada y del punto pésimo respecto al centro de gravedad. — **y** : *-110.00* mm

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

$$f_{by} = \frac{-x}{I_y} M_{ry}$$

f_{by} : *48.01* kp/cm²

Donde:

M_{ry}: Resistencia requerida a flexión alrededor del eje y (para las combinaciones de carga LRFD). — **M_{ry}** : *0.016* t·m

I_y: Momento de inercia respecto al eje Y — **I_y** : *162.00* cm4

x: Coordenada x del punto pésimo respecto al centro de gravedad. — **x** : *-49.00* mm

f_{Vx}: Tensión tangencial debida a cortante en la dirección x.

$$f_{Vx} = -\frac{V_x Q_y}{I_y b}$$

f_{Vx} : *0.00* kp/cm²

Donde:

V_x: Resistencia requerida a cortante en la dirección x (para las combinaciones de carga LRFD). — **V_x** : *0.016* t

Q_y: Momento estático respecto del eje y de la sección parcial de área correspondiente al punto pésimo. — **Q_y** : *0.00* cm³

I_y: Momento de inercia respecto al eje Y — **I_y** : *162.00* cm4

b: Espesor del elemento en el punto pésimo. — **b** : *12.20* mm

f_{Vy}: Tensión tangencial debida a cortante en la dirección y.

$$f_{Vy} = -\frac{V_y Q_x}{I_x b}$$

f_{Vy} : *0.00* kp/cm²

Donde:

V_y: Resistencia requerida a cortante en la dirección y (para las combinaciones de carga LRFD). — V_y : *0.898* t

Q_x: Momento estático respecto del eje x de la sección parcial de área correspondiente al punto pésimo. — Q_x : *0.00* cm³

I_x: Momento de inercia respecto al eje X — I_x : *3060.00* cm4

b: Espesor del elemento en el punto pésimo. — **b** : *12.20* mm

f_T: Tensión tangencial debida a torsión.

$$f_T = \pm \frac{b}{J} T_r$$

f_T : *-3.73* kp/cm²

Donde:

T_r: Resistencia requerida a torsión (para las combinaciones de carga LRFD). — T_r : *0.000* t·m

J: Momento de inercia a torsión uniforme — **J** : *16.97* cm4

b: Espesor del elemento en el punto pésimo. — **b** : *12.20* mm

F_a: Resistencia a tracción de la sección.

$$F_a = \phi_t F_y$$

F_a : *2293.58* kp/cm²

Donde:

φ_t: Factor de seguridad para tracción. — φ_t : *0.90*

F_y: Límite elástico mínimo especificado del acero de las barras — F_y : *2548.42* kp/cm²

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

$$F_{bx} = F_{by} = \phi_b F_y$$

F_{bx} : *2293.58* kp/cm²

F_{by} : *2293.58* kp/cm²

Donde:

φ_b: Factor de resistencia para flexión. — φ_b : *0.90*

F_y: Límite elástico mínimo especificado del acero de las barras — F_y : *2548.42* kp/cm²

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

$$F_{Vx} = F_{Vy} = \phi_v F_y / \sqrt{3}$$

F_{Vx} : *1324.20* kp/cm²

F_{Vy} : *1324.20* kp/cm²

Donde:

φ_v: Factor de resistencia para cortante. — φ_v : *0.90*

F_y: Límite elástico mínimo especificado del acero de las barras — F_y : *2548.42* kp/cm²

F_T: Resistencia a torsión de la sección.

$$F_T = \phi_T F_y / \sqrt{3}$$

F_T : *1324.20* kp/cm²

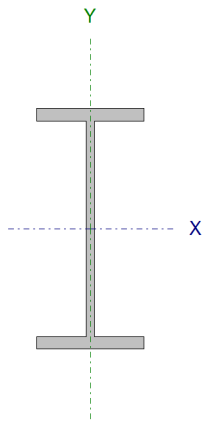
Donde:

φ_T: Factor de resistencia para torsión — φ_T : *0.90*

F_y: Límite elástico mínimo especificado del acero de las barras — F_y : *2548.42* kp/cm²

Barra N58/N59

Perfil: IPN 220Material: Acero (A36)



Nudos		Longitud	Características mecánicas			
Inicial	Final	(m)	Área	I_x(1)	I_y(1)	I_t(2)
N58	N59	2.020	39.50	3060.00	162.00	16.97

Notas:

(1) Inercia respecto al eje indicado

	Pandeo		Pandeo lateral	
	Plano ZX	Plano ZY	Ala sup.	Ala inf.
β	1.00	1.00	0.00	0.00
L_K	2.020	2.020	0.000	0.000
C_b	-		1.000	

Notación:

β: Coeficiente de pandeo

Resistencia a tracción (Capítulo D)

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

Limitación de esbeltez para compresión (Capítulo E)

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

$\lambda \leq 200$

λ: ***100*** ✓

Donde:

λ: Coeficiente de esbeltez

λ : 100

Donde:

L: Longitud de la barra — **L** : 1952 mm

K: Factor de longitud efectiva. — **K** : 1.03

r_y: Radio de giro respecto al eje Y — **r_y** : 2.03 cm

Donde:

$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}}$$

r_y : 2.03 cm

Donde:

I_y: Momento de inercia respecto al eje Y — **I_y** : 162.00 cm4

A: Área total de la sección transversal de la barra. — **A** : 39.50 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 360-05 (LRFD).
Se debe satisfacer el siguiente criterio:

$$\eta_T = \frac{P_r}{P_c} \leq 1$$

η_T < **0.001** ✓

El axil de compresión solicitante de cálculo pésimo P_r se produce para la combinación de hipótesis 1.4·PP+1.4·CM.

Donde:

P_r: Resistencia a compresión requerida para las combinaciones de carga LRFD — **P_r** : 0.018 t

P_c: Resistencia de diseño a compresión — **P_c** : 53.470 t

$$P_c = \varphi_p P_n$$

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-A: — **P_n** : 59.411 t

$$P_n = F_{cr} A$$

para el pandeo por flexión de secciones con elementos compactos y no compactos (ANSI/AISC 360-05 (LRFD), Capítulo E - E3-A).

Donde:

A: Área bruta de la sección de la barra. | **A** : | *39.50* | cm²

F_{cr}: Tensión de pandeo por flexión, tomada como: | **F_{cr}** : | *1504.07* | kp/cm²

i) Cuando: $F_e \geq 0.44F_y$

$$F_{cr} = \left[0.658^{\frac{F_y}{F_e}}\right]F_y$$

Donde:

F_y: Límite elástico mínimo especificado del acero de las barras | **F_y** : | *2548.42* | kp/cm²

F_e: Tensión crítica elástica de pandeo, tomada como la menor de: | **F_e** : | *2022.85* | kp/cm²

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2}$$

F_{ex} :	*38209.44*	kp/cm²
F_{ey} :	*2022.85*	kp/cm²

Donde:

E: Módulo de elasticidad del acero | **E** : | *2038735.98* | kp/cm²

K: Factor de longitud efectiva. | **K_x** : | *1.03*

K_y :	*1.03*	
L: Longitud de la barra	**L** :	*1952*	mm
r: Radio de giro dominante	**r_x** :	*8.80*	cm
	r_y :	*2.03*	cm

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

Donde:

I: Momento de inercia | **I_x** : | *3060.00* | cm4

I_y :	*162.00*	cm4
A: Área total de la sección transversal de la barra.	**A** :	*39.50*	cm²

Resistencia a flexión eje X (Capítulo F)

Todas las secciones deben cumplir con las especificaciones LRFD desarrolladas en Capítulo F de ANSI/AISC 360-05 (LRFD).
Se debe satisfacer el siguiente criterio:

$$\eta_M = \frac{M_r}{M_c} \leq 1$$

η_M : ***0.184*** ✓

El momento flector solicitante de cálculo pésimo, M_r, se produce en un punto situado a una distancia de 0.068 m del nudo N58, para la combinacíon de acciones 1.4·PP+1.4·CM.

Donde:

M_r: Resistencia a flexión requerida para las combinaciones de carga LRFD	**M_r** :	*1.352*	t·m
M_c: Resistencia de diseño a flexión	**M_c** :	*7.354*	t·m

$$M_c = \varphi_b M_n$$

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 2, Sección 1	**M_n** :	*8.171*	t·m

1. Fluencia

$$M_n = M_p = F_y Z_x$$

M_n : *8.171* t·m

Donde:

F_y: Límite elástico mínimo especificado	**F_y** :	*2548.42*	kp/cm²
Z_x: Módulo resistente plástico respecto al eje X	**Z_x** :	*320.63*	cm³

2. Pandeo lateral

a) Si $L_b \leq L_p$:, el estado límite de pandeo lateral no es de aplicación

Donde:

L_b: Distancia entre puntos de arriostramiento al desplazamiento lateral del ala comprimida o de la torsión de la sección transversal	**L_b** :	*0*	mm

$$L_p = 1.76 r_y \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

L_p : *1008.13* mm

Donde:

E: Módulo de elasticidad del acero	**E** :	*2038735.98*	kp/cm²
F_y: Límite elástico mínimo especificado	**F_y** :	*2548.42*	kp/cm²

$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}}$$

r_y : *2.03* cm

Donde:

I_y: Momento de inercia respecto al eje Y	**I_y** :	*162.00*	cm4
A: Área total de la sección transversal de la barra.	**A** :	*39.50*	cm²

Resistencia a flexión eje Y (Capítulo F)

Todas las secciones deben cumplir con las especificaciones LRFD desarrolladas en Capítulo F de ANSI/AISC 360-05 (LRFD).

Se debe satisfacer el siguiente criterio:

$$n_{..} = \frac{M_r}{\ldots} < 1$$

η_M : **0.009** ✓

El momento flector solicitante de cálculo pésimo, M_r, se produce en el nudo N59, para la combinacíon de acciones 1.4·PP+1.4·CM.

Donde:

M_r: Resistencia a flexión requerida para las combinaciones de carga LRFD — **M_r** : *0.011* t·m

M_c: Resistencia de diseño a flexión — **M_c** : *1.213* t·m

$$M_c = \varphi_b M_n$$

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 6, Sección 1 — **M_n** : *1.348* t·m

1. Fluencia

$$M_n = M_p = F_y Z_y \leq 1.6 F_y S_y$$

M_n : *1.348* t·m

Donde:

F_y: Límite elástico mínimo especificado — **F_y** : *2548.42* kp/cm²

Z_y: Módulo resistente plástico respecto al eje Y — **Z_y** : *56.20* cm³

S_y: Módulo resistente elástico respecto al eje Y

$$S_y = \frac{I_y}{x}$$

S_y : *33.06* cm³

Donde:

I_y: Momento de inercia respecto al eje Y — **I_y** : *162.00* cm4

x: Distancia a la fibra extrema en flexión desde el baricentro — **x** : *49.00* mm

2. Pandeo local del ala

a) Para secciones con alas compactas el estado límite de fluencia es de aplicación

Resistencia a corte X (Capítulo G)

Todas las secciones deben cumplir con las especificaciones LRFD desarrolladas en Capítulo G de ANSI/AISC 360-05 (LRFD).

Se debe satisfacer el siguiente criterio:

$$\eta_v = \frac{V_r}{V_c} \leq 1$$

η_V < **0.001** ✓

El esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_r se produce para la combinación de hipótesis 1.4·PP+1.4·CM.

Donde:

V_r: Resistencia a cortante requerida para las combinaciones de carga LRFD — **V_r** : *0.012* t

V_c: Resistencia de diseño a cortante

$V_c = \varphi_v V_n$ — **V_c** : *32.906* t

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:

para secciones con simetría simple y doble cargadas en el eje débil, la resistencia nominal a cortante se calcula de la siguiente forma (ANSI/AISC 360-05 (LRFD), Capítulo G - G-7).

$V_n = 0.6 F_y A_w C_v$ — **V_n** : *36.563* t

Donde:

F_y: Límite elástico mínimo especificado — **F_y** : *2548.42* kp/cm²

$A_w = 2 b_f t_f$ — **A_w** : *23.91* cm²

Donde:

b_f: Anchura total del ala — **b_f** : *98.00* mm

t_f: Espesor del ala — **t_f** : *12.20* 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) $\frac{b}{t_f} \leq 1.10 \sqrt{k_v \frac{E}{F_y}}$

$C_v = 1.0$ — **C_v** : *1.00*

Donde:

b: La mitad del ancho total del ala — **b** : *49.00* mm

t_f: Espesor del ala — **t_f** : *12.20* mm

E: Módulo de elasticidad del acero — **E** : *2038735.98* kp/cm²

K_v: Coeficiente de abolladura del alma — **K_v** : *1.20*

Resistencia a corte Y (Capítulo G)

Todas las secciones deben cumplir con las especificaciones LRFD desarrolladas en Capítulo G de ANSI/AISC 360-05 (LRFD).
Se debe satisfacer el siguiente criterio:

$n = \frac{V_r}{} \leq 1$

η_V : **0.027** ✓

El esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_r se produce en un punto situado a una distancia de 0.068 m del nudo N58, para la combinación de hipótesis 1.4·PP+1.4·CM.

Donde:

V_r: Resistencia a cortante requerida para las combinaciones de carga LRFD — V_r : *0.741* t

V_c: Resistencia de diseño a cortante

$V_c = \varphi_V V_n$ — V_c : *27.248* t

La resistencia de diseño a cortante viene dada por:

Donde:

En la Sección G2.1 a:

φ_v: Factor de resistencia a cortante — φ_v : *1.00*

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

para almas de secciones con simetría simple o doble y en U sometidas a cortante en el plano del alma (ANSI/AISC 360-05 (LRFD), Capítulo G - G2).

$V_n = 0.6F_yA_wC_v$ — V_n : *27.248* t

Donde:

F_y: Límite elástico mínimo especificado — F_y : *2548.42* kp/cm²

$A_w = dt_w$ — A_w : *17.82* cm²

Donde:

d: Canto total — **d** : *220.00* mm

t_w: Espesor del alma — t_w : *8.10* mm

1. Resistencia nominal a cortante

a) para almas de perfiles laminados de sección en doble T cuando se cumple:

$$\frac{h}{t_w} \le 2.24\sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

C_v: Coeficiente de cortante del alma — C_v : *1.00*

Donde:

h: Distancia libre entre alas, menos el radio de acuerdo — **h** : *195.60* mm

E: Módulo de elasticidad del acero — **E** : *2038735.98* kp/cm²

2. Comprobación de rigidizadores transversales

(a) si $\frac{h}{t_w} \le 2.46\sqrt{\frac{E}{F_y}}$

No son necesarios rigidizadores transversales.

Donde:

h: Distancia libre entre alas, menos el radio de acuerdo — **h** : *195.60* mm

t_w: Espesor del alma — t_w : *8.10* mm

E: Módulo de elasticidad del acero — **E** : *2038735.98* kp/cm²

F_y: Límite elástico mínimo especificado F_y : 2548.42 kp/cm²

Esfuerzos combinados y torsión (Capítulo H)

Se debe cumplir el siguiente criterio:

$$\eta \leq 1$$

η : **0.227** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.068 m del nudo N58, para la combinación de acciones 1.4·PP+1.4·CM.
Donde:

Según el capítulo H3.3, las secciones abiertas sometidas a torsión junto con tensiones combinadas, han de satisfacer la siguiente condición:

$$\eta = \frac{T_r}{T_c} \leq 1$$

η : **0.005** ✓

Ya que la norma no proporciona una comprobación general para secciones abiertas sometidas a torsión combinada con otros esfuerzos, se considera que este elemento debe cumplir, además, los siguientes criterios para la tensión de Von Mises:

$$\eta = \left| \frac{f_a}{F_a} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \right| \leq 1$$

η : **0.227** ✓

$$\eta = \left| \frac{f_{Vx}}{F_{Vx}} + \frac{f_{Vy}}{F_{Vy}} + \frac{f_T}{F_T} \right| \leq 1$$

η : **0.006** ✓

$$\eta = \left[\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \right]^2 + \left[\frac{f_{Vx}}{F_{Vx}} + \frac{f_{Vy}}{F_{Vy}} + \frac{f_T}{F_T} \right]^2 \leq 1$$

η : **0.051** ✓

3. Resistencia de secciones no tubulares sometidas a torsión y tensiones combinadas

T_r: Resistencia a torsión requerida T_r : 0.001 t·m

$$T_c = \phi_T T_n$$

T_c : 0.191 t·m

Donde:

φ_T: Factor de resistencia para torsión φ_T : 0.90

T_n: Resistencia nominal a torsión, definida como:

$$T_n = F_n C$$

T_n : 0.213 t·m

Donde:

C: Módulo resistente a torsión — **C** : *13.91* cm³

b) El estado límite de fluencia bajo tensiones tangenciales por cortante

$F_n = 0.6F_y$ — F_n : *1529.05* kp/cm²

Donde:

F_y: Límite elástico mínimo especificado del acero de las barras — F_y : *2548.42* kp/cm²

Comprobación de Von Mises (comprobación adicional)

f_a: Tensión normal debida al esfuerzo axil (tracción o compresión) calculada para la sección bruta.

$f_a = \frac{P_r}{A}$ — f_a : *0.46* kp/cm²

Donde:

P_r: Resistencia requerida a compresión (para las combinaciones de carga LRFD). — P_r : *0.018* t

A: Área total de la sección transversal de la barra. — **A** : *39.50* cm²

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

$f_{bx} = \frac{-y}{I_x} M_{rx}$ — f_{bx} : *486.06* kp/cm²

Donde:

M_{rx}: Resistencia requerida a flexión alrededor del eje x (para las combinaciones de carga LRFD). — M_{rx} : *1.352* t·m

I_x: Momento de inercia respecto al eje X — I_x : *3060.00* cm4

y: Coordenada y del punto pésimo respecto al centro de gravedad. — **y** : *-110.00* mm

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

$f_{by} = \frac{-x}{I_y} M_{ry}$ — f_{by} : *33.39* kp/cm²

Donde:

M_{ry}: Resistencia requerida a flexión alrededor del eje y (para las combinaciones de carga LRFD). — M_{ry} : *0.011* t·m

I_y: Momento de inercia respecto al eje Y — I_y : *162.00* cm4

x: Coordenada x del punto pésimo respecto al centro de gravedad. — **x** : *-49.00* mm

f_{Vx}: Tensión tangencial debida a cortante en la dirección x.

$f_{Vx} = -\frac{V_x Q_y}{I_y b}$ — f_{Vx} : *0.00* kp/cm²

Donde:

V_x: Resistencia requerida a cortante en la dirección x (para las combinaciones de carga LRFD). — V_x : *0.012* t

Q_y: Momento estático respecto del eje y de la sección parcial de área correspondiente al punto pésimo. — Q_y : *0.00* cm³

I_y: Momento de inercia respecto al eje Y — I_y : *162.00* cm4

b: Espesor del elemento en el punto pésimo. — **b** : *12.20* mm

f_{Vy}: Tensión tangencial debida a cortante en la dirección y.

$$f_{Vy} = -\frac{V_y Q_x}{I_x b}$$

f_{Vy} : 0.00 kp/cm²

Donde:

V_y: Resistencia requerida a cortante en la dirección y (para las combinaciones de carga LRFD). — V_y : 0.741 t

Q_x: Momento estático respecto del eje x de la sección parcial de área correspondiente al punto pésimo. — Q_x : 0.00 cm³

I_x: Momento de inercia respecto al eje X — I_x : 3060.00 cm4

b: Espesor del elemento en el punto pésimo. — b : 12.20 mm

f_T: Tensión tangencial debida a torsión.

$$f_T = \pm\frac{b}{J}T_r$$

f_T : -7.44 kp/cm²

Donde:

T_r: Resistencia requerida a torsión (para las combinaciones de carga LRFD). — T_r : 0.001 t·m

J: Momento de inercia a torsión uniforme — J : 16.97 cm4

b: Espesor del elemento en el punto pésimo. — b : 12.20 mm

F_a: Resistencia a compresión de la sección.

$$F_a = \phi_c F_{cr}$$

F_a : 1353.67 kp/cm²

Donde:

φ_c: Factor de seguridad para compresión. — φ_c : 0.90

F_{cr}: Resistencia crítica de pandeo (calculada según el Capítulo E). — F_{cr} : 1504.07 kp/cm²

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

$$F_{bx} = F_{by} = \phi_b F_y$$

F_{bx} : 2293.58 kp/cm²

F_{by} : 2293.58 kp/cm²

Donde:

φ_b: Factor de resistencia para flexión. — φ_b : 0.90

F_y: Límite elástico mínimo especificado del acero de las barras — F_y : 2548.42 kp/cm²

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

$$F_{Vx} = F_{Vy} = \phi_v F_y / \sqrt{3}$$

F_{Vx} : 1324.20 kp/cm²

F_{Vy} : 1324.20 kp/cm²

Donde:

φ_V: Factor de resistencia para cortante. — φ_V : 0.90

F_y: Límite elástico mínimo especificado del acero de las barras — F_y : 2548.42 kp/cm²

F_T: Resistencia a torsión de la sección.

$$F_T = \phi_T F_y / \sqrt{3}$$

F_T : 1324.20 kp/cm²

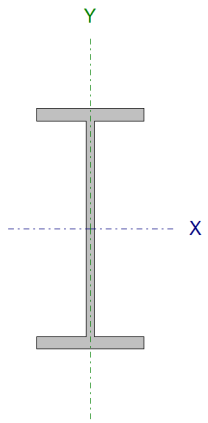
Donde:

φ_T: Factor de resistencia para torsión — φ_T : 0.90

F_y: Límite elástico mínimo especificado del acero de las barras — F_y : 2548.42 kp/cm²

Barra N50/N47

Perfil: IPN 220Material: Acero (A36)



Nudos		Longitud	Características mecánicas			
Inicial	Final	(m)	Área	I_x(1)	I_y(1)	I_t(2)
N50	N47	3.520	39.50	3060.00	162.00	16.97

Notas:

(1) Inercia respecto al eje indicado

	Pandeo		Pandeo lateral	
	Plano ZX	Plano ZY	Ala sup.	Ala inf.
β	1.00	1.00	0.00	0.00
L_K	3.520	3.520	0.000	0.000
C_b	-		1.000	

Notación:

β: Coeficiente de pandeo

Resistencia a tracción (Capítulo D)

Se debe satisfacer:

$$\eta_T = \frac{P_r}{P_c} \leq 1$$

$\eta_T <$ ***0.001*** ✓

El axil de tracción solicitante de cálculo pésimo P_r se produce para la combinación de hipótesis 1.4·PP+1.4·CM.

Donde:

P_r: Resistencia a tracción requerida para las combinaciones de carga LRFD — **P_r** : *0.007* t

P_c: Resistencia de diseño a tracción — **P_c** : *90.596* t

$$P_c = \varphi_t P_n$$

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:

$P_n = F_y A$ (D2 – 1) P_n : 100.663 t

Donde:

A: Área bruta de la sección de la barra. **A** : 39.50 cm²

F_y: Límite elástico mínimo especificado **F_y** : 2548.42 kp/cm²

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 360-05 (LRFD).
Se debe satisfacer el siguiente criterio:

$$\eta_M = \frac{M_r}{M_c} \leq 1$$

η_M : **0.196** ✓

El momento flector solicitante de cálculo pésimo, M_r, se produce en el nudo N47, para la combinacíon de acciones 1.4·PP+1.4·CM.
Donde:

M_r: Resistencia a flexión requerida para las combinaciones de carga LRFD **M_r** : 1.444 t·m

M_c: Resistencia de diseño a flexión **M_c** : 7.354 t·m

$M_c = \varphi_b M_n$

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 2, Sección 1	M_n :	8.171	t·m

1. Fluencia

$M_n = M_p = F_y Z_x$

M_n :	8.171	t·m

Donde:

F_y: Límite elástico mínimo especificado	F_y :	2548.42	kp/cm²
Z_x: Módulo resistente plástico respecto al eje X	Z_x :	320.63	cm³

2. Pandeo lateral

a) Si $L_b \leq L_p$:, el estado límite de pandeo lateral no es de aplicación

Donde:

L_b: Distancia entre puntos de arriostramiento al desplazamiento lateral del ala comprimida o de la torsión de la sección transversal	L_b :	0	mm

$L_p = 1.76 r_y \sqrt{\frac{E}{F_y}}$

L_p :	1008.13	mm

Donde:

E: Módulo de elasticidad del acero	E :	2038735.98	kp/cm²
F_y: Límite elástico mínimo especificado	F_y :	2548.42	kp/cm²

$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}}$

r_y :	2.03	cm

Donde:

I_y: Momento de inercia respecto al eje Y	I_y :	162.00	cm4
A: Área total de la sección transversal de la barra.	A :	39.50	cm²

Resistencia a flexión eje Y (Capítulo F)

Todas las secciones deben cumplir con las especificaciones LRFD desarrolladas en Capítulo F de ANSI/AISC 360-05 (LRFD).

Se debe satisfacer el siguiente criterio:

$\eta_M = \frac{M_r}{M_c} \leq 1$

$\eta_M <$ **0.001** ✓

El momento flector solicitante de cálculo pésimo, M_r, se produce en el nudo N47, para la combinacíon de acciones 1.4·PP+1.4·CM.

Donde:

M_r: Resistencia a flexión requerida para las combinaciones de carga LRFD — **M_r** : *0.000* t·m

M_c: Resistencia de diseño a flexión — **M_c** : *1.213* t·m

$$M_c = \varphi_b M_n$$

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 6, Sección 1 — **M_n** : *1.348* t·m

1. Fluencia

$$M_n = M_p = F_y Z_y \leq 1.6 F_y S_y$$

M_n : *1.348* t·m

Donde:

F_y: Límite elástico mínimo especificado — **F_y** : *2548.42* kp/cm²

Z_y: Módulo resistente plástico respecto al eje Y — **Z_y** : *56.20* cm³

S_y: Módulo resistente elástico respecto al eje Y

$$S_y = \frac{I_y}{x}$$

S_y : *33.06* cm³

Donde:

I_y: Momento de inercia respecto al eje Y — **I_y** : *162.00* cm4

x: Distancia a la fibra extrema en flexión desde el baricentro — **x** : *49.00* mm

2. Pandeo local del ala

a) Para secciones con alas compactas el estado límite de fluencia es de aplicación

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 360-05 (LRFD).
Se debe satisfacer el siguiente criterio:

$$n = \frac{V_r}{} \leq 1$$

η_V : **0.034** ✓

El esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_r se produce en el nudo N47, para la combinación de hipótesis 1.4·PP+1.4·CM.

Donde:

V_r: Resistencia a cortante requerida para las combinaciones de carga LRFD — V_r : *0.929* t

V_c: Resistencia de diseño a cortante

$V_c = \varphi_V V_n$ — V_c : *27.248* t

La resistencia de diseño a cortante viene dada por:

Donde:

En la Sección G2.1 a:

φ_v: Factor de resistencia a cortante — φ_v : *1.00*

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

para almas de secciones con simetría simple o doble y en U sometidas a cortante en el plano del alma (ANSI/AISC 360-05 (LRFD), Capítulo G - G2).

$V_n = 0.6F_yA_wC_v$ — V_n : *27.248* t

Donde:

F_y: Límite elástico mínimo especificado — F_y : *2548.42* kp/cm²

$A_w = dt_w$ — A_w : *17.82* cm²

Donde:

d: Canto total — **d** : *220.00* mm

t_w: Espesor del alma — t_w : *8.10* mm

1. Resistencia nominal a cortante

a) para almas de perfiles laminados de sección en doble T cuando se cumple:

$$\frac{h}{t_w} \le 2.24\sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

C_v: Coeficiente de cortante del alma — C_v : *1.00*

Donde:

h: Distancia libre entre alas, menos el radio de acuerdo — **h** : *195.60* mm

E: Módulo de elasticidad del acero — **E** : *2038735.98* kp/cm²

2. Comprobación de rigidizadores transversales

(a) si $\frac{h}{t_w} \le 2.46\sqrt{\frac{E}{F_y}}$

No son necesarios rigidizadores transversales.

Donde:

h: Distancia libre entre alas, menos el radio de acuerdo — **h** : *195.60* mm

t_w: Espesor del alma — t_w : *8.10* mm

E: Módulo de elasticidad del acero — **E** : *2038735.98* kp/cm²

F_y: Límite elástico mínimo especificado — F_y : 2548.42 kp/cm²

Esfuerzos combinados y torsión (Capítulo H)

Se debe cumplir el siguiente criterio:

$$\eta \leq 1$$

η : **0.227** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N47, para la combinación de acciones 1.4·PP+1.4·CM.
Donde:

Según el capítulo H3.3, las secciones abiertas sometidas a torsión junto con tensiones combinadas, han de satisfacer la siguiente condición:

$$\eta = \frac{T_r}{T_c} \leq 1$$

η : **0.010** ✓

Ya que la norma no proporciona una comprobación general para secciones abiertas sometidas a torsión combinada con otros esfuerzos, se considera que este elemento debe cumplir, además, los siguientes criterios para la tensión de Von Mises:

$$\eta = \left| \frac{f_a}{F_a} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \right| \leq 1$$

η : **0.227** ✓

$$\eta = \left| \frac{f_{Vx}}{F_{Vx}} + \frac{f_{Vy}}{F_{Vy}} + \frac{f_T}{F_T} \right| \leq 1$$

η : **0.005** ✓

$$\eta = \left[\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \right]^2 + \left[\frac{f_{Vx}}{F_{Vx}} + \frac{f_{Vy}}{F_{Vy}} + \frac{f_T}{F_T} \right]^2 \leq 1$$

η : **0.051** ✓

3. Resistencia de secciones no tubulares sometidas a torsión y tensiones combinadas

T_r: Resistencia a torsión requerida — T_r : 0.001 t·m

$T_c = \phi_T T_n$ — T_c : 0.083 t·m

Donde:

φ_T: Factor de resistencia para torsión — φ_T : 0.90

T_n: Resistencia nominal a torsión, definida como:

$T_n = F_n C$ — T_n : 0.093 t·m

Donde:

C: Módulo resistente a torsión — **C** : *13.91* cm³

c) El estado límite de pandeo

$F_n = F_{cr}$ — **F_n** : *666.03* kp/cm²

Donde:

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2}$$

F_{ex} : *12580.55* kp/cm²

F_{ey} : *666.03* kp/cm²

Donde:

E: Módulo de elasticidad del acero — **E** : *2038735.98* kp/cm²

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

K_y : *1.00*

L: Longitud de la barra — **L** : *3520* mm

r: Radio de giro dominante — **r_x** : *8.80* cm

r_y : *2.03* cm

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

Donde:

I: Momento de inercia — **I_x** : *3060.00* cm4

I_y : *162.00* cm4

A: Área total de la sección transversal de la barra. — **A** : *39.50* cm²

$$F_e = \left[\frac{\pi^2 E C_w}{(K_z L)^2} + GJ\right]\frac{1}{I_x + I_y}$$

F_e : ∞

Donde:

E: Módulo de elasticidad del acero — **E** : *2038735.98* kp/cm²

C_w: Constante de alabeo de la sección — **C_w** : *20752.92* cm6

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

L: Longitud de la barra — **L** : *3520* mm

G: Módulo de elasticidad transversal del acero — **G** : *815494.39* kp/cm²

J: Momento de inercia a torsión uniforme — **J** : *16.97* cm4

I_x: Momento de inercia respecto al eje X — **I_x** : *3060.00* cm4

I_y: Momento de inercia respecto al eje Y — **I_y** : *162.00* cm4

Comprobación de Von Mises (comprobación adicional)

f_a: Tensión normal debida al esfuerzo axil (tracción o compresión) calculada para la sección bruta.

$$f_a = \frac{P_r}{A}$$

f_a : *0.19* kp/cm²

Donde:

P_r: Resistencia requerida a compresión (para las combinaciones de carga LRFD).	P_r :	*0.007*	t
A: Área total de la sección transversal de la barra.	**A** :	*39.50*	cm²

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

$$f_{bx} = \frac{-y}{I_x} M_{rx}$$

f_{bx} :	*518.91*	kp/cm²

Donde:

M_{rx}: Resistencia requerida a flexión alrededor del eje x (para las combinaciones de carga LRFD).	M_{rx} :	*1.444*	t·m
I_x: Momento de inercia respecto al eje X	I_x :	*3060.00*	cm4
y: Coordenada y del punto pésimo respecto al centro de gravedad.	**y** :	*-110.00*	mm

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

$$f_{by} = \frac{-x}{I_y} M_{ry}$$

f_{by} :	*0.57*	kp/cm²

Donde:

M_{ry}: Resistencia requerida a flexión alrededor del eje y (para las combinaciones de carga LRFD).	M_{ry} :	*0.000*	t·m
I_y: Momento de inercia respecto al eje Y	I_y :	*162.00*	cm4
x: Coordenada x del punto pésimo respecto al centro de gravedad.	**x** :	*-49.00*	mm

f_{Vx}: Tensión tangencial debida a cortante en la dirección x.

$$f_{Vx} = -\frac{V_x Q_y}{I_y b}$$

f_{Vx} :	*0.00*	kp/cm²

Donde:

V_x: Resistencia requerida a cortante en la dirección x (para las combinaciones de carga LRFD).	V_x :	*0.000*	t
Q_y: Momento estático respecto del eje y de la sección parcial de área correspondiente al punto pésimo.	Q_y :	*0.00*	cm³
I_y: Momento de inercia respecto al eje Y	I_y :	*162.00*	cm4
b: Espesor del elemento en el punto pésimo.	**b** :	*12.20*	mm

f_{Vy}: Tensión tangencial debida a cortante en la dirección y.

$$f_{Vy} = -\frac{V_y Q_x}{I_x b}$$

f_{Vy} :	*0.00*	kp/cm²

Donde:

V_y: Resistencia requerida a cortante en la dirección y (para las combinaciones de carga LRFD).	V_y :	*0.929*	t
Q_x: Momento estático respecto del eje x de la sección parcial de área correspondiente al punto pésimo.	Q_x :	*0.00*	cm³
I_x: Momento de inercia respecto al eje X	I_x :	*3060.00*	cm4
b: Espesor del elemento en el punto pésimo.	**b** :	*12.20*	mm

f_T: Tensión tangencial debida a torsión.

$f_T = \pm \frac{b}{J} T_r$ — f_T : *-6.84* kp/cm²

Donde:

T_r: Resistencia requerida a torsión (para las combinaciones de carga LRFD). — T_r : *0.001* t·m

J: Momento de inercia a torsión uniforme — **J** : *16.97* cm4

b: Espesor del elemento en el punto pésimo. — **b** : *12.20* mm

F_a: Resistencia a tracción de la sección.

$F_a = \phi_t F_y$ — F_a : *2293.58* kp/cm²

Donde:

φ_t: Factor de seguridad para tracción. — φ_t : *0.90*

F_y: Límite elástico mínimo especificado del acero de las barras — F_y : *2548.42* kp/cm²

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

$F_{bx} = F_{by} = \phi_b F_y$ — F_{bx} : *2293.58* kp/cm² — F_{by} : *2293.58* kp/cm²

Donde:

φ_b: Factor de resistencia para flexión. — φ_b : *0.90*

F_y: Límite elástico mínimo especificado del acero de las barras — F_y : *2548.42* kp/cm²

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

$F_{Vx} = F_{Vy} = \phi_v F_y / \sqrt{3}$ — F_{Vx} : *1324.20* kp/cm² — F_{Vy} : *1324.20* kp/cm²

Donde:

φ_V: Factor de resistencia para cortante. — φ_V : *0.90*

F_y: Límite elástico mínimo especificado del acero de las barras — F_y : *2548.42* kp/cm²

F_T: Resistencia a torsión de la sección.

$F_T = \phi_T F_y / \sqrt{3}$ — F_T : *1324.20* kp/cm²

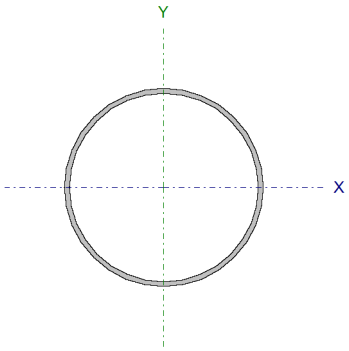
Donde:

φ_T: Factor de resistencia para torsión — φ_T : *0.90*

F_y: Límite elástico mínimo especificado del acero de las barras — F_y : *2548.42* kp/cm²

Barra N7 (P6)/N71

Perfil: tubo metalicoMaterial: Acero (ASTM A 36 36 ksi)



Nudos		Longitud	Características mecánicas			
Inicial	Final	(m)	Área	I_x(1)	I_y(1)	I_t(2)
N7 (P6)	N71	15.670	106.81	15448.00	15448.00	30895.99

Notas:

(1) Inercia respecto al eje indicado

	Pandeo		Pandeo lateral	
	Plano ZX	Plano ZY	Ala sup.	Ala inf.
β	1.00	1.00	0.00	0.00
L_K	15.670	15.670	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)

Limitaciones geométricas (B1)

Se debe satisfacer:

$D/t \leq 0.441(E/F_y)$ **D / t** : ***35.00*** ✓

Donde:

D: Diametro exterior del tubo circular. **D** : *350.00* mm

t: Espesor. **t** : *10.00* mm

$(D/t)_{Máx.} = 0.441(E/F_y)$ **(D / t)$_{Máx.}$** : *358.09*

Donde:

E: Módulo de Young. **E** : *2069317.02* kp/cm²

F_y: Límite elástico del acero. **F_y** : *2548.42* kp/cm²

Resistencia a tracción (Apéndices A & B, C2)

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

Resistencia a compresión (C4)

Se debe satisfacer:

$$\eta_C = \frac{P_f}{P_c} \leq 1$$

η_C : ***0.062*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N7 (P6), para la combinación de acciones 1.4·PP+1.4·CM.

Donde:

P_f: Resistencia a compresión requerida para las combinaciones de carga LRFD. **P_f** : *5.957* t

P_c: Resistencia de diseño a compresión.

$$P_c = \varphi_c P_n$$

P_c : *95.328* t

Donde:

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

$$P_n = A_e F_n$$

P_n : *112.151* t

Donde:

A_e: Área eficaz de la sección de un tubo circular sometida a compresión.

$$A_e = A_o + R(A - A_o)$$

A_e : *106.81* cm²

Donde:

$$R = \frac{F_y}{2F_e} \leq 1.0$$

R : *1.00*

$$A_o = \left[\frac{0.037}{(DF_y)/(tE)} + 0.667\right] A \leq A$$

A_o : *106.81* cm²

Donde:

A: Área de la sección bruta.	**A** :	*106.81*	cm²
D: Diametro exterior del tubo circular.	**D** :	*350.00*	mm
t: Espesor.	**t** :	*10.00*	mm

Para $\lambda_c \leq 1.5$

$$F_n = (0.658^{\lambda_c^2})F_y$$

F_n : *1049.96* kp/cm²

Donde:

F_y: Límite elástico del acero. **F_y** : *2548.42* kp/cm²

$$\lambda_c = \sqrt{\frac{F_y}{F_e}}$$

λ_c : *1.46*

Donde:

F_y: Límite elástico del acero. **F_y** : *2548.42* kp/cm²

F_e: Tension elástica de pandeo a flexión calculada según la Sección C4.1.1. **F_e** : *1202.91* kp/cm²

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}** : *1202.91* kp/cm²

Donde:

$$F_{ex} = \frac{(\pi r_x)^2 E}{(K_x L)^2}$$

F_{ex} : *1202.91* kp/cm²

Donde:

$$r_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}}$$

r_x : *120.26* mm

Donde:

I_x: Momento de inercia respecto al eje X. **I_x** : *15448.00* cm4

A: Área de la sección bruta. **A** : *106.81* cm²

E: Módulo de Young. **E** : *2069317.02* kp/cm²

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

L: Longitud de la barra. **L** : *15.670* m

$$F_{ey} = \frac{(\pi r_y)^2 E}{(K_y L)^2}$$

F_{ey} : *1202.91* kp/cm²

Donde:

$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}}$$

r_y : *120.26* mm

Donde:

I_y: Momento de inercia respecto al eje Y. **I_y** : *15448.00* cm4

A: Área de la sección bruta. **A** : *106.81* cm²

E: Módulo de Young. **E** : *2069317.02* kp/cm²

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

L: Longitud de la barra. **L** : *15.670* m

Resistencia a torsión (Comprobación adicional)

Se debe satisfacer:

$$\eta_{Tr} = \frac{Tr_f}{Tr_c} \leq 1$$

η_{Tr} < ***0.001*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.4·PP+1.4·CM.

Donde:

Tr_f: Resistencia requerida a torsión, utilizando las combinaciones de carga LRFD. **Tr_f** : *0.009* t·m

Tr_c: Resistencia de diseño a torsión.

$$Tr_c = \varphi_{Tr} Tr_n$$

Tr_c : *24.296* t·m

Donde:

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

Tr_n: Resistencia nominal a torsión.

$$Tr_n = F_n C$$

Tr_n : *26.995* t·m

Donde:

C: Módulo resistente a torsión.

$$C = \frac{\pi}{2r_2}\left(r_2^4 - r_1^4\right)$$

C : *1765.49* cm³

Donde:

r_2: Radio exterior del tubo circular. **r_2** : *175.00* mm

r_1: Radio interior del tubo circular. **r_1** : *165.00* mm

$$F_n = 0.6 F_y$$

F_n : *1529.05* kp/cm²

Donde:

F_y: Límite elástico del acero. **F_y** : *2548.42* kp/cm²

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

Se debe satisfacer:

$$\eta_B = \frac{M_f}{M_c} \leq 1$$

η_B : **0.001** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N71, para la combinación de acciones 1.4·PP+1.4·CM.

M_f: Resistencia a flexión crítica requerida para las combinaciones de carga LRFD. M_f : *0.028* t·m

M_c: Resistencia de diseño a flexión.

$$M_c = \varphi_b M_n$$

M_c : *26.714* t·m

Donde:

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

M_n: La resistencia a flexión nominal se calcula según el Apartado C3.1.3. M_n : *28.120* t·m

C3.1.3 Flexión.

$$M_n = F_c S_f$$

M_n : *28.120* t·m

Donde:

(a) Para $\frac{D}{t} \leq 0.0714 \frac{E}{F_y}$

$$F_c = 1.25 F_y$$

F_c : *3185.52* kp/cm²

Donde:

D: Diametro exterior del tubo circular. **D** : *350.00* mm

t: Espesor. **t** : *10.00* mm

E: Módulo de Young. **E** : *2069317.02* kp/cm²

F_y: Límite elástico del acero. F_y : *2548.42* kp/cm²

$$S_f = \frac{I}{r}$$

S_f : *882.74* cm³

Donde:

I: Momento de inercia. **I** : *15448.00* cm4

r: Radio de la sección circular. **r** : *175.00* mm

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

Se debe satisfacer:

$$\eta_B = \frac{M_f}{M_c} < 1$$

η_B : **0.049** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N71, para la combinación de acciones 1.4·PP+1.4·CM.

M_f: Resistencia a flexión crítica requerida para las combinaciones de carga LRFD. M_f : 1.299 t·m

M_c: Resistencia de diseño a flexión.

$M_c = \varphi_b M_n$ M_c : 26.714 t·m

Donde:

φ_b: Factor de resistencia para flexión. φ_b : 0.95

M_n: La resistencia a flexión nominal se calcula según el Apartado C3.1.3. M_n : 28.120 t·m

C3.1.3 Flexión.

$M_n = F_c S_f$ M_n : 28.120 t·m

Donde:

(a) Para $\frac{D}{t} \leq 0.0714 \frac{E}{F_y}$

$F_c = 1.25 F_y$ F_c : 3185.52 kp/cm²

Donde:

D: Diametro exterior del tubo circular. D : 350.00 mm

t: Espesor. t : 10.00 mm

E: Módulo de Young. E : 2069317.02 kp/cm²

F_y: Límite elástico del acero. F_y : 2548.42 kp/cm²

$S_f = \frac{I}{r}$ S_f : 882.74 cm³

Donde:

I: Momento de inercia. I : 15448.00 cm4

r: Radio de la sección circular. r : 175.00 mm

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

Se debe satisfacer:

$\eta_v = \frac{V_f}{V_c} \leq 1$ η_V : **0.002** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.4·PP+1.4·CM.

Donde:

V_f: Resistencia a cortante requerida para las combinaciones de carga LRFD. **V_f** : *0.144* t

V_c: Resistencia de diseño a cortante.

$$V_c = \varphi_v V_n$$ **V_c** : *68.492* t

Donde:

φ_v: Factor de resistencia para cortante. **φ_v** : *0.90*

V_n: Resistencia nominal a corte, calculada según el Capítulo G-6 ANSI/AISC 360-05 (LRFD), ya que la norma AISI S100-07 (2007) no contempla esta comprobación para tubos cilíndricos. **V_n** : *76.102* t

Para tubos redondos, la resistencia nominal a cortante se calcula de la siguiente forma (ANSI/AISC 360-05 (LRFD), Capítulo G - G-6).

$$V_n = \frac{F_{cr}A}{2}$$ **V_n** : *76.102* t

Donde:

F_{cr}: Tensión crítica, tomada como el mayor de los siguientes valores: **F_{cr}** : *1529.05* kp/cm²

$$F_{cr} \leq 0.6F_y$$

$$F_{cr} = \frac{1.6E}{\sqrt{\frac{L_v}{D}}\left(\frac{D}{t}\right)^{\frac{5}{4}}}$$ **F_{cr}** : *5308.42* kp/cm²

Donde:

E: Módulo de Young. **E** : *2069317.02* kp/cm²

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** : *15670.00* mm

D: Diametro exterior del tubo circular. **D** : *350.00* mm

t: Espesor de cálculo de la pared, tomada como 0.93 veces el espesor nominal. **t** : *9.30* mm

$$F_{cr} = \frac{0.78E}{\left(\frac{D}{t}\right)^{\frac{3}{2}}}$$ **F_{cr}** : *6991.08* kp/cm²

Donde:

E: Módulo de Young. **E** : *2069317.02* kp/cm²

D: Diametro exterior del tubo circular. **D** : *350.00* mm

t: Espesor de cálculo de la pared, tomada como 0.93 veces el espesor nominal. **t** : *9.30* mm

A: Área bruta del tubo hueco, basada en el espesor de diseño de la pared. **A** : *99.54* cm²

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

Se debe satisfacer:

$$\eta_v = \frac{V_f}{V_c} \leq 1$$

$\eta_V <$ **0.001** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.4·PP+1.4·CM.

Donde:

V_f: Resistencia a cortante requerida para las combinaciones de carga LRFD. — V_f : *0.002* t

V_c: Resistencia de diseño a cortante.

$$V_c = \varphi_v V_n$$

V_c : *68.492* t

Donde:

φ_v: Factor de resistencia para cortante. — φ_v : *0.90*

V_n: Resistencia nominal a corte, calculada según el Capítulo G-6 ANSI/AISC 360-05 (LRFD), ya que la norma AISI S100-07 (2007) no contempla esta comprobación para tubos cilíndricos. — V_n : *76.102* t

Para tubos redondos, la resistencia nominal a cortante se calcula de la siguiente forma (ANSI/AISC 360-05 (LRFD), Capítulo G - G-6).

$$V_n = \frac{F_{cr} A}{2}$$

V_n : *76.102* t

Donde:

F_{cr}: Tensión crítica, tomada como el mayor de los siguientes valores: — F_{cr} : *1529.05* kp/cm²

$$F_{cr} \leq 0.6 F_y$$

$$F_{cr} = \frac{1.6E}{\sqrt{\frac{L_v}{D}} \left(\frac{D}{t}\right)^{\frac{5}{4}}}$$

F_{cr} : *5308.42* kp/cm²

Donde:

E: Módulo de Young. — **E** : *2069317.02* kp/cm²

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** : *15670.00* mm

D: Diametro exterior del tubo circular. — **D** : *350.00* mm

t: Espesor de cálculo de la pared, tomada como 0.93 veces el espesor nominal. — **t** : *9.30* mm

$$F_{cr} = \frac{0.78E}{\left(\frac{D}{t}\right)^{\frac{3}{2}}}$$

F_{cr} : *6991.08* kp/cm²

Donde:

E: Módulo de Young. **E** : *2069317.02* kp/cm²

D: Diametro exterior del tubo circular. **D** : *350.00* mm

t: Espesor de cálculo de la pared, tomada como 0.93 veces el espesor nominal. **t** : *9.30* mm

A: Área bruta del tubo hueco, basada en el espesor de diseño de la pared. **A** : *99.54* cm²

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

Se debe satisfacer:

$$\eta_B = \frac{M_f}{M_c R} \leq 1$$

η_B : ***0.001*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N71, para la combinación de acciones 1.4·PP+1.4·CM.

Donde:

M_f: Resistencia requerida para flexión negativa. **M_f** : *0.028* t·m

M_c: Resistencia de diseño a flexión, según C3.1. **M_c** : *26.714* t·m

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

$$R = \frac{|f_{bx}|}{|f_{bx}| + |f_{Tr}|} \leq 1$$

R : *0.87*

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** : *0.49* mm

y: Coordenada Y del punto de cálculo respecto al centro de gravedad. **y** : *174.98* mm

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

$$f_{bx} = \frac{-y}{I_x} M_{fx}$$

f_{bx} : *-3.17* kp/cm²

Donde:

M_{fx}: Resistencia requerida a flexión respecto al eje X para las combinaciones de carga LRFD. **M_{fx}** : *0.028* t·m

I_x: Momento de inercia respecto al eje X. **I_x** : *15448.00* cm4

f_{Tr}: Tensión tangencial debida a la torsión. f_{Tr} : -0.47 kp/cm²

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

Se debe satisfacer:

$$\eta_B = \frac{M_f}{M_c R} \leq 1$$

η_B : **0.049** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N71, para la combinación de acciones 1.4·PP+1.4·CM.

Donde:

M_f: Resistencia requerida para flexión negativa. M_f : 1.299 t·m

M_c: Resistencia de diseño a flexión, según C3.1. M_c : 26.714 t·m

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

$$R = \frac{|f_{by}|}{|f_{by}| + |f_{Tr}|} \leq 1$$

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** : 174.98 mm

y: Coordenada Y del punto de cálculo respecto al centro de gravedad. **y** : 0.49 mm

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

$$f_{by} = \frac{-x}{I_y} M_{fy}$$

f_{by} : -147.14 kp/cm²

Donde:

M_{fy}: Resistencia requerida a flexión respecto al eje Y para las combinaciones de carga LRFD. M_{fy} : 1.299 t·m

I_y: Momento de inercia respecto al eje Y. I_y : 15448.00 cm4

f_{Tr}: Tensión tangencial debida a la torsión. f_{Tr} : -0.47 kp/cm²

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

Se debe satisfacer:

$\eta \leq 1$ $\eta <$ **0.001** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 13.711 m del nudo N7 (P6), para la combinación de acciones 1.4·PP+1.4·CM.

Donde:

(a) Para vigas sin rigidizadores transversales.

$$\eta = \left(\frac{M_{fx}}{M_{cx}R}\right)^2 + \left(\frac{V_{fy}}{V_{cy}}\right)^2$$ η : 0.000

Donde:

R: Factor de reducción de resistencia debido a la torsión, calculado según C3.6. **R** : 0.86

M_{fx}: Resistencia requerida a flexión respecto al eje X para las combinaciones de carga LRFD. **M_{fx}** : 0.025 t·m

M_{cx}: Resistencia de diseño a flexión alrededor del eje X. **M_{cx}** : 26.714 t·m

V_{fy}: Resistencia a cortante requerida en la dirección del eje Y para las combinaciones de carga LRFD. **V_{fy}** : 0.002 t

V_{cy}: Resistencia de diseño a cortante en la dirección del eje Y. **V_{cy}** : 68.492 t

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

Se debe satisfacer:

$\eta \leq 1$ η : **0.002** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N71, para la combinación de acciones 1.4·PP+1.4·CM.

Donde:

(a) Para vigas sin rigidizadores transversales.

$$\eta = \left(\frac{M_{fy}}{M_{cy}R}\right)^2 + \left(\frac{V_{fx}}{V_{cx}}\right)^2$$ η : 0.002

Donde:

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

M_{fy}: Resistencia requerida a flexión respecto al eje Y para las combinaciones de carga LRFD. **M_{fy}** : *1.299* t·m

M_{cy}: Resistencia de diseño a flexión alrededor del eje Y. **M_{cy}** : *26.714* t·m

V_{fx}: Resistencia a cortante requerida en la dirección del eje X para las combinaciones de carga LRFD. **V_{fx}** : *0.144* t

V_{cx}: Resistencia de diseño a cortante en la dirección del eje X. **V_{cx}** : *68.492* t

Resistencia a flexión combinada con tracción (C5.1.2)

No hay interacción entre axil de tracción y momento flector para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a flexión combinada con compresión (C5.2.2)

(b) Se debe satisfacer el siguiente criterio si $\frac{P_f}{\varphi_c P_n} \leq 0.15$

$$\eta = \frac{P_f}{\varphi_c P_n} + \frac{M_{fx}}{\varphi_b M_{nx} R_x} + \frac{M_{fy}}{\varphi_b M_{ny} R_y} \leq 1$$

η : ***0.099*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N7 (P6), para la combinación de acciones 1.4·PP+1.4·CM.

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** : *0.24*

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

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** : *5.957* t

P_n: Resistencia nominal a compresión según la Sección C4. P_n : 112.151 t

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} : 0.001 t·m

M_{nx}: Resistencia nominal a flexión alrededor del eje X según la Sección C3.1. M_{nx} : 28.120 t·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} : 0.963 t·m

M_{ny}: Resistencia nominal a flexión alrededor del eje Y según la Sección C3.1. M_{ny} : 28.120 t·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:

$$\eta = \left| \frac{f_a}{F_a} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \right| \leq 1$$

η : **0.108** ✓

$$\eta = \left| \frac{f_{Vx}}{F_{Vx}} + \frac{f_{Vy}}{F_{Vy}} + \frac{f_{Tr}}{F_{Tr}} \right| \leq 1$$

η < **0.001** ✓

$$\eta = \left[\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \right]^2 + \left[\frac{f_{Vx}}{F_{Vx}} + \frac{f_{Vy}}{F_{Vy}} + \frac{f_{Tr}}{F_{Tr}} \right]^2 \leq 1$$

η : **0.012** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N7 (P6), para la combinación de acciones 1.4·PP+1.4·CM.

Donde:

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

$$f_a = \frac{P_f}{A}$$

f_a : 55.77 kp/cm²

Donde:

P_f: Resistencia a compresión requerida para las combinaciones de carga LRFD. P_f : 5.957 t

A: Área de la sección bruta. **A** : 106.81 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** : *-174.98* mm

y: Coordenada Y del punto de cálculo respecto al centro de gravedad. **y** : *0.49* mm

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

$$f_{bx} = \frac{-y}{I_x} M_{fx}$$

f_{bx} : *0.00* kp/cm²

Donde:

M_{fx}: Resistencia requerida a flexión respecto al eje X para las combinaciones de carga LRFD. **M_{fx}** : *-0.001* t·m

I_x: Momento de inercia respecto al eje X. **I_x** : *15448.00* cm4

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

$$f_{by} = \frac{-x}{I_y} M_{fy}$$

f_{by} : *109.13* kp/cm²

Donde:

M_{fy}: Resistencia requerida a flexión respecto al eje Y para las combinaciones de carga LRFD. **M_{fy}** : *0.963* t·m

I_y: Momento de inercia respecto al eje Y. **I_y** : *15448.00* cm4

f_{Vx}: Tensión tangencial debida al esfuerzo cortante en la dirección del eje X. **f_{Vx}** : *0.00* kp/cm²

f_{Vy}: Tensión tangencial debida al esfuerzo cortante en la dirección del eje Y. **f_{Vy}** : *-0.03* kp/cm²

f_{Tr}: Tensión tangencial debida a la torsión. **f_{Tr}** : *-0.47* kp/cm²

F_a: Resistencia a compresión de la sección.

$$F_a = \varphi_c F_n$$

F_a : *892.47* kp/cm²

Donde:

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

F_n: Tensión crítica nominal de pandeo, calculada según el Capítulo C4. **F_n** : *1049.96* kp/cm²

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

$$F_{bx} = F_{by} = \varphi_b F_y$$

F_{bx} : *2421.00* kp/cm²

F_{by} : *2421.00* kp/cm²

Donde:

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

F_y: Límite elástico del acero. **F_y** : *2548.42* kp/cm²

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

$$F_{Vx} = F_{Vy} = \varphi_v F_y / \sqrt{3}$$

F_{Vx} : *1324.20* kp/cm²

F_{Vy} : *1324.20* kp/cm²

Donde:

φ_v: Factor de resistencia para cortante. φ_v : 0.90

F_y: Límite elástico del acero. F_y : 2548.42 kp/cm²

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

$$F_{Tr} = \varphi_{Tr} F_y / \sqrt{3}$$

F_{Tr} : 1324.20 kp/cm²

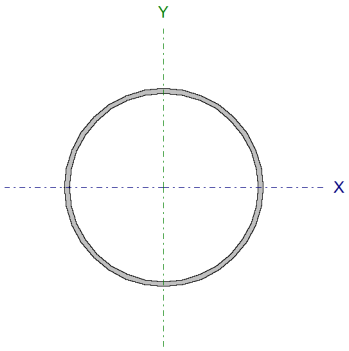
Donde:

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

F_y: Límite elástico del acero. F_y : 2548.42 kp/cm²

Barra N8 (P5)/N72

Perfil: tubo metalicoMaterial: Acero (ASTM A 36 36 ksi)



Nudos		Longitud	Características mecánicas			
Inicial	Final	(m)	Área	I_x(1)	I_y(1)	I_t(2)
N8 (P5)	N72	15.670	106.81	15448.00	15448.00	30895.99

Notas:

(1) Inercia respecto al eje indicado

	Pandeo		Pandeo lateral	
	Plano ZX	Plano ZY	Ala sup.	Ala inf.
β	1.00	1.00	0.00	0.00
L_K	15.670	15.670	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)

Limitaciones geométricas (B1)

Se debe satisfacer:

$D/t \leq 0.441(E/F_y)$ **D / t** : ***35.00*** ✓

Donde:

D: Diametro exterior del tubo circular. **D** : *350.00* mm

t: Espesor. **t** : *10.00* mm

$(D/t)_{Máx.} = 0.441(E/F_y)$ **(D / t)$_{Máx.}$** : *358.09*

Donde:

E: Módulo de Young. **E** : *2069317.02* kp/cm²

F_y: Límite elástico del acero. **F_y** : *2548.42* kp/cm²

Resistencia a tracción (Apéndices A & B, C2)

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

Resistencia a compresión (C4)

Se debe satisfacer:

$$\eta_C = \frac{P_f}{P_c} \leq 1$$

η_C : ***0.061*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N8 (P5), para la combinación de acciones 1.4·PP+1.4·CM.

Donde:

P_f: Resistencia a compresión requerida para las combinaciones de carga LRFD. **P_f** : *5.862* t

P_c: Resistencia de diseño a compresión.

$$P_c = \varphi_c P_n$$

P_c : *95.328* t

Donde:

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

$$P_n = A_e F_n$$

P_n : *112.151* t

Donde:

A_e: Área eficaz de la sección de un tubo circular sometida a compresión.

$$A_e = A_o + R(A - A_o)$$

A_e : *106.81* cm²

Donde:

$$R = \frac{F_y}{2F_e} \leq 1.0$$

R : *1.00*

$$A_o = \left[\frac{0.037}{(DF_y)/(tE)} + 0.667\right] A \leq A$$

A_o : *106.81* cm²

Donde:

A: Área de la sección bruta.	**A** :	*106.81*	cm²
D: Diametro exterior del tubo circular.	**D** :	*350.00*	mm
t: Espesor.	**t** :	*10.00*	mm

Para $\lambda_c \leq 1.5$

$$F_n = (0.658^{\lambda_c^2})F_y$$

F_n : *1049.96* kp/cm²

Donde:

F_y: Límite elástico del acero. **F_y** : *2548.42* kp/cm²

$$\lambda_c = \sqrt{\frac{F_y}{F_e}}$$

λ_c : *1.46*

Donde:

F_y: Límite elástico del acero. **F_y** : *2548.42* kp/cm²

F_e: Tension elástica de pandeo a flexión calculada según la Sección C4.1.1. **F_e** : *1202.91* kp/cm²

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}** : *1202.91* kp/cm²

Donde:

$$F_{ex} = \frac{(\pi r_x)^2 E}{(K_x L)^2}$$

F_{ex} : *1202.91* kp/cm²

Donde:

$$r_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}}$$

r_x : *120.26* mm

Donde:

I_x: Momento de inercia respecto al eje X. **I_x** : *15448.00* cm4

A: Área de la sección bruta. **A** : *106.81* cm²

E: Módulo de Young. **E** : *2069317.02* kp/cm²

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

L: Longitud de la barra. **L** : *15.670* m

$$F_{ey} = \frac{(\pi r_y)^2 E}{(K_y L)^2}$$

F_{ey} : *1202.91* kp/cm²

Donde:

$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}}$$

r_y : *120.26* mm

Donde:

I_y: Momento de inercia respecto al eje Y. **I_y** : *15448.00* cm4

A: Área de la sección bruta. **A** : *106.81* cm²

E: Módulo de Young. **E** : *2069317.02* kp/cm²

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

L: Longitud de la barra. **L** : *15.670* m

Resistencia a torsión (Comprobación adicional)

Se debe satisfacer:

$$\eta_{Tr} = \frac{Tr_f}{Tr_c} \leq 1$$

η_{Tr} < ***0.001*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.4·PP+1.4·CM.

Donde:

Tr_f: Resistencia requerida a torsión, utilizando las combinaciones de carga LRFD. **Tr_f** : *0.006* t·m

Tr_c: Resistencia de diseño a torsión.

$$Tr_c = \varphi_{Tr} Tr_n$$

Tr_c : *24.296* t·m

Donde:

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

Tr_n: Resistencia nominal a torsión.

$$Tr_n = F_n C$$

Tr_n : *26.995* t·m

Donde:

C: Módulo resistente a torsión.

$$C = \frac{\pi}{2r_2}\left(r_2^4 - r_1^4\right)$$

C : *1765.49* cm³

Donde:

r_2: Radio exterior del tubo circular. **r_2** : *175.00* mm

r_1: Radio interior del tubo circular. **r_1** : *165.00* mm

$$F_n = 0.6 F_y$$

F_n : *1529.05* kp/cm²

Donde:

F_y: Límite elástico del acero. **F_y** : *2548.42* kp/cm²

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

Se debe satisfacer:

$$\eta_B = \frac{M_f}{M_c} \leq 1$$

η_B : **0.001** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N8 (P5), para la combinación de acciones 1.4·PP+1.4·CM.

M_f: Resistencia a flexión crítica requerida para las combinaciones de carga LRFD. M_f : *0.013* t·m

M_c: Resistencia de diseño a flexión.

$$M_c = \varphi_b M_n$$

M_c : *26.714* t·m

Donde:

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

M_n: La resistencia a flexión nominal se calcula según el Apartado C3.1.3. M_n : *28.120* t·m

C3.1.3 Flexión.

$$M_n = F_c S_f$$

M_n : *28.120* t·m

Donde:

(a) Para $\frac{D}{t} \leq 0.0714 \frac{E}{F_y}$

$$F_c = 1.25 F_y$$

F_c : *3185.52* kp/cm²

Donde:

D: Diametro exterior del tubo circular. **D** : *350.00* mm

t: Espesor. **t** : *10.00* mm

E: Módulo de Young. **E** : *2069317.02* kp/cm²

F_y: Límite elástico del acero. F_y : *2548.42* kp/cm²

$$S_f = \frac{I}{r}$$

S_f : *882.74* cm³

Donde:

I: Momento de inercia. **I** : *15448.00* cm4

r: Radio de la sección circular. **r** : *175.00* mm

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

Se debe satisfacer:

$$\eta_B = \frac{M_f}{M_c} < 1$$

η_B : **0.044** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N72, para la combinación de acciones 1.4·PP+1.4·CM.

M_f: Resistencia a flexión crítica requerida para las combinaciones de carga LRFD. M_f : 1.168 t·m

M_c: Resistencia de diseño a flexión.

$M_c = \varphi_b M_n$ M_c : 26.714 t·m

Donde:

φ_b: Factor de resistencia para flexión. φ_b : 0.95

M_n: La resistencia a flexión nominal se calcula según el Apartado C3.1.3. M_n : 28.120 t·m

C3.1.3 Flexión.

$M_n = F_c S_f$ M_n : 28.120 t·m

Donde:

(a) Para $\frac{D}{t} \leq 0.0714 \frac{E}{F_y}$

$F_c = 1.25 F_y$ F_c : 3185.52 kp/cm²

Donde:

D: Diametro exterior del tubo circular. D : 350.00 mm

t: Espesor. t : 10.00 mm

E: Módulo de Young. E : 2069317.02 kp/cm²

F_y: Límite elástico del acero. F_y : 2548.42 kp/cm²

$S_f = \frac{I}{r}$ S_f : 882.74 cm³

Donde:

I: Momento de inercia. I : 15448.00 cm4

r: Radio de la sección circular. r : 175.00 mm

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

Se debe satisfacer:

$\eta_v = \frac{V_f}{V_c} \leq 1$ η_V : **0.002** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.4·PP+1.4·CM.

Donde:

V_f: Resistencia a cortante requerida para las combinaciones de carga LRFD. **V_f** : *0.130* t

V_c: Resistencia de diseño a cortante.

$$V_c = \varphi_v V_n$$ **V_c** : *68.492* t

Donde:

φ_v: Factor de resistencia para cortante. **φ_v** : *0.90*

V_n: Resistencia nominal a corte, calculada según el Capítulo G-6 ANSI/AISC 360-05 (LRFD), ya que la norma AISI S100-07 (2007) no contempla esta comprobación para tubos cilíndricos. **V_n** : *76.102* t

Para tubos redondos, la resistencia nominal a cortante se calcula de la siguiente forma (ANSI/AISC 360-05 (LRFD), Capítulo G - G-6).

$$V_n = \frac{F_{cr}A}{2}$$ **V_n** : *76.102* t

Donde:

F_{cr}: Tensión crítica, tomada como el mayor de los siguientes valores: **F_{cr}** : *1529.05* kp/cm²

$$F_{cr} \leq 0.6F_y$$

$$F_{cr} = \frac{1.6E}{\sqrt{\frac{L_v}{D}}\left(\frac{D}{t}\right)^{\frac{5}{4}}}$$ **F_{cr}** : *5308.42* kp/cm²

Donde:

E: Módulo de Young. **E** : *2069317.02* kp/cm²

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** : *15670.00* mm

D: Diametro exterior del tubo circular. **D** : *350.00* mm

t: Espesor de cálculo de la pared, tomada como 0.93 veces el espesor nominal. **t** : *9.30* mm

$$F_{cr} = \frac{0.78E}{\left(\frac{D}{t}\right)^{\frac{3}{2}}}$$ **F_{cr}** : *6991.08* kp/cm²

Donde:

E: Módulo de Young. **E** : *2069317.02* kp/cm²

D: Diametro exterior del tubo circular. **D** : *350.00* mm

t: Espesor de cálculo de la pared, tomada como 0.93 veces el espesor nominal. **t** : *9.30* mm

A: Área bruta del tubo hueco, basada en el espesor de diseño de la pared. **A** : *99.54* cm²

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

Se debe satisfacer:

$$\eta_v = \frac{V_f}{V_c} \leq 1$$

$\eta_V <$ **0.001** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.4·PP+1.4·CM.

Donde:

V_f: Resistencia a cortante requerida para las combinaciones de carga LRFD. — V_f : 0.001 t

V_c: Resistencia de diseño a cortante.

$$V_c = \varphi_v V_n$$

V_c : 68.492 t

Donde:

φ_v: Factor de resistencia para cortante. — φ_v : 0.90

V_n: Resistencia nominal a corte, calculada según el Capítulo G-6 ANSI/AISC 360-05 (LRFD), ya que la norma AISI S100-07 (2007) no contempla esta comprobación para tubos cilíndricos. — V_n : 76.102 t

Para tubos redondos, la resistencia nominal a cortante se calcula de la siguiente forma (ANSI/AISC 360-05 (LRFD), Capítulo G - G-6).

$$V_n = \frac{F_{cr} A}{2}$$

V_n : 76.102 t

Donde:

F_{cr}: Tensión crítica, tomada como el mayor de los siguientes valores: — F_{cr} : 1529.05 kp/cm²

$$F_{cr} \leq 0.6 F_y$$

$$F_{cr} = \frac{1.6E}{\sqrt{\frac{L_v}{D}} \left(\frac{D}{t}\right)^{\frac{5}{4}}}$$

F_{cr} : 5308.42 kp/cm²

Donde:

E: Módulo de Young. — E : 2069317.02 kp/cm²

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 : 15670.00 mm

D: Diametro exterior del tubo circular. — D : 350.00 mm

t: Espesor de cálculo de la pared, tomada como 0.93 veces el espesor nominal. — t : 9.30 mm

$$F_{cr} = \frac{0.78E}{\left(\frac{D}{t}\right)^{\frac{3}{2}}}$$

F_{cr} : 6991.08 kp/cm²

Donde:

E: Módulo de Young. **E** : *2069317.02* kp/cm²

D: Diametro exterior del tubo circular. **D** : *350.00* mm

t: Espesor de cálculo de la pared, tomada como 0.93 veces el espesor nominal. **t** : *9.30* mm

A: Área bruta del tubo hueco, basada en el espesor de diseño de la pared. **A** : *99.54* cm²

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

Se debe satisfacer:

$$\eta_B = \frac{M_f}{M_c R} \leq 1$$

η_B : ***0.001*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N8 (P5), para la combinación de acciones 1.4·PP+1.4·CM.

Donde:

M_f: Resistencia requerida para flexión positiva. **M_f** : *0.013* t·m

M_c: Resistencia de diseño a flexión, según C3.1. **M_c** : *26.714* t·m

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

$$R = \frac{|f_{bx}|}{|f_{bx}| + |f_{Tr}|} \leq 1$$

R : *0.81*

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** : *0.49* mm

y: Coordenada Y del punto de cálculo respecto al centro de gravedad. **y** : *174.98* mm

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

$$f_{bx} = \frac{-y}{I_x} M_{fx}$$

f_{bx} : *-1.52* kp/cm²

Donde:

M_{fx}: Resistencia requerida a flexión respecto al eje X para las combinaciones de carga LRFD. **M_{fx}** : *0.013* t·m

I_x: Momento de inercia respecto al eje X. **I_x** : *15448.00* cm4

f_{Tr}: Tensión tangencial debida a la torsión. f_{Tr} : -0.35 kp/cm²

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

Se debe satisfacer:

$$\eta_B = \frac{M_f}{M_c R} \leq 1$$

η_B : **0.044** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N72, para la combinación de acciones 1.4·PP+1.4·CM.

Donde:

M_f: Resistencia requerida para flexión negativa. M_f : 1.168 t·m

M_c: Resistencia de diseño a flexión, según C3.1. M_c : 26.714 t·m

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

$$R = \frac{|f_{by}|}{|f_{by}| + |f_{Tr}|} \leq 1$$

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** : 174.98 mm

y: Coordenada Y del punto de cálculo respecto al centro de gravedad. **y** : 0.49 mm

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

$$f_{by} = \frac{-x}{I_y} M_{fy}$$

f_{by} : -132.27 kp/cm²

Donde:

M_{fy}: Resistencia requerida a flexión respecto al eje Y para las combinaciones de carga LRFD. M_{fy} : 1.168 t·m

I_y: Momento de inercia respecto al eje Y. I_y : 15448.00 cm4

f_{Tr}: Tensión tangencial debida a la torsión. f_{Tr} : -0.35 kp/cm²

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

Se debe satisfacer:

$\eta \leq 1$ $\eta <$ **0.001** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.4·PP+1.4·CM.

Donde:

(a) Para vigas sin rigidizadores transversales.

$$\eta = \left(\frac{M_{fx}}{M_{cx}R}\right)^2 + \left(\frac{V_{fy}}{V_{cy}}\right)^2$$

η : 0.000

Donde:

R: Factor de reducción de resistencia debido a la torsión, calculado según C3.6. **R** : 0.81

M_{fx}: Resistencia requerida a flexión respecto al eje X para las combinaciones de carga LRFD. **M_{fx}** : 0.013 t·m

M_{cx}: Resistencia de diseño a flexión alrededor del eje X. **M_{cx}** : 26.714 t·m

V_{fy}: Resistencia a cortante requerida en la dirección del eje Y para las combinaciones de carga LRFD. **V_{fy}** : 0.001 t

V_{cy}: Resistencia de diseño a cortante en la dirección del eje Y. **V_{cy}** : 68.492 t

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

Se debe satisfacer:

$\eta \leq 1$ η : **0.002** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N72, para la combinación de acciones 1.4·PP+1.4·CM.

Donde:

(a) Para vigas sin rigidizadores transversales.

$$\eta = \left(\frac{M_{fy}}{M_{cy}R}\right)^2 + \left(\frac{V_{fx}}{V_{cx}}\right)^2$$

η : 0.002

Donde:

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

M_{fy}: Resistencia requerida a flexión respecto al eje Y para las combinaciones de carga LRFD. **M_{fy}** : *1.168* t·m

M_{cy}: Resistencia de diseño a flexión alrededor del eje Y. **M_{cy}** : *26.714* t·m

V_{fx}: Resistencia a cortante requerida en la dirección del eje X para las combinaciones de carga LRFD. **V_{fx}** : *0.130* t

V_{cx}: Resistencia de diseño a cortante en la dirección del eje X. **V_{cx}** : *68.492* t

Resistencia a flexión combinada con tracción (C5.1.2)

No hay interacción entre axil de tracción y momento flector para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a flexión combinada con compresión (C5.2.2)

(b) Se debe satisfacer el siguiente criterio si $\frac{P_f}{\varphi_c P_n} \leq 0.15$

$$\eta = \frac{P_f}{\varphi_c P_n} + \frac{M_{fx}}{\varphi_b M_{nx} R_x} + \frac{M_{fy}}{\varphi_b M_{ny} R_y} \leq 1$$

η : ***0.095*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N8 (P5), para la combinación de acciones 1.4·PP+1.4·CM.

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** : *0.81*

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

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** : *5.862* t

P_n: Resistencia nominal a compresión según la Sección C4. P_n : 112.151 t

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} : 0.013 t·m

M_{nx}: Resistencia nominal a flexión alrededor del eje X según la Sección C3.1. M_{nx} : 28.120 t·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} : 0.868 t·m

M_{ny}: Resistencia nominal a flexión alrededor del eje Y según la Sección C3.1. M_{ny} : 28.120 t·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:

$$\eta = \left| \frac{f_a}{F_a} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \right| \leq 1$$

η : **0.102** ✓

$$\eta = \left| \frac{f_{Vx}}{F_{Vx}} + \frac{f_{Vy}}{F_{Vy}} + \frac{f_{Tr}}{F_{Tr}} \right| \leq 1$$

η < **0.001** ✓

$$\eta = \left[\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \right]^2 + \left[\frac{f_{Vx}}{F_{Vx}} + \frac{f_{Vy}}{F_{Vy}} + \frac{f_{Tr}}{F_{Tr}} \right]^2 \leq 1$$

η : **0.010** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N8 (P5), para la combinación de acciones 1.4·PP+1.4·CM.

Donde:

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

$$f_a = \frac{P_f}{A}$$

f_a : 54.88 kp/cm²

Donde:

P_f: Resistencia a compresión requerida para las combinaciones de carga LRFD. P_f : 5.862 t

A: Área de la sección bruta. A : 106.81 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** : *-174.98* mm

y: Coordenada Y del punto de cálculo respecto al centro de gravedad. **y** : *-0.49* mm

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

$$f_{bx} = \frac{-y}{I_x} M_{fx}$$

f_{bx} : *0.00* kp/cm²

Donde:

M_{fx}: Resistencia requerida a flexión respecto al eje X para las combinaciones de carga LRFD. **M_{fx}** : *0.013* t·m

I_x: Momento de inercia respecto al eje X. **I_x** : *15448.00* cm4

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

$$f_{by} = \frac{-x}{I_y} M_{fy}$$

f_{by} : *98.35* kp/cm²

Donde:

M_{fy}: Resistencia requerida a flexión respecto al eje Y para las combinaciones de carga LRFD. **M_{fy}** : *0.868* t·m

I_y: Momento de inercia respecto al eje Y. **I_y** : *15448.00* cm4

f_{Vx}: Tensión tangencial debida al esfuerzo cortante en la dirección del eje X. **f_{Vx}** : *0.00* kp/cm²

f_{Vy}: Tensión tangencial debida al esfuerzo cortante en la dirección del eje Y. **f_{Vy}** : *-0.02* kp/cm²

f_{Tr}: Tensión tangencial debida a la torsión. **f_{Tr}** : *-0.35* kp/cm²

F_a: Resistencia a compresión de la sección.

$$F_a = \varphi_c F_n$$

F_a : *892.47* kp/cm²

Donde:

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

F_n: Tensión crítica nominal de pandeo, calculada según el Capítulo C4. **F_n** : *1049.96* kp/cm²

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

$$F_{bx} = F_{by} = \varphi_b F_y$$

F_{bx} : *2421.00* kp/cm²

F_{by} : *2421.00* kp/cm²

Donde:

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

F_y: Límite elástico del acero. **F_y** : *2548.42* kp/cm²

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

$$F_{Vx} = F_{Vy} = \varphi_v F_y / \sqrt{3}$$

F_{Vx} : *1324.20* kp/cm²

F_{Vy} : *1324.20* kp/cm²

Donde:

φ_v: Factor de resistencia para cortante. φ_v : 0.90

F_y: Límite elástico del acero. F_y : 2548.42 kp/cm²

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

$$F_{Tr} = \varphi_{Tr} F_y / \sqrt{3}$$

F_{Tr} : 1324.20 kp/cm²

Donde:

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

F_y: Límite elástico del acero. F_y : 2548.42 kp/cm²

2.3.2.5.- Comprobaciones E.L.U. (Resumido)

Barras	COMPROBACIONES (ANSI/AISC 360-05 (LRFD))								Estado
	P_t	λ_c	P_c	M_x	M_y	V_x	V_y	$PM_xM_yV_xV_yT$	
N1 (CNX)/N9	x: 3.15 m	$\lambda \leq 200.0$	x: 3.15 m	x: 0 m	x: 3.15 m	$\eta = 0.6$	$\eta < 0.1$	x: 3.15 m	**CUMPLE**
N9/N27	x: 0.3 m	$\lambda \leq 200.0$	x: 0.3 m	x: 0.3 m	x: 0.3 m	$\eta = 0.8$	$\eta < 0.1$	x: 0.3 m	**CUMPLE**
N27/N33	x: 0.3 m	$\lambda \leq 200.0$	x: 0.3 m	x: 0.3 m	x: 0.3 m	$\eta = 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 0.3 m	**CUMPLE**
N33/N39	x: 0.3 m	$\lambda \leq 200.0$	x: 0.3 m	x: 0.3 m	x: 0.3 m	$\eta = 0.6$	$\eta < 0.1$	x: 0.3 m	**CUMPLE**
N3 (CNX)/N10	N.P.(1)	$\lambda \leq 200.0$	x: 0 m	x: 0 m	x: 0 m	$\eta = 0.2$	$\eta < 0.1$	x: 0 m	**CUMPLE**
N10/N28	N.P.(1)	$\lambda \leq 200.0$	x: 2.71 m	x: 2.71 m	x: 2.71 m	$\eta = 1.9$	$\eta = 0.1$	x: 2.71 m	**CUMPLE**
N28/N34	N.P.(1)	$\lambda \leq 200.0$	x: 6.71 m	x: 0.3 m	x: 6.71 m	$\eta = 1.0$	$\eta = 0.1$	x: 6.71 m	**CUMPLE**
N34/N40	x: 0.3 m	$\lambda \leq 200.0$	x: 0.3 m	x: 3.1 m	x: 0.3 m	$\eta = 1.6$	$\eta = 0.4$	x: 3.1 m	**CUMPLE**
N4 (CNX)/N13	N.P.(1)	$\lambda \leq 200.0$	x: 0 m	x: 3.15 m	x: 0 m	$\eta = 0.3$	$\eta < 0.1$	x: 0 m	**CUMPLE**
N13/N30	N.P.(1)	$\lambda \leq 200.0$	x: 2.71 m	x: 2.71 m	x: 2.71 m	$\eta = 0.3$	$\eta < 0.1$	x: 2.71 m	**CUMPLE**
N30/N35	N.P.(1)	$\lambda \leq 200.0$	x: 0.3 m	x: 6.71 m	x: 0.3 m	$\eta = 0.4$	$\eta < 0.1$	x: 0.3 m	**CUMPLE**
N35/N43	N.P.(1)	$\lambda \leq 200.0$	x: 0.3 m	x: 3.1 m	x: 0.3 m	$\eta = 0.1$	$\eta = 0.1$	x: 0.3 m	**CUMPLE**
N2 (CNX)/N14	x: 0 m	N.P.(2)	x: 0 m	x: 3.15 m	x: 0 m	$\eta = 0.5$	$\eta < 0.1$	x: 0 m	**CUMPLE**
N14/N29	x: 0.3 m	N.P.(2)	x: 0.3 m	x: 0.3 m	x: 0.3 m	$\eta = 0.4$	$\eta = 0.1$	x: 0.3 m	**CUMPLE**
N29/N36	x: 0.3 m	N.P.(2)	x: 0.3 m	x: 0.3 m	x: 0.3 m	$\eta = 0.4$	$\eta < 0.1$	x: 0.3 m	**CUMPLE**
N36/N41	x: 0.3 m	$\lambda \leq 200.0$	x: 0.3 m	x: 3.1 m	x: 0.3 m	$\eta = 0.3$	$\eta = 0.2$	x: 0.3 m	**CUMPLE**
N6 (CNX)/N12	x: 3.15 m	N.P.(2)	x: 3.15 m	x: 0 m	x: 3.15 m	$\eta = 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 3.15 m	**CUMPLE**
N12/N32	x: 0.3 m	$\lambda \leq 200.0$	x: 0.3 m	x: 0.3 m	x: 0.3 m	$\eta = 1.8$	$\eta < 0.1$	x: 0.3 m	**CUMPLE**
N32/N37	N.P.(1)	$\lambda \leq 200.0$	x: 6.71 m	x: 0.3 m	x: 6.71 m	$\eta = 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 6.71 m	**CUMPLE**
N37/N42	N.P.(1)	$\lambda \leq 200.0$	x: 0.3 m	x: 0.3 m	x: 0.3 m	$\eta = 0.2$	$\eta < 0.1$	x: 0.3 m	**CUMPLE**
N5 (CNX)/N11	N.P.(1)	$\lambda \leq 200.0$	x: 3.15 m	x: 3.15 m	x: 3.15 m	$\eta = 0.5$	$\eta = 0.1$	x: 3.15 m	**CUMPLE**

N11/N31	N.P.(1)	$\lambda \leq 200.0$	x: 2.71 m	x: 2.71 m	x: 2.71 m	$\eta = 2.4$	$\eta = 0.1$	x: 2.71 m	**CUMPLE**
N31/N38	N.P.(1)	$\lambda \leq 200.0$	x: 0.3 m	x: 6.71 m	x: 0.3 m	$\eta = 0.5$	$\eta < 0.1$	x: 0.3 m	**CUMPLE**
N38/N44	N.P.(1)	$\lambda \leq 200.0$	x: 3.1 m	x: 0.3 m	x: 3.1 m	$\eta = 0.6$	$\eta = 0.1$	x: 3.1 m	**CUMPLE**
N9/N10	N.P.(1)	$\lambda \leq 200.0$	$\eta = 0.8$	x: 0.49 m	x: 0.49 m	$\eta < 0.1$	x: 0.49 m	x: 0.49 m	**CUMPLE**
N10/N16	$\eta < 0.1$	N.P.(2)	N.P.(2)	x: 0 m	x: 0 m	$\eta = 0.1$	x: 0 m	x: 0 m	**CUMPLE**
N16/N22	$\eta < 0.1$	N.P.(2)	N.P.(2)	x: 0 m	x: 0.546 m	$\eta < 0.1$	x: 0 m	x: 0 m	**CUMPLE**
N22/N23	$\eta < 0.1$	N.P.(2)	N.P.(2)	x: 0 m	x: 0.546 m	$\eta < 0.1$	x: 0 m	x: 0 m	**CUMPLE**
N14/N13	N.P.(1)	$\lambda \leq 200.0$	$\eta = 0.2$	x: 1.766 m	x: 0.49 m	$\eta < 0.1$	x: 1.766 m	x: 1.766 m	**CUMPLE**
N13/N15	N.P.(1)	$\lambda \leq 200.0$	$\eta < 0.1$	x: 0 m	x: 0.116 m	$\eta = 0.1$	x: 0 m	x: 0 m	**CUMPLE**
N15/N21	N.P.(1)	$\lambda \leq 200.0$	$\eta < 0.1$	x: 0 m	x: 0.546 m	$\eta < 0.1$	x: 0 m	x: 0 m	**CUMPLE**
N21/N20	N.P.(1)	$\lambda \leq 200.0$	$\eta < 0.1$	x: 0 m	x: 0.546 m	$\eta < 0.1$	x: 0 m	x: 0 m	**CUMPLE**
N12/N11	N.P.(1)	$\lambda \leq 200.0$	$\eta = 0.7$	x: 1.766 m	x: 0.49 m	$\eta < 0.1$	x: 1.766 m	x: 1.766 m	**CUMPLE**
N11/N17	N.P.(1)	$\lambda \leq 200.0$	$\eta < 0.1$	x: 0 m	x: 0.116 m	$\eta < 0.1$	x: 0 m	x: 0 m	**CUMPLE**
N17/N18	N.P.(1)	$\lambda \leq 200.0$	$\eta < 0.1$	x: 0 m	x: 0 m	$\eta = 0.1$	x: 0 m	x: 0 m	**CUMPLE**
N18/N19	N.P.(1)	$\lambda \leq 200.0$	$\eta < 0.1$	x: 0 m	x: 0 m	$\eta < 0.1$	x: 0 m	x: 0 m	**CUMPLE**
N23/N20	$\eta < 0.1$	N.P.(2)	N.P.(2)	x: 1.044 m	x: 2.02 m	$\eta < 0.1$	x: 2.02 m	x: 0.849 m	**CUMPLE**
N20/N19	$\eta < 0.1$	N.P.(2)	N.P.(2)	x: 3.8 m	x: 3.8 m	$\eta < 0.1$	x: 3.8 m	x: 3.8 m	**CUMPLE**
N19/N24	$\eta < 0.1$	N.P.(2)	N.P.(2)	x: 0.068 m	x: 3.24 m	$\eta < 0.1$	x: 0.068 m	x: 0.068 m	**CUMPLE**
N22/N21	$\eta < 0.1$	N.P.(2)	N.P.(2)	x: 0.849 m	x: 2.02 m	$\eta < 0.1$	x: 2.02 m	x: 2.02 m	**CUMPLE**
N21/N18	N.P.(1)	$\lambda \leq 200.0$	$\eta < 0.1$	x: 3.8 m	x: 3.8 m	$\eta < 0.1$	x: 3.8 m	x: 3.8 m	**CUMPLE**
N18/N25	N.P.(1)	$\lambda \leq 200.0$	$\eta = 0.2$	x: 0.068 m	x: 0.068 m	N.P.(3)	x: 0.068 m	x: 0.068 m	**CUMPLE**
N17/N26	$\eta < 0.1$	N.P.(2)	N.P.(2)	x: 0.068 m	x: 0.068 m	$\eta < 0.1$	x: 0.068 m	x: 0.068 m	**CUMPLE**
N15/N17	N.P.(1)	$\lambda \leq 200.0$	$\eta = 0.1$	x: 3.8 m	x: 3.8 m	$\eta < 0.1$	x: 3.8 m	x: 3.8 m	**CUMPLE**

N16/N15	N.P.(1)	$\lambda \leq 200.0$	$\eta = 0.1$	x: 1.044 m	x: 2.02 m	$\eta < 0.1$	x: 0.068 m	x: 1.434 m	**CUMPLE**
N26/N25	x: 0.6 m	N.P.(2)	x: 0.6 m	x: 0.6 m	x: 0.6 m	$\eta < 0.1$	x: 0 m	x: 0.6 m	**CUMPLE**
N25/N24	$\eta < 0.1$	N.P.(2)	N.P.(2)	x: 0 m	x: 0 m	$\eta = 0.1$	x: 0.6 m	x: 0 m	**CUMPLE**
N27/N28	$\eta = 0.2$	N.P.(2)	N.P.(2)	x: 1.766 m	x: 0.49 m	$\eta < 0.1$	x: 1.766 m	x: 1.766 m	**CUMPLE**
N28/N56	N.P.(1)	$\lambda \leq 200.0$	$\eta < 0.1$	x: 0 m	x: 0 m	$\eta < 0.1$	x: 0 m	x: 0 m	**CUMPLE**
N56/N57	N.P.(1)	$\lambda \leq 200.0$	$\eta < 0.1$	x: 0 m	x: 0.546 m	$\eta < 0.1$	x: 0 m	x: 0 m	**CUMPLE**
N57/N58	N.P.(1)	$\lambda \leq 200.0$	$\eta < 0.1$	x: 0 m	x: 0.546 m	$\eta < 0.1$	x: 0 m	x: 0 m	**CUMPLE**
N29/N30	N.P.(1)	$\lambda \leq 200.0$	$\eta = 0.1$	x: 0.49 m	x: 0.49 m	$\eta < 0.1$	x: 1.766 m	x: 0.49 m	**CUMPLE**
N30/N61	$\eta < 0.1$	N.P.(2)	N.P.(2)	x: 0 m	x: 0.116 m	$\eta < 0.1$	x: 0.116 m	x: 0 m	**CUMPLE**
N61/N60	$\eta < 0.1$	N.P.(2)	N.P.(2)	x: 0 m	x: 0 m	$\eta < 0.1$	x: 0.546 m	x: 0 m	**CUMPLE**
N60/N59	$\eta < 0.1$	N.P.(2)	N.P.(2)	x: 0 m	x: 0.546 m	$\eta < 0.1$	x: 0.546 m	x: 0 m	**CUMPLE**
N32/N31	$\eta = 0.5$	N.P.(2)	N.P.(2)	x: 1.766 m	x: 1.764 m	$\eta < 0.1$	x: 1.766 m	x: 1.766 m	**CUMPLE**
N31/N65	N.P.(1)	$\lambda \leq 200.0$	$\eta < 0.1$	x: 0 m	x: 0 m	$\eta < 0.1$	x: 0 m	x: 0 m	**CUMPLE**
N65/N66	N.P.(1)	$\lambda \leq 200.0$	$\eta < 0.1$	x: 0 m	x: 0 m	$\eta = 0.1$	x: 0 m	x: 0 m	**CUMPLE**
N66/N67	N.P.(1)	$\lambda \leq 200.0$	$\eta < 0.1$	x: 0 m	x: 0.546 m	$\eta = 0.1$	x: 0 m	x: 0 m	**CUMPLE**
N69/N68	N.P.(1)	$\lambda \leq 200.0$	$\eta < 0.1$	x: 0 m	x: 0 m	$\eta < 0.1$	x: 0.546 m	x: 0.546 m	**CUMPLE**
N70/N69	N.P.(1)	$\lambda \leq 200.0$	$\eta < 0.1$	x: 0.546 m	x: 0.546 m	$\eta < 0.1$	x: 0 m	x: 0.546 m	**CUMPLE**
N64/N56	$\eta < 0.1$	N.P.(2)	N.P.(2)	x: 3.52 m	x: 3.52 m	$\eta < 0.1$	x: 3.52 m	x: 3.52 m	**CUMPLE**
N56/N61	$\eta < 0.1$	N.P.(2)	N.P.(2)	x: 0.068 m	x: 0.068 m	$\eta < 0.1$	x: 0.068 m	x: 0.068 m	**CUMPLE**
N61/N65	$\eta < 0.1$	N.P.(2)	N.P.(2)	x: 3.8 m	x: 3.8 m	$\eta < 0.1$	x: 3.8 m	x: 3.8 m	**CUMPLE**
N65/N70	N.P.(1)	$\lambda \leq 200.0$	$\eta < 0.1$	x: 0.068 m	x: 0.068 m	$\eta < 0.1$	x: 0.068 m	x: 0.068 m	**CUMPLE**
N66/N69	$\eta < 0.1$	N.P.(2)	N.P.(2)	x: 0.068 m	x: 0.068 m	$\eta < 0.1$	x: 0.068 m	x: 0.068 m	**CUMPLE**
N60/N66	$\eta < 0.1$	N.P.(2)	N.P.(2)	x: 3.8 m	x: 3.8 m	$\eta < 0.1$	x: 3.8 m	x: 3.8 m	**CUMPLE**

N57/N60	N.P.(1)	$\lambda \leq 200.0$	$\eta < 0.1$	x: 0.068 m	x: 0.068 m	$\eta < 0.1$	x: 0.068 m	x: 0.068 m	**CUMPLE**
N63/N57	N.P.(1)	$\lambda \leq 200.0$	$\eta < 0.1$	x: 3.52 m	x: 3.52 m	N.P.(3)	x: 3.52 m	x: 3.52 m	**CUMPLE**
N62/N58	$\eta < 0.1$	N.P.(2)	N.P.(2)	x: 3.52 m	x: 0 m	$\eta < 0.1$	x: 3.52 m	x: 3.52 m	**CUMPLE**
N58/N59	N.P.(1)	$\lambda \leq 200.0$	$\eta < 0.1$	x: 0.068 m	x: 2.02 m	$\eta < 0.1$	x: 0.068 m	x: 0.068 m	**CUMPLE**
N59/N67	N.P.(1)	$\lambda \leq 200.0$	$\eta = 0.2$	x: 3.8 m	x: 3.8 m	$\eta < 0.1$	x: 3.8 m	x: 3.8 m	**CUMPLE**
N67/N68	N.P.(1)	$\lambda \leq 200.0$	$\eta < 0.1$	x: 0.068 m	x: 0.068 m	$\eta < 0.1$	x: 0.068 m	x: 0.068 m	**CUMPLE**
N63/N62	$\eta < 0.1$	N.P.(2)	N.P.(2)	x: 0 m	x: 0 m	$\eta < 0.1$	x: 0.546 m	x: 0.546 m	**CUMPLE**
N64/N63	$\eta < 0.1$	N.P.(2)	N.P.(2)	x: 0.546 m	x: 0.546 m	$\eta < 0.1$	x: 0 m	x: 0.546 m	**CUMPLE**
N33/N34	N.P.(1)	$\lambda \leq 200.0$	$\eta = 0.3$	x: 1.766 m	x: 1.764 m	$\eta < 0.1$	x: 1.766 m	x: 1.766 m	**CUMPLE**
N45/N47	N.P.(1)	$\lambda \leq 200.0$	$\eta < 0.1$	x: 0 m	x: 0.546 m	$\eta < 0.1$	x: 0 m	x: 0 m	**CUMPLE**
N47/N48	N.P.(1)	$\lambda \leq 200.0$	$\eta < 0.1$	x: 0 m	x: 0.546 m	$\eta = 0.1$	x: 0 m	x: 0 m	**CUMPLE**
N51/N53	$\eta < 0.1$	N.P.(2)	N.P.(2)	x: 0 m	x: 0 m	$\eta < 0.1$	x: 0 m	x: 0 m	**CUMPLE**
N52/N51	$\eta = 0.1$	N.P.(2)	N.P.(2)	x: 0 m	x: 0 m	$\eta < 0.1$	x: 0 m	x: 0 m	**CUMPLE**
N35/N52	$\eta = 0.1$	N.P.(2)	N.P.(2)	x: 0 m	x: 0.116 m	$\eta = 0.1$	x: 0 m	x: 0 m	**CUMPLE**
N36/N35	N.P.(1)	$\lambda \leq 200.0$	$\eta = 0.2$	x: 1.766 m	x: 0.49 m	$\eta < 0.1$	x: 1.766 m	x: 1.766 m	**CUMPLE**
N54/N55	N.P.(1)	$\lambda \leq 200.0$	$\eta < 0.1$	x: 0 m	x: 0.546 m	$\eta = 0.2$	x: 0 m	x: 0 m	**CUMPLE**
N38/N73	N.P.(1)	$\lambda \leq 200.0$	$\eta < 0.1$	x: 0 m	x: 0.17 m	$\eta = 0.1$	x: 0 m	x: 0 m	**CUMPLE**
N73/N54	N.P.(1)	$\lambda \leq 200.0$	$\eta < 0.1$	x: 0 m	x: 0.546 m	$\eta < 0.1$	x: 0 m	x: 0 m	**CUMPLE**
N37/N38	N.P.(1)	$\lambda \leq 200.0$	$\eta = 0.1$	x: 1.766 m	x: 0.49 m	$\eta < 0.1$	x: 1.766 m	x: 0.49 m	**CUMPLE**
N50/N49	N.P.(1)	N.P.(2)	N.P.(2)	x: 0 m	x: 0 m	$\eta < 0.1$	x: 0.546 m	x: 0.546 m	**CUMPLE**
N46/N50	N.P.(1)	N.P.(2)	N.P.(2)	x: 0.546 m	x: 0.546 m	$\eta < 0.1$	x: 0 m	x: 0.546 m	**CUMPLE**
N53/N55	N.P.(1)	$\lambda \leq 200.0$	$\eta = 0.5$	x: 0.068 m	x: 3.8 m	$\eta < 0.1$	x: 0.068 m	x: 0.068 m	**CUMPLE**
N48/N53	N.P.(1)	$\lambda \leq 200.0$	$\eta = 0.1$	x: 0.068 m	x: 2.02 m	$\eta = 0.1$	x: 0.068 m	x: 0.068 m	**CUMPLE**

N49/N48	N.P.(1)	$\lambda \leq 200.0$	$\eta < 0.1$	x: 3.52 m	x: 3.52 m	N.P.(3)	x: 3.52 m	x: 3.52 m	**CUMPLE**
N50/N47	$\eta < 0.1$	N.P.(2)	N.P.(2)	x: 3.52 m	x: 3.52 m	N.P.(3)	x: 3.52 m	x: 3.52 m	**CUMPLE**
N47/N51	$\eta = 0.1$	N.P.(2)	N.P.(2)	x: 0.068 m	x: 2.02 m	$\eta = 0.1$	x: 0.068 m	x: 0.068 m	**CUMPLE**
N51/N54	$\eta = 0.1$	N.P.(2)	N.P.(2)	x: 0.068 m	x: 3.8 m	$\eta = 0.1$	x: 0.068 m	x: 0.068 m	**CUMPLE**
N52/N73	N.P.(1)	$\lambda \leq 200.0$	$\eta = 0.3$	x: 0.068 m	x: 0.068 m	$\eta = 0.1$	x: 0.068 m	x: 0.068 m	**CUMPLE**
N45/N52	N.P.(1)	$\lambda \leq 200.0$	$\eta = 0.2$	x: 0.068 m	x: 0.068 m	$\eta = 0.1$	x: 0.068 m	x: 0.068 m	**CUMPLE**
N46/N45	N.P.(1)	$\lambda \leq 200.0$	$\eta < 0.1$	x: 3.52 m	x: 3.52 m	N.P.(3)	x: 3.52 m	x: 3.52 m	**CUMPLE**
N39/N41	$\eta = 0.1$	N.P.(2)	N.P.(2)	x: 0.09 m	x: 0.09 m	$\eta = 0.3$	x: 0.09 m	x: 0.09 m	**CUMPLE**
N41/N42	$\eta = 0.1$	N.P.(2)	N.P.(2)	x: 0.054 m	x: 0.054 m	$\eta = 0.1$	x: 0.054 m	x: 0.054 m	**CUMPLE**
N40/N43	$\eta = 0.1$	N.P.(2)	N.P.(2)	x: 2.02 m	x: 0.18 m	$\eta = 0.3$	x: 2.02 m	x: 2.02 m	**CUMPLE**
N43/N44	N.P.(1)	$\lambda \leq 200.0$	$\eta = 0.2$	x: 0.18 m	x: 0.18 m	$\eta = 0.1$	x: 0.18 m	x: 0.18 m	**CUMPLE**
N39/N40	x: 1.766 m	N.P.(2)	x: 1.766 m	x: 0.49 m	x: 1.766 m	x: 1.766 m	$\eta = 0.2$	x: 1.766 m	**CUMPLE**
N40/N71	x: 3.544 m	$\lambda \leq 200.0$	x: 3.544 m	x: 0 m	x: 3.544 m	x: 8.101 m	N.P.(3)	x: 3.544 m	**CUMPLE**
N71/N74	x: 0.175 m	N.P.(2)	x: 0.175 m	N.P.(4)	x: 0.175 m	x: 0.175 m	N.P.(3)	x: 0.175 m	**CUMPLE**
N75/N39	x: 1.016 m	N.P.(2)	x: 1.016 m	N.P.(4)	x: 1.016 m	x: 1.016 m	N.P.(3)	x: 1.016 m	**CUMPLE**
N76/N42	x: 1.016 m	N.P.(2)	x: 1.016 m	N.P.(4)	x: 1.016 m	x: 1.016 m	N.P.(3)	x: 1.016 m	**CUMPLE**
N42/N44	x: 1.766 m	N.P.(2)	x: 1.766 m	x: 1.766 m	x: 1.766 m	x: 1.766 m	$\eta = 0.1$	x: 1.766 m	**CUMPLE**
N44/N72	x: 4.051 m	$\lambda \leq 200.0$	x: 4.051 m	x: 0 m	x: 4.051 m	x: 8.102 m	$\eta < 0.1$	x: 4.051 m	**CUMPLE**
N72/N77	x: 0.175 m	N.P.(2)	x: 0.175 m	N.P.(4)	x: 0.175 m	x: 0.175 m	N.P.(3)	x: 0.175 m	**CUMPLE**
N34/N45	N.P.(1)	$\lambda \leq 200.0$	$\eta < 0.1$	x: 0 m	x: 0.116 m	$\eta = 0.2$	x: 0 m	x: 0 m	**CUMPLE**
N41/N43	$\eta < 0.1$	N.P.(2)	N.P.(2)	x: 1.766 m	x: 0.49 m	$\eta = 0.2$	x: 1.766 m	x: 0.49 m	**CUMPLE**
N36/N37	$\eta < 0.1$	N.P.(2)	N.P.(2)	x: 0.068 m	x: 0.068 m	$\eta = 0.1$	x: 0.068 m	x: 0.068 m	**CUMPLE**
N33/N36	N.P.(1)	$\lambda \leq 200.0$	$\eta = 0.1$	x: 0.068 m	x: 2.02 m	$\eta = 0.1$	x: 0.068 m	x: 2.02 m	**CUMPLE**

N29/N32	N.P.(1)	$\lambda \leq 200.0$	$\eta < 0.1$	x: 0.068 m	x: 3.8 m	$\eta < 0.1$	x: 0.068 m	x: 0.068 m	**CUMPLE**
N27/N29	N.P.(1)	$\lambda \leq 200.0$	$\eta < 0.1$	x: 0.068 m	x: 2.02 m	$\eta < 0.1$	x: 0.068 m	x: 0.068 m	**CUMPLE**
N14/N12	$\eta < 0.1$	N.P.(2)	N.P.(2)	x: 0.068 m	x: 3.8 m	N.P.(3)	x: 0.068 m	x: 0.068 m	**CUMPLE**
N9/N14	N.P.(1)	$\lambda \leq 200.0$	$\eta = 0.1$	x: 0.068 m	x: 0.068 m	$\eta < 0.1$	x: 0.068 m	x: 0.068 m	**CUMPLE**
N36/N43	$\eta = 2.5$	N.P.(2)	N.P.(2)	N.P.(4)	N.P.(4)	N.P.(3)	N.P.(3)	N.P.(5)	**CUMPLE**
N35/N41	N.P.(1)	N.P.(2)	N.P.(2)	N.P.(4)	N.P.(4)	N.P.(3)	N.P.(3)	N.P.(5)	**NO PROCEDE**
N29/N35	$\eta = 3.5$	N.P.(2)	N.P.(2)	N.P.(4)	N.P.(4)	N.P.(3)	N.P.(3)	N.P.(5)	**CUMPLE**
N30/N36	N.P.(1)	N.P.(2)	N.P.(2)	N.P.(4)	N.P.(4)	N.P.(3)	N.P.(3)	N.P.(5)	**NO PROCEDE**
N14/N30	$\eta = 3.1$	N.P.(2)	N.P.(2)	N.P.(4)	N.P.(4)	N.P.(3)	N.P.(3)	N.P.(5)	**CUMPLE**
N13/N29	N.P.(1)	N.P.(2)	N.P.(2)	N.P.(4)	N.P.(4)	N.P.(3)	N.P.(3)	N.P.(5)	**NO PROCEDE**
N2 (CNX)/N13	$\eta = 2.2$	N.P.(2)	N.P.(2)	N.P.(4)	N.P.(4)	N.P.(3)	N.P.(3)	N.P.(5)	**CUMPLE**
N4 (CNX)/N14	N.P.(1)	N.P.(2)	N.P.(2)	N.P.(4)	N.P.(4)	N.P.(3)	N.P.(3)	N.P.(5)	**NO PROCEDE**
N2 (CNX)/N9	$\eta = 0.4$	N.P.(2)	N.P.(2)	N.P.(4)	N.P.(4)	N.P.(3)	N.P.(3)	N.P.(5)	**CUMPLE**
N1 (CNX)/N14	N.P.(1)	N.P.(2)	N.P.(2)	N.P.(4)	N.P.(4)	N.P.(3)	N.P.(3)	N.P.(5)	**NO PROCEDE**
N14/N27	$\eta = 0.3$	N.P.(2)	N.P.(2)	N.P.(4)	N.P.(4)	N.P.(3)	N.P.(3)	N.P.(5)	**CUMPLE**
N9/N29	N.P.(1)	N.P.(2)	N.P.(2)	N.P.(4)	N.P.(4)	N.P.(3)	N.P.(3)	N.P.(5)	**NO PROCEDE**
N27/N36	N.P.(1)	N.P.(2)	N.P.(2)	N.P.(4)	N.P.(4)	N.P.(3)	N.P.(3)	N.P.(5)	**NO PROCEDE**
N29/N33	$\eta = 1.0$	N.P.(2)	N.P.(2)	N.P.(4)	N.P.(4)	N.P.(3)	N.P.(3)	N.P.(5)	**CUMPLE**
N33/N41	N.P.(1)	N.P.(2)	N.P.(2)	N.P.(4)	N.P.(4)	N.P.(3)	N.P.(3)	N.P.(5)	**NO PROCEDE**
N36/N39	$\eta = 0.3$	N.P.(2)	N.P.(2)	N.P.(4)	N.P.(4)	N.P.(3)	N.P.(3)	N.P.(5)	**CUMPLE**
N34/N39	N.P.(1)	N.P.(2)	N.P.(2)	N.P.(4)	N.P.(4)	N.P.(3)	N.P.(3)	N.P.(5)	**NO PROCEDE**
N33/N40	N.P.(1)	N.P.(2)	N.P.(2)	N.P.(4)	N.P.(4)	N.P.(3)	N.P.(3)	N.P.(5)	**NO PROCEDE**
N28/N33	N.P.(1)	N.P.(2)	N.P.(2)	N.P.(4)	N.P.(4)	N.P.(3)	N.P.(3)	N.P.(5)	**NO PROCEDE**
N27/N34	N.P.(1)	N.P.(2)	N.P.(2)	N.P.(4)	N.P.(4)	N.P.(3)	N.P.(3)	N.P.(5)	**NO PROCEDE**
N9/N28	N.P.(1)	N.P.(2)	N.P.(2)	N.P.(4)	N.P.(4)	N.P.(3)	N.P.(3)	N.P.(5)	**NO PROCEDE**
N10/N27	N.P.(1)	N.P.(2)	N.P.(2)	N.P.(4)	N.P.(4)	N.P.(3)	N.P.(3)	N.P.(5)	**NO PROCEDE**
N1 (CNX)/N10	N.P.(1)	N.P.(2)	N.P.(2)	N.P.(4)	N.P.(4)	N.P.(3)	N.P.(3)	N.P.(5)	**NO PROCEDE**
N3 (CNX)/N9	N.P.(1)	N.P.(2)	N.P.(2)	N.P.(4)	N.P.(4)	N.P.(3)	N.P.(3)	N.P.(5)	**NO PROCEDE**

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

Comprobaciones que no proceden (N.P.):

(1) La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción.

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

Barras	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	
N7 (P6)/N71	$w / t \leq (w / t)_{Máx.}$	N.P.(1)	x: 0 m	$\eta < 0.1$	x: 15.67 m	x: 15.67 m	$\eta = 0.2$	$\eta < 0.1$	x: 15.67 m	x: 15.67 m	x: 13.711 m	x: 15.67 m	N.P.(2)	x: 0 m	x: 0 m	**CUMPLE**
N8 (P5)/N72	$w / t \leq (w / t)_{Máx.}$	N.P.(1)	x: 0 m	$\eta < 0.1$	x: 0 m	x: 15.67 m	$\eta = 0.2$	$\eta < 0.1$	x: 0 m	x: 15.67 m	$\eta < 0.1$	x: 15.67 m	N.P.(2)	x: 0 m	x: 0 m	**CUMPLE**

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

Comprobaciones que no proceden (N.P.):

(1) La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción.

2.4.- Placas de anclaje

2.4.1.- Descripción

Descripción				
Referencia	Placa base	Disposición	Rigidizadores	Pernos
N1 (CNX), N2 (CNX), N3 (CNX), N4 (CNX)	Ancho X: 700 mm Ancho Y: 350 mm Espesor: 25 mm	Posición X: Centrada Posición Y: Centrada	Paralelos X: - Paralelos Y: -	4Ø22.22 mm L=35 cm Gancho a 180 grados
N7 (P6), N8 (P5)	Ancho X: 550 mm Ancho Y: 550 mm	Posición X: Centrada Posición Y: Centrada	Paralelos X: - Paralelos Y: -	4Ø22.22 mm L=35 cm Gancho a 180 grados

1.- MATERIALES

1.1.- Hormigones

Elemento	Hormigón	f_{ck} (kp/cm²)	γ_c	Tamaño máximo del árido (mm)	E_c (kp/cm²)
Todos	C-25	255	1.00	15	239551

1.2.- Aceros por elemento y posición

1.2.1.- Aceros en barras

Elemento	Acero	f_{yk} (kp/cm²)	γ_s
Todos	ADN 420	4281	1.00

1.2.2.- Aceros en perfiles

Tipo de acero para perfiles	Acero	Límite elástico (kp/cm²)	Módulo de elasticidad (kp/cm²)
Acero conformado	ASTM A 36 36 ksi	2548	2069317
Acero laminado	ASTM A 36 36 ksi	2548	2038736

2.- ARMADO DE COLUMNAS Y TABIQUES

2.1.- Columnas

Armado de pilares																	
Hormigón: H-25																	
Columna	Geometría			Armaduras						Esfuerzos pésimos						Aprov. (%)	Estado
	Planta	Dimensiones (cm)	Tramo (m)	Barras				Estribos		Naturaleza	N (t)	Mxx (t·m)	Myy (t·m)	Qx (t)	Qy (t)		
				Esquina	Cara X	Cara Y	Cuantía (%)	Descripción(1)	Separación (cm)								
P5	PB	60x60	-1.95/-0.40	4Ø12	14Ø12	14Ø12	1.01	1eØ6+X3rØ6+Y3rØ6	14	G	8.18	-0.53	-0.54	0.81	-0.59	3.1	Cumple
	Fundación	-	-	4Ø12	14Ø12	14Ø12	1.01	1eØ6+X3rØ6+Y3rØ6	-	G	10.13	0.38	0.71	0.81	-0.59	2.4	Cumple
P6	PB	60x60	-1.95/-0.40	4Ø12	14Ø12	14Ø12	1.01	1eØ6+X3rØ6+Y3rØ6	14	G	8.28	0.53	-0.49	0.72	0.72	3.1	Cumple
	Fundación	-	-	4Ø12	14Ø12	14Ø12	1.01	1eØ6+X3rØ6+Y3rØ6	-	G	10.23	-0.59	0.62	0.72	0.72	2.5	Cumple

Notas:
(1) e = estribo, r = rama

2.2.- Tabiques

Tabique P7: Longitud: 257.6 cm [Nudo inicial: 1.27;3.73 -> Nudo final: 3.85;3.73]											
Planta	Espesor (cm)	Armadura vertical		Armadura horizontal		Armadura transversal				F.C. (%)	Estado
		Izquierda	Derecha	Izquierda	Derecha	Ramas	Diám.	Sep.ver (cm)	Sep.hor (cm)		
PB	40.0	Ø10c/30 cm	Ø10c/30 cm	Ø12c/25 cm	Ø12c/25 cm	---	---	---	---	100.0	---

Tabique P7: Longitud: 241.12 cm [Nudo inicial: 1.27;3.73 -> Nudo final: 1.27;6.14]											
Planta	Espesor (cm)	Armadura vertical		Armadura horizontal		Armadura transversal				F.C. (%)	Estado
		Izquierda	Derecha	Izquierda	Derecha	Ramas	Diám.	Sep.ver (cm)	Sep.hor (cm)		
PB	15.0	Ø10c/30 cm	Ø10c/30 cm	Ø8c/30 cm	Ø8c/30 cm	---	---	---	---	100.0	---

Tabique P7: Longitud: 257.6 cm [Nudo inicial: 1.27;6.14 -> Nudo final: 3.85;6.14]											
Planta	Espesor (cm)	Armadura vertical		Armadura horizontal		Armadura transversal				F.C. (%)	Estado
		Izquierda	Derecha	Izquierda	Derecha	Ramas	Diám.	Sep.ver (cm)	Sep.hor (cm)		
PB	40.0	Ø10c/30 cm	Ø10c/30 cm	Ø12c/25 cm	Ø12c/25 cm	---	---	---	---	100.0	---

Tabique P8: Longitud: 257.6 cm [Nudo inicial: 1.27;9.55 -> Nudo final: 3.85;9.55]											
Planta	Espesor (cm)	Armadura vertical		Armadura horizontal		Armadura transversal				F.C. (%)	Estado
		Izquierda	Derecha	Izquierda	Derecha	Ramas	Diám.	Sep.ver (cm)	Sep.hor (cm)		
PB	40.0	Ø10c/30 cm	Ø10c/30 cm	Ø12c/25 cm	Ø12c/25 cm	---	---	---	---	100.0	---

F.C. = El factor de cumplimiento indica el porcentaje de área en el cual el armado y espesor de hormigón son suficientes.

3.- ESFUERZOS DE COLUMNAS, TABIQUES Y MUROS POR HIPÓTESIS

- Tramo: Nivel inicial / nivel final del tramo entre plantas.

- Nota:

  Los esfuerzos están referidos a ejes locales de la columna.

  Los esfuerzos de tabiques y muros son en ejes generales y referidos al centro de gravedad del tabique o muro en la planta.

Soporte	Planta	Dimensión (cm)	Tramo (m)	Hipótesis	Base						Cabeza					
					N (t)	Mx (t·m)	My (t·m)	Qx (t)	Qy (t)	T (t·m)	N (t)	Mx (t·m)	My (t·m)	Qx (t)	Qy (t)	T (t·m)
P5	PB	60x60	-1.95/-0.40	Peso propio	7.23	-0.51	-0.27	-0.58	-0.42	0.00	5.84	0.39	0.38	-0.58	-0.42	0.00
				Cargas permanentes	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
				Sobrecarga de uso	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P6	PB	60x60	-1.95/-0.40	Peso propio	7.31	-0.44	0.42	-0.51	0.51	0.00	5.92	0.35	-0.38	-0.51	0.51	0.00
				Cargas permanentes	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
				Sobrecarga de uso	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P7	PB		-1.95/0.00	Peso propio	30.91	19.75	-9.05	0.09	-0.15	-2.57	19.10	20.22	-8.76	0.09	-0.15	-2.57
				Cargas permanentes	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
				Sobrecarga de uso	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P8	PB		-1.95/0.00	Peso propio	18.82	11.13	0.12	-1.18	0.24	-0.04	13.80	13.42	-0.34	-1.18	0.24	-0.04
				Cargas permanentes	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
				Sobrecarga de uso	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

4.- ARRANQUES DE COLUMNAS, TABIQUES Y MUROS POR HIPÓTESIS

- Nota:

  Los esfuerzos están referidos a ejes locales de la columna.

  Los esfuerzos de tabiques y muros son en ejes generales y referidos al centro de gravedad del tabique o muro en la planta.

Soporte	Hipótesis	Esfuerzos en arranques					
		N (t)	Mx (t·m)	My (t·m)	Qx (t)	Qy (t)	T (t·m)
P5	Peso propio	7.23	-0.51	-0.27	-0.58	-0.42	0.00
	Cargas permanentes	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Sobrecarga de uso	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Soporte	Hipótesis	Esfuerzos en arranques					
		N (t)	Mx (t·m)	My (t·m)	Qx (t)	Qy (t)	T (t·m)
P6	Peso propio	7.31	-0.44	0.42	-0.51	0.51	0.00
	Cargas permanentes	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Sobrecarga de uso	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P7	Peso propio	30.91	19.75	-9.05	0.09	-0.15	-2.57
	Cargas permanentes	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Sobrecarga de uso	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P8	Peso propio	18.82	11.13	0.12	-1.18	0.24	-0.04
	Cargas permanentes	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Sobrecarga de uso	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

5.- PÉSIMOS DE COLUMNAS, TABIQUES Y MUROS

5.1.- Columnas

Resumen de las comprobaciones												
Columnas	Tramo	Dimensión (cm)	Posición	Esfuerzos pésimos						Pésima	Aprov. (%)	Estado
				Naturaleza	N (t)	Mxx (t·m)	Myy (t·m)	Qx (t)	Qy (t)			
P5	PB (-1.95 - 0 m)	60x60	Cabeza	G	8.18	-0.53	-0.54	0.81	-0.59	Q	3.1	Cumple
			Pie	G	10.13	0.38	0.71	0.81	-0.59	Q	3.0	Cumple
	Fundación	60x60	Arranque	G	10.13	0.38	0.71	0.81	-0.59	N,M	2.4	Cumple
P6	PB (-1.95 - 0 m)	60x60	Cabeza	G	8.28	0.53	-0.49	0.72	0.72	Q	3.1	Cumple
			Pie	G	10.23	-0.59	0.62	0.72	0.72	Q	3.1	Cumple
	Fundación	60x60	Arranque	G	10.23	-0.59	0.62	0.72	0.72	N,M	2.5	Cumple

Notas:
Q: Estado límite de agotamiento frente a cortante
N,M: Estado límite de agotamiento frente a solicitaciones normales

5.2.- Tabiques

Referencias:

Aprovechamiento: Nivel de tensiones (relación entre la tensión máxima y la admisible). Equivale al inverso del coeficiente de seguridad.

Nx : Axil vertical.

Ny : Axil horizontal.

Nxy: Axil tangencial.

Mx : Momento vertical (alrededor del eje horizontal).

My : Momento horizontal (alrededor del eje vertical).

Mxy: Momento torsor.

Qx : Corte transversal vertical.

Qy : Corte transversal horizontal.

Tabique P7: Longitud: 257.6 cm [Nudo inicial: 1.27;3.73 -> Nudo final: 3.85;3.73]										
Planta	Comprobación	Aprovechamiento (%)	Pésimos							
			Nx (t/m)	Ny (t/m)	Nxy (t/m)	Mx (t·m/m)	My (t·m/m)	Mxy (t·m/m)	Qx (t/m)	Qy (t/m)
PB (e=40.0 cm)	Arm. vert. der.	1.30	-15.71	-1.92	3.68	-0.31	-0.00	-0.00	---	---
	Arm. horz. der.	0.23	-6.41	-3.17	0.44	0.13	0.00	0.00	---	---
	Arm. vert. izq.	1.30	-15.71	-1.92	3.68	0.31	-0.00	-0.00	---	---
	Arm. horz. izq.	0.23	-6.41	-3.17	0.44	0.13	0.00	0.00	---	---
	Hormigón	2.40	-15.46	2.46	-0.09	0.31	-0.00	0.00	---	---
	Arm. transve.	0.01	-15.71	-1.92	3.68	---	---	---	0.02	-0.00

Tabique P7: Longitud: 241.12 cm [Nudo inicial: 1.27;3.73 -> Nudo final: 1.27;6.14]										
Planta	Comprobación	Aprovechamiento (%)	Pésimos							
			Nx (t/m)	Ny (t/m)	Nxy (t/m)	Mx (t·m/m)	My (t·m/m)	Mxy (t·m/m)	Qx (t/m)	Qy (t/m)
PB (e=15.0 cm)	Arm. vert. der.	0.18	-0.64	-0.04	0.04	-0.01	0.00	0.00	---	---
	Arm. horz. der.	0.09	0.52	-0.53	-0.11	-0.00	0.00	0.00	---	---
	Arm. vert. izq.	0.18	-0.64	-0.04	0.04	0.01	0.00	0.00	---	---
	Arm. horz. izq.	0.12	0.52	-0.53	-0.11	-0.00	0.00	0.00	---	---
	Hormigón	0.33	-0.64	-0.04	0.04	-0.01	0.00	0.00	---	---
	Arm. transve.	0.04	-0.27	-0.01	0.15	---	---	---	-0.01	0.02

Tabique P7: Longitud: 257.6 cm [Nudo inicial: 1.27;6.14 -> Nudo final: 3.85;6.14]										
Planta	Comprobación	Aprovechamiento (%)	Pésimos							
			Nx (t/m)	Ny (t/m)	Nxy (t/m)	Mx (t·m/m)	My (t·m/m)	Mxy (t·m/m)	Qx (t/m)	Qy (t/m)

Tabique P7: Longitud: 257.6 cm [Nudo inicial: 1.27;6.14 -> Nudo final: 3.85;6.14]										
Planta	Comprobación	Aprovechamiento (%)	Pésimos							
			Nx (t/m)	Ny (t/m)	Nxy (t/m)	Mx (t·m/m)	My (t·m/m)	Mxy (t·m/m)	Qx (t/m)	Qy (t/m)
PB (e=40.0 cm)	Arm. vert. der.	0.87	-8.48	1.40	-0.10	-0.17	-0.01	0.04	---	---
	Arm. horz. der.	0.08	-3.57	-1.11	-1.23	0.07	0.00	0.00	---	---
	Arm. vert. izq.	0.87	-8.48	1.40	-0.10	0.17	-0.01	0.04	---	---
	Arm. horz. izq.	0.08	-3.57	-1.11	-1.23	0.07	0.00	0.00	---	---
	Hormigón	1.65	-8.48	1.40	-0.10	0.17	-0.01	0.04	---	---
	Arm. transve.	0.09	-8.73	-0.78	0.18	---	---	---	0.15	-0.04

Tabique P8: Longitud: 257.6 cm [Nudo inicial: 1.27;9.55 -> Nudo final: 3.85;9.55]										
Planta	Comprobación	Aprovechamiento (%)	Pésimos							
			Nx (t/m)	Ny (t/m)	Nxy (t/m)	Mx (t·m/m)	My (t·m/m)	Mxy (t·m/m)	Qx (t/m)	Qy (t/m)
PB (e=40.0 cm)	Arm. vert. der.	1.73	-16.81	2.67	-0.12	-0.34	0.01	-0.05	---	---
	Arm. horz. der.	0.22	-6.29	-2.99	0.25	-0.13	0.01	0.00	---	---
	Arm. vert. izq.	1.73	-16.81	2.67	-0.12	0.34	0.01	-0.05	---	---
	Arm. horz. izq.	0.22	-6.29	-2.99	0.25	0.13	0.01	0.00	---	---
	Hormigón	3.26	-16.81	2.67	-0.12	-0.34	0.01	-0.05	---	---
	Arm. transve.	0.14	-1.19	-0.80	-1.12	---	---	---	-0.25	-0.06

6.- LISTADO DE MEDICIÓN DE COLUMNAS

Resumen de cómputo - PB							
Columnas	Dimensiones (cm)	Encofrado (m²)	Hormigón H-25 (m³)	Armaduras ADN 420			Cuantía (kg/m³)
				Longitudinal	Estribos	Total	

				Ø12 (kg)	Ø10 (kg)	Ø6 (kg)	Ø12 (kg)	Ø8 (kg)		
P5 y P6	60x60	7.44	1.12	109.6	-	38.6	-	-	163.0	132.32
P7	258x40	28.90	4.49	-	70.9	-	94.3	14.6	197.8	40.04
	241x15									
	258x40									
P8	258x40	11.60	2.01	-	28.3	-	51.5	-	87.8	39.70
Total		**47.94**	**7.62**	**109.6**	**99.2**	**38.6**	**145.8**	**14.6**	**448.6**	**53.52**

7.- SUMATORIO DE ESFUERZOS DE PILARES, PANTALLAS Y MUROS POR HIPÓTESIS Y PLANTA

- Sólo se tienen en cuenta los esfuerzos de pilares, muros y pantallas, por lo que si la obra tiene vigas con vinculación exterior, vigas inclinadas, diagonales o estructuras 3D integradas, los esfuerzos de dichos elementos no se muestran en el siguiente listado.
- Este listado es de utilidad para conocer las cargas actuantes por encima de la cota de la base de los soportes sobre una planta, por lo que para casos tales como pilares apeados traccionados, los esfuerzos de dichos pilares tendrán la influencia no sólo de las cargas por encima sino también la de las cargas que recibe de plantas inferiores.

7.1.- Resumido

Valores referidos al origen (X=0.00, Y=0.00)								
Planta	Cota (m)	Hipótesis	N (t)	Mx (t·m)	My (t·m)	Qx (t)	Qy (t)	T (t·m)
Fundación	-1.95	Peso propio	64.27	328.86	425.69	-0.00	-0.00	-0.00
		Cargas permanentes	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Sobrecarga de uso	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00