

Ingeniería

Revista de la Universidad de Costa Rica
ENERO/DICIEMBRE 2001-VOLUMEN 11-N.º 1 y 2

2004



dn

FACULTAD
DE =
INGENIERIA

1941



PROPIEDADES Y CAPACIDADES DE LOS VWDQU ESTRUCTURALES LAMINADOS EN FRÍO Y PRODUCIDOS EN COSTA RICA

Marija Romanjek

Resumen

En este artículo se presentan los resultados de los cálculos hechos por la autora con el propósito de facilitar los diseños de las estructuras hechas en tubos estructurales. Los cálculos se realizaron para todos las secciones tipo “tubo estructural” rectangular que se producen actualmente en Costa Rica por las empresas METALCO y TUBOTICO, considerando las características del acero utilizado. Se presentan tablas con las propiedades geométricas de las secciones de los perfiles calculadas con base en las dimensiones declaradas por los fabricantes, el límite de fluencia incrementado en compresión y en flexión, las capacidades nominales de los perfiles para la flexión y cortante, capacidades de las vigas con flexión y cortante combinados para el método de esfuerzos de trabajo (ASD) y para el método de esfuerzos últimos (LRFD), la fuerza crítica nominal para el pandeo del alma bajo una fuerza concentrada y las capacidades nominales de los perfiles considerados como columnas. Las tablas y sus datos cumplen con las especificaciones de *American Iron and Steel Institute (AISI)* y son de utilidad para los diseñadores de los sistemas estructurales, debido a que actualmente no hay manuales confiables en el país para tal efecto.

Abstract

This article presents the results of the calculations made by the author with the purpose of facilitating the design of structures made with square structural tubing. The calculations were made for all the sections “square structural tubing” that are nowadays produced by METALCO and TUBOTICO, considering the characteristics of the steel used. There are presented also, charts with the geometric properties of the sections of the members calculated on base with the measures declared by the producers, the yield point incremented for compression, and for bending yield point, capacities of the beams on bending and shear, capacities of the beams on combined bending and shear for the method of Allowable Stress Design (ASD), and for the Load and Resistance Factor Design (LRFD), and the nominal web crippling strength, and nominal axial strength. The charts and their data are according to the specifications of the *American Iron and Steel Institute (AISI)* and are of utility for the designers of structural systems, considering that there are no trusting manuals in the country for that purpose.

TUBO ESTRUCTURAL PRODUCIDO EN COSTA RICA

PROPIEDADES GEOMÉTRICAS DE LAS SECCIONES

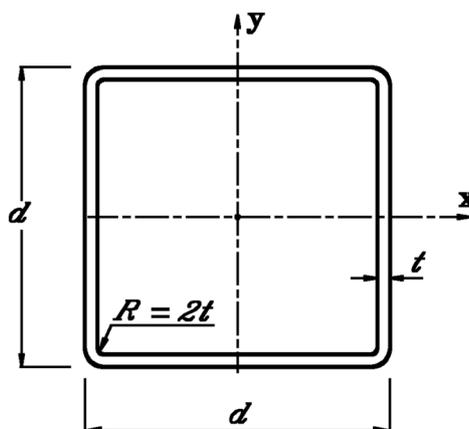


Figura #1

Tabla #1 Propiedades geométricas de las secciones calculadas basándose en las dimensiones indicadas por los fabricantes.

	SECCIÓN	d	t	A	$I_x = I_y$	$S_x = S_y$	$r_x = r_y$
		cm	cm	cm ²	cm ⁴	cm ³	cm
M	72x72x1.2	7,2	0,12	3,34	27,6	7,67	2,88
E	72x72x1.5	7,2	0,15	4,13	33,8	9,39	2,86
T	72x72x1.9	7,2	0,19	5,17	41,6	11,57	2,84
A	92x92x1.2	9,2	0,12	4,30	58,6	12,74	3,69
L	92x92x1.5	9,2	0,15	5,33	72,1	15,67	3,68
C	92x92x1.9	9,2	0,19	6,69	89,4	19,43	3,65
O							
T U B O T I C O	38x38x2.4	3,8	0,238	3,15	6,32	3,33	1,417
	50x50x1.8	5,0	0,180	3,33	12,58	5,03	1,943
	50x50x2.4	5,0	0,238	4,29	15,65	6,26	1,910
	72x72x1.8	7,2	0,180	4,92	39,7	11,04	2,84
	72x72x3.2	7,2	0,317	8,30	63,4	17,62	2,77
	100x100x1.8	10,0	0,180	6,93	110,2	22,0	3,99
	100x100x3.2	10,0	0,317	11,85	181,2	36,2	3,91
	125x125x1.8	12,5	0,180	8,73	219	35,0	5,01
	125x125x3.2	12,5	0,317	15,02	365	58,5	4,93
	125x125x4.8	12,5	0,475	21,9	513	82,2	4,84
	150x150x1.8	15,0	0,180	10,53	383	51,0	6,03
	150x150x3.2	15,0	0,317	18,19	645	86,0	5,95
	150x150x4.8	15,0	0,475	26,6	917	122,2	5,87

Donde:

A = área de la sección

I_x, I_y = momentos de inercia de la sección con respecto a los ejes x y y , respectivamente

S_x, S_y = módulos elásticos de la sección con respecto a los ejes x y y , respectivamente

r_x, r_y = radios del giro de la sección con respecto a los ejes x , y y respectivamente

PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ACERO

Límite de Fluencia Mínimo del Acero Virgen: $F_y = 227$ MPa

Esfuerzo Último Mínimo del Acero Virgen:

$F_u = 340$ MPa

Módulo de Elasticidad: $E = 203$ GPa

Módulo de Rigidez: $G = 78$ GPa

Tabla #2 Límite de Fluencia Incrementado, F_{ya} , según la Sección A7.2 de Cold Formed Steel Design Manual, edit. AISI, con $F_{yf} = 227$ MPa

	SECCIÓN	COMPRESIÓN	FLEXIÓN
		MPa	MPa
M	72x72x1.2	237*	245*
E	72x72x1.5	239*	250*
T	72x72x1.9	243	255
A	92x92x1.2	235*	245*
L	92x92x1.5	236*	250*
C	92x92x1.9	239*	255*
O			
T U B O T I C O	38x38x2.4	267	290
	50x50x1.8	249	265
	50x50x2.4	257	276
	72x72x1.8	242	254
	72x72x3.2	254	273
	100x100x1.8	238*	247*
	100x100x3.2	246	261
	125x125x1.8	235*	243*
	125x125x3.2	242	254
	125x125x4.8	250	267
	150x150x1.8	234*	240*
	150x150x3.2	239*	250*
150x150x4.8	246	261	

* No se debe usar debido a que la sección no es completamente efectiva y el factor de reducción ρ es menor de uno. Usar $F_y = 227$ MPa

Tabla #3 *Capacidad Nominal en Tracción, T_n*
(según la Sección C2 de AISI)

CAPACIDADES DE LOS TUBOS ESTRUCTURALES

En los cálculos de las capacidades se usaron los esfuerzos de fluencia incrementados por el trabajo en frío, según lo permiten las normas de American Iron and Steel Institute (AISI)

Donde:

d = peralte de la sección

t = espesor de los perfiles

A = área de la sección

F_{ya} = límite de fluencia incrementado para la tracción

T_n = tracción nominal, debe modificarse con el Factor de Seguridad, $\Omega_t = 1,67$ o con el Factor de Resistencia, $\Phi_t = 0,95$, según el método de diseño que se está usando.

Tabla #4 Capacidad Nominal para la flexión (C3, AISI)

	SECCIÓN	f	ρ	y _c	I _{xef}	minS _{xef}	M _{nxo}	V _n	Ω _v	Φ _v	
		[MPa]		cm	cm ⁴	cm ³	kNm	kN	(ASD)	(LRFD)	
M	72x72x1.2	227	0,809	3,44	25,6	6,81	1,546	21,2	1,5	1,00	
E	72x72x1.5	227	0,951	3,56	33,2	9,12	2,07	25,7	1,5	1,00	
T	72x72x1.9	255	1	3,60	41,6	11,57	2,95	31,4	1,5	1,00	
A	92x92x1.2	227	0,662	4,21	50,9	10,19	2,31	27,7	1,67	0,90	
L	92x92x1.5	227	0,795	4,37	66,6	13,80	3,13	33,9	1,5	1,00	
C	92x92x1.9	227	0,945	4,54	87,7	18,82	4,27	41,7	1,5	1,00	
O											
T	38x38x2.4	290	1	1,90	6,32	3,33	0,965	15,4	1,5	1,00	
	50x50x1.8	265	1	2,50	12,58	5,03	1,333	19,2	1,5	1,00	
	50x50x2.4	276	1	2,50	15,65	6,26	1,729	23,2	1,5	1,00	
	72x72x1.8	254	1	3,60	39,7	11,04	2,80	30,0	1,5	1,00	
	B	72x72x3.2	273	1	3,60	63,4	17,62	4,81	45,7	1,5	1,00
	O	100x100x1.8	227	0,858	4,83	104,5	20,2	4,59	43,7	1,5	1,00
	T	100x100x3.2	261	1	5,00	181,2	36,2	9,45	69,9	1,5	1,00
	I	125x125x1.8	227	0,719	5,81	195,6	29,3	6,64	56,0	1,5	1,00
	C	125x125x3.2	254	1	6,25	365	58,5	14,87	91,5	1,5	1,00
	O	125x125x4.8	267	1	6,25	513	82,2	21,9	124,9	1,5	1,00
		150x150x1.8	227	0,616	6,76	325	39,4	8,94	32,5	1,67	0,90
		150x150x3.2	227	0,959	7,43	636	84,0	19,07	113,1	1,5	1,00
		150x150x4.8	261	1	7,50	917	122,2	31,9	157,2	1,5	1,00

Donde:

f = esfuerzo máximo en la sección (límite de fluencia incrementado para la flexión donde se permite o límite de fluencia del acero virgen).

I_{xef} = momento de inercia de la sección efectiva con respecto al eje x .

M_{nxo} = momento nominal de la sección para la flexión alrededor del eje x centroidal con el esfuerzo máximo f . Debe modificarse con el Factor de Seguridad o con el Factor de Resistencia.

- usando el Método de Esfuerzos de Trabajo (ASD) se divide con el Factor de Seguridad: $\Omega_b = 1,67$
- usando el Método de Esfuerzos Últimos (LRFD) se multiplica con el Factor de Resistencia: $\Phi_b = 0,95$

$minS_{xef}$ = módulo mínimo efectivo de la sección para la flexión alrededor del eje x .

V_n = Fuerza Cortante Nominal (con $F_y = 227$ MPa). Debe modificarse con el Factor de Seguridad Ω_v o con el Factor de Resistencia Φ_v , indicados en la Tabla 4 y según el método de diseño que se esté usando.

y_c = posición del eje neutro, eje x .

ρ = factor de reducción de la sección.

NOTA: Este tipo de secciones no son susceptibles a pandeos lateral o torsional y por lo mismo las tablas no contienen los valores de las distancias máximas entre arriostres, L_u .

**Tabla #5 Capacidades de las Vigas con Flexión y Cortante Combinados
MÉTODO DE ESFUERZOS DE TRABAJO (ASD) (C3.3.1, AISI)**

M E T A L C O											
72x72x1.2		72x72x1.5		72x72x1.9		92x92x1.2		92x92x1.5		92x92x1.9	
V	M	V	M	V	M	V	M	V	M	V	M
kN	kNm	kN	kNm	kN	kNm	kN	kNm	kN	kNm	kN	kNm
14,13	0,0	17,13	0,0	20,9	0,0	16,59	0,0	21,0	0,0	27,8	0,0
14,0	0,127	17,0	0,154	20,5	0,356	16,0	0,365	20,0	0,873	27,0	0,609
13,0	0,363	16,0	0,443	20,0	0,520	14,0	0,742	18,0	1,133	26,0	0,905
12,0	0,489	15,0	0,599	18,0	0,899	12,0	0,955	15,0	1,402	25,0	1,118
10,0	0,654	14,0	0,715	14,0	1,309	10,0	1,104	12,0	1,588	21,0	1,675
7,0	0,804	12,0	0,885	10,0	1,547	7,0	1,254	8,0	1,753	16,0	2,09
4,0	0,888	8,0	1,096	5,0	1,710	4,0	1,342	4,0	1,845	10,0	2,39
0,0	0,926	0,0	1,240	0,0	1,760	0,0	1,383	0,0	1,874	0,0	2,56
T U B O T I C O											
38x38x2.4		50x50x1.8		50x50x2.4		72x72x1.8		72x72x3.2		100x100x1.8	
V	M	V	M	V	M	V	M	V	M	V	M
kN	kNm	kN	kNm	kN	kNm	kN	kNm	kN	kNm	kN	kNm
10,27	0,0	12,80	0,0	15,47	0,0	20,0	0,0	30,47	0,0	29,1	0,0
10,0	0,131	12,0	0,278	15,0	0,252	19,5	0,373	30,0	0,502	28,5	0,570
9,0	0,278	11,0	0,408	14,0	0,440	19,0	0,524	29,0	0,883	27,0	1,032
8,0	0,362	10,0	0,498	13,0	0,561	18,0	0,731	27,0	1,334	25,0	1,411
7,0	0,423	8,0	0,623	11,0	0,728	16,0	1,006	23,0	1,889	21,0	1,905
6,0	0,469	6,0	0,705	9,0	0,842	12,0	1,341	18,0	2,32	15,0	2,36
4,0	0,532	4,0	0,758	5,0	0,980	8,0	1,537	10,0	2,72	10,0	2,58
0,0	0,578	0,0	0,798	0,0	1,035	0,0	1,677	0,0	2,88	0,0	2,75
100x100x3.2		125x125x1.8		125x125x3.2		125x125x4.8		150x150x1.8		150x150x3.2	
V	M	V	M	V	M	V	M	V	M	V	M
kN	kNm	kN	kNm	kN	kNm	kN	kNm	kN	kNm	kN	kNm
46,6	0,0	37,3	0,0	61	0,0	83,3	0,0	19,5	0,0	75,4	0,0
46,0	0,905	37,0	0,530	60,0	1,606	83,0	1,049	19,0	1,158	75,0	1,175
45,0	1,470	36,0	1,053	59,0	2,26	82,0	2,28	18,0	2,04	73,0	2,86
44,0	1,864	35,0	1,384	57,0	3,17	80,0	3,64	17,0	2,61	70,0	4,24
42,0	2,45	33,0	1,859	54,0	4,14	76,0	5,36	16,0	3,05	65,0	5,79
38,0	3,28	30,0	2,37	50,0	5,10	70,0	7,10	14,0	3,72	58,0	7,30
32,0	4,11	26,0	2,85	45,0	6,01	62,0	8,75	11,0	4,42	50,0	8,55
25,0	4,78	21,0	3,29	37,0	7,08	50,0	10,49	8,0	4,88	40,0	9,68
15,0	5,36	15,0	3,64	25,0	8,12	30,0	12,23	5,0	5,17	25,0	10,77
0,0	5,66	0,0	3,98	0,0	8,90	0,0	13,11	0,0	5,35	0,0	11,42

TABLA #5 continuación

TUBOTICO	
150x150x4.8	
V	M
kN	kNm
104,8	0,0
104,0	2,36
102,0	4,39
98,0	6,77
92,0	9,15
83,0	11,66
71,0	14,05
52,0	16,58
30,0	18,30
0,0	19,10

MÉTODO DE ESFUERZOS DE TRABAJO (ASD) (C3.3.1, AISI)

Donde:

V = fuerza Cortante en la Sección del Perfil.

M = momento Permisible en la Sección del Perfil para la flexión alrededor del eje x en la presencia de la fuerza cortante V .

NOTA: La Tabla 5 no se aplica en el caso de la combinación de flexión y fuerza concentrada (pandeo del alma) sea ésta la carga o la reacción. En este caso se debe satisfacer la siguiente ecuación de interacción (ver Sección C3.5 de AISI):

Para un alma simple y no reforzada

$$1.2 \left(\frac{\Omega_w P}{P_n} \right) + \left(\frac{\Omega_b M}{M_{nxo}} \right) \leq 1.5$$

[Ec. C3.5.1-1]

Donde:

P = fuerza concentrada en la presencia del momento.

M = momento en la sección ó en la sección muy cercana al punto de aplicación del P .

P_n = fuerza nominal del pandeo del alma en ausencia del momento (ver Tabla 7)

M_{nxo} = momento nominal alrededor del eje x centroidal (ver Tabla 4)

**Tabla #6 Capacidades de las Vigas con Flexión y Cortante Combinados
MÉTODO DE ESFUERZOS ÚLTIMOS (LRFD) (C3.3.2, AISI)**

M E T A L C O											
72x72x1.2		72x72x1.5		72x72x1.9		92x92x1.2		92x92x1.5		92x92x1.9	
V _u	M _u	V _u	M _u	V _u	M _u	V _u	M _u	V _u	M _u	V _u	M _u
kN	kNm	kN	kNm	kN	kNm	kN	kNm	kN	kNm	kN	kNm
21,2	0,0	25,7	0,0	31,4	0,0	24,9	0,0	33,9	0,0	41,7	0,0
21,0	0,201	25,0	0,456	31,0	0,444	24,0	0,594	33,0	0,681	41,0	0,740
20,0	0,487	24,0	0,703	30,0	0,825	23,0	0,847	32,0	0,981	40,0	1,146
19,0	0,652	22,0	1,017	28,0	1,264	22,0	1,032	30,0	1,385	38,0	1,670
17,0	0,878	20,0	1,235	25,0	1,690	20,0	1,310	26,0	1,908	33,0	2,48
14,0	1,103	16,0	1,539	21,0	2,08	17,0	1,605	21,0	2,33	26,0	3,17
10,0	1,295	10,0	1,812	15,0	2,45	11,0	1,969	12,0	2,78	15,0	3,78
0,0	1,469	0,0	1,967	0,0	2,79	0,0	2,195	0,0	2,97	0,0	4,06
T U B O T I C O											
38x38x2.4		50x50x1.8		50x50x2.4		72x72x1.8		72x72x3.2		100x100x1.8	
V _u	M _u	V _u	M _u	V _u	M _u	V _u	M _u	V _u	M _u	V _u	M _u
kN	kNm	kN	kNm	kN	kNm	kN	kNm	kN	kNm	kN	kNm
15,40	0,0	19,20	0,0	23,20	0,0	30,0	0,0	45,7	0,0	43,7	0,0
15,00	0,208	19,00	0,182	23,00	0,215	29,0	0,681	45,0	0,797	43,0	0,777
14,00	0,382	18,00	0,441	22,00	0,521	27,0	1,159	44,0	1,235	41,0	1,509
13,00	0,491	16,00	0,700	20,00	0,832	24,0	1,596	41,0	2,018	38,0	2,153
11,00	0,642	13,00	0,932	17,00	1,118	20,0	1,983	36,0	2,815	32,0	2,970
8,00	0,783	10,00	1,081	12,00	1,406	15,0	2,304	28,0	3,611	25,0	3,576
4,00	0,885	5,00	1,223	6,00	1,587	10,0	2,508	15,0	4,316	15,0	4,096
0,00	0,917	0,00	1,266	0,00	1,643	0,0	2,660	0,0	4,570	0,0	4,361
100x100x3.2		125x125x1.8		125x125x3.2		125x125x4.8		150x150x1.8		150x150x3.2	
V _u	M _u	V _u	M _u	V _u	M _u	V _u	M _u	V _u	M _u	V _u	M _u
kN	kNm	kN	kNm	kN	kNm	kN	kNm	kN	kNm	kN	kNm
69,9	0,0	56,0	0,0	91,5	0,0	124,9	0,0	29,3	0,0	113,1	0,0
69,0	1,436	55,0	1,187	91,0	1,475	124,0	2,493	29,0	1,108	112,0	2,521
67,0	2,559	54,0	1,671	90,0	2,547	122,0	4,457	28,0	2,456	110,0	4,213
64,0	3,610	52,0	2,341	88,0	3,870	118,0	6,819	27,0	3,267	106,0	6,318
60,0	4,606	49,0	3,054	85,0	5,229	112,0	9,208	25,0	4,409	100,0	8,463
55,0	5,541	45,0	3,755	80,0	6,856	104,0	11,521	22,0	5,597	92,0	10,537
48,0	6,526	40,0	4,415	72,0	8,717	94,0	13,700	18,0	6,694	80,0	12,806
34,0	7,844	32,0	5,177	62,0	10,389	80,0	15,977	14,0	7,457	65,0	14,826
25,0	8,384	20,0	5,892	35,0	13,052	60,0	18,247	8,0	8,169	40,0	16,946
0,0	8,978	0,0	6,308	0,0	14,127	0,0	20,805	0,0	8,493	0,0	18,117

TABLA #6 continuación

TUBOTICO	
150x150x4.8	
V_u	M_u
kN	kNm
157,9	0,0
156,0	3,74
153,0	6,96
148,0	10,22
140,0	13,78
130,0	17,04
110,0	21,6
85,0	25,5
50,0	28,7
0,0	30,3

Donde

V_u = fuerza cortante en la sección.

M_u = momento permisible en la sección en la presencia de la fuerza cortante V_u .

NOTA: La Tabla 6 no se aplica en el caso de la combinación de flexión y fuerza concentrada (pandeo del alma) sea ésta la carga o la reacción. En este caso se debe satisfacer la siguiente ecuación de interacción (ver Sección C3.5 de AISI):

Para un alma simple y no reforzada:

$$1.07 \left(\frac{P_u}{\Phi_w P_n} \right) + \left(\frac{M_u}{\Phi_b M_{nxo}} \right) \leq 1.42$$

[Ec. C3.5.2-1]

Donde:

P_u = fuerza concentrada en la presencia del momento.

M_u = momento en la sección o en la sección muy cercana al punto de aplicación del P_u .

P_n = fuerza nominal del pandeo del alma en ausencia del momento (ver Tabla 7).

M_{nxo} = momento nominal alrededor del eje x centroidal (ver Tabla 4).

Φ_b = coeficiente de resistencia para la flexión = 0.95

Φ_w = coeficiente de resistencia para el pandeo

PANDEO DEL ALMA DEBIDO A UNA FUERZA CONCENTRADASegún la Sección C3.4 de AISI. Calculado con $F_y = 227$ MPa.*Tabla #7a Fuerza Crítica Nominal del Pandeo del Alma, P_n , para los productos de METALCO*

SECCION	CASO A Pn (kN)	CASO B Pn (kN)	CASO C Pn (kN)	CASO D Pn (kN)
N = 50 mm				
72x72x1.2	7,84	12,88	5,76	14,94
72x72x1.5	11,56	19,25	8,50	23,2
72x72x1.9	17,60	29,7	12,95	37,0
92x92x1.2	7,82	12,85	5,74	14,86
92x92x1.5	11,53	19,2	8,47	23,1
92x92x1.9	17,56	29,7	12,92	36,9
N =100mm				
72x72x1.2	10,85	16,62	7,46	15,71
72x72x1.5	14,82	23,2	10,63	24,1
72x72x1.9	21,26	34,3	15,65	38,2
92x92x1.2	10,81	16,58	7,43	15,63
92x92x1.5	14,78	23,1	10,59	24,0
92x92x1.9	21,22	34,3	15,61	38,1
N =150mm				
72x72x1.2	14,31	21,2	9,15	16,47
72x72x1.5	19,15	28,9	12,75	25,1
72x72x1.9	26,4	40,6	18,35	39,4
92x92x1.2	14,26	21,1	9,12	16,39
92x92x1.5	19,11	28,8	12,71	25,0
92x92x1.9	26,3	40,5	18,30	39,3
N =200mm				
72x72x1.2	17,77	25,8	10,85	17,24
72x72x1.5	23,5	34,6	14,88	26,1
72x72x1.9	31,9	47,8	21,05	40,7
92x92x1.2	17,71	25,7	10,81	17,15
92x92x1.5	23,4	34,5	14,83	26,0
92x92x1.9	31,8	47,8	21,0	40,5

TABLA #7b Fuerza Crítica Nominal del Pandeo del Alma,
 P_n , para los productos de TUBOTICO

SECCION	CASO A Pn (kN)	CASO B Pn (kN)	CASO C Pn (kN)	CASO D Pn (kN)
N=50mm				
38x38x2.4	26,6	45,3	19,6	58,0
50x50x1.8	16,0	26,9	11,8	33,4
50x50x2.4	26,5	45,2	19,5	57,9
72x72x1.8	16,0	26,9	11,8	33,2
72x72x3.2	45,0	77,7	33,2	102,0
100x100x1.8	15,9	26,8	11,7	33,1
100x100x3.2	45,0	77,6	33,1	101,8
125x125x1.8	15,9	26,8	11,7	32,9
125x125x3.2	44,9	77,5	33,0	101,5
125x125x4.8	96,4	168,5	71,0	227,3
150x150x1.8	15,8	26,7	11,6	32,8
150x150x3.2	44,8	77,4	33,0	101,3
150x150x4.8	96,4	168,4	70,9	227,0
N=100mm				
38x38x2.4	31,2*	51,1*	23,0*	59,6*
50x50x1.8	19,5	31,3	14,3	34,5
50x50x2.4	31,1	51,0	22,9	59,5
72x72x1.8	19,4	31,2	14,3	34,4
72x72x3.2	51,2	85,4	37,7	104,1
100x100x1.8	19,4	31,2	14,3	34,2
100x100x3.2	51,1	85,3	37,6	103,8
125x125x1.8	19,3	31,1	14,2	34,1
125x125x3.2	51,0	85,2	37,5	103,6
125x125x4.8	105,6	180,1	77,8	230,4
150x150x1.8	19,3	31,1	14,2	33,9
150x150x3.2	50,9	85,1	37,5	103,3
150x150x4.8	105,5	180,0	77,7	230,0

Tala #7b continuación

SECCION	CASO A P _n (kN)	CASO B P _n (kN)	CASO C P _n (kN)	CASO D P _n (kN)
N=150mm				
38x38x2.4	36,3*	57*	26,4*	61,1*
50x50x1.8	24,6*	37,6*	16,9*	35,7*
50x50x2.4	36,3*	56,9*	26,3*	61,1*
72x72x1.8	24,5	37,5	16,9	35,5
72x72x3.2	55,2	88,9	42,2	106,1
100x100x1.8	24,4	37,4	16,8	35,4
100x100x3.2	57,2	93,0	42,1	105,9
125x125x1.8	24,4	37,3	16,7	35,2
125x125x3.2	57,1	92,9	42,0	105,6
125x125x4.8	114,8	191,7	84,6	233,5
150x150x1.8	24,3	37,3	16,7	35,1
150x150x3.2	57,0	92,8	42,0	105,4
150x150x4.8	114,7	191,5	84,4	233,1
N=200mm				
38x38x2.4	43,3*	66,1*	29,8*	62,6*
50x50x1.8	29,8*	44,4*	19,5*	36,8*
50x50x2.4	43,2*	66,0*	29,7*	62,5*
72x72x1.8	29,7	44,4	19,4	36,7
72x72x3.2	64,4*	101,0*	46,7*	108,2*
100x100x1.8	29,6	44,3	19,3	36,5
100x100x3.2	64,3	100,9	46,6	107,9
125x125x1.8	29,5	44,2	19,3	36,4
125x125x3.2	64,2	100,8	46,5	107,6
125x125x4.8	124,0	203,2	91,3	236,5
150x150x1.8	29,5	44,1	19,2	36,2
150x150x3.2	64,1	100,7	46,4	107,4
150x150x4.8	123,9	203,1	91,2	236,2
*no cumple con el requisito N/h<3,5 y los valores no son validos				

Donde:

P_n = Fuerza Crítica Nominal del Pandeo del Alma. Debe modificarse con el Factor de Seguridad o con el Factor de Resistencia;

- usando el Método de Esfuerzos de Trabajo (ASD) se divide entre el Factor de Seguridad: $\Omega_w = 1,85$.
- usando el Método de Esfuerzos Últimos (LRFD) se multiplica por el Factor de Resistencia: $\Phi_w = 0,75$.

N = Ancho del Apoyo (aplastamiento).

CASO A: Reúne las reacciones o cargas concentradas en los extremos de una viga o voladizo cuando la distancia entre el borde del apoyo de la fuerza y el borde de la viga es menor de $1,5h$ y cuando la separación entre los bordes de los apoyos de las cargas o reacciones adyacentes y opuestas, actuando éstas sea en el ala superior o inferior, es mayor de $1,5h$.

CASO B: Reúne las reacciones o cargas concentradas cuando la distancia entre el borde del apoyo y el borde de la viga es igual o mayor de $1,5h$ y cuando la separación entre los bordes de

los apoyos de las cargas o reacciones adyacentes y opuestas, actuando éstas sea en el ala superior o inferior, es mayor de $1,5h$.

CASO C: Incluye las reacciones o cargas concentradas en los extremos de una viga o voladizo cuando la distancia entre el borde del apoyo de la fuerza y el borde de la viga es menor de $1,5h$ y cuando la separación entre los bordes de los apoyos de las cargas o reacciones adyacentes y opuestas, actuando éstas simultáneamente en el ala superior e inferior, es igual o menor de $1,5h$.

CASO D: Incluye las reacciones o cargas concentradas cuando la distancia entre el borde del apoyo y el borde de la viga es igual o mayor de $1,5h$ y cuando la separación entre los bordes de los apoyos de las cargas o reacciones adyacentes y opuestas, actuando éstas simultáneamente en el ala superior e inferior, es igual o menor de $1,5h$.

Donde h es la altura de la parte plana del alma.

En la Figura 2 se muestran gráficamente las condiciones de los cuatro casos.

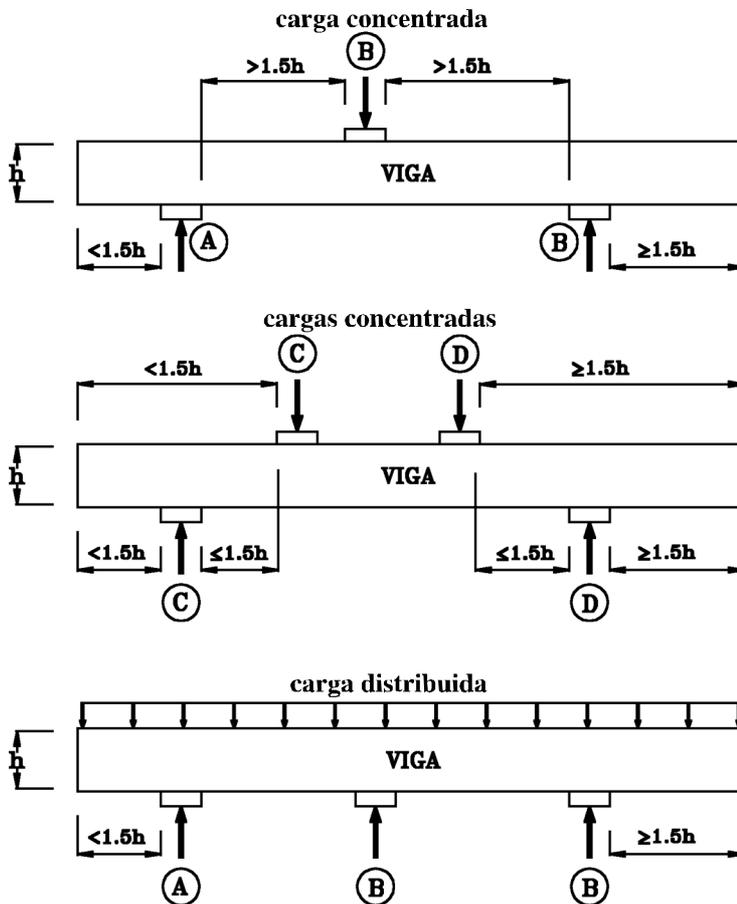


Figura #2 Esquemas de las diferentes condiciones de las cargas concentradas

CAPACIDADES DE LOS TUBOS ESTRUCTURALES COMO COLUMNAS

Según la Sección C4 de AISI, la fuerza axial nominal P_n en un elemento comprimido céntricamente será: $P_n = A_e F_n$

Donde:

A_e = área efectiva de la sección de un elemento céntricamente comprimido con los esfuerzos F_n y que depende de estos esfuerzos.

Usando el Método de Esfuerzos de Trabajo, (ASD), la fuerza axial nominal P_n debe dividirse entre el Factor de Seguridad $\Omega_c = 1.80$ y usando el Método de Esfuerzos Últimos (LRFD) debe multiplicarse por el Factor de resistencia $\Phi_c = 0,85$.

COLUMNAS RESTRINGIDAS AL PANDEO

En las columnas restringidas al pandeo, P_n depende únicamente del área efectiva de la sección del perfil y ésta a su vez de los esfuerzos f . Las Tablas 8 muestran la variación del área efectiva, A_e , en función de los esfuerzos f .

Tabla #8a Área Efectiva en función de Esfuerzo f en cm^2 para los productos de Metalco

f MPa	72x72x1.2	72x72x1.5	72x72x1.9	92x92x1.2	92x92x1.5	92x92x1.9
227	2,75	3,94	sección completamente efectiva para $f = F_{ys} = 243 \text{ MPa}$	2,92	4,31	6,35
220	2,77	3,98		2,96	4,35	6,41
210	2,81	4,02		3,01	4,42	6,48
200	2,86	4,07		3,06	4,49	6,56
190	2,90	4,12		3,12	4,56	6,65
180	2,95	4,13		3,18	4,64	6,69
170	3,00	4,13		3,24	4,72	6,69
160	3,05	4,13		3,31	4,80	6,69
150	3,11	4,13		3,38	4,89	6,69
140	3,17	4,13		3,46	4,99	6,69
130	3,23	4,13		3,54	5,09	6,69
120	3,30	4,13		3,64	5,20	6,69
110	3,34	4,13		3,74	5,31	6,69
100	3,34	4,13		3,85	5,33	6,69
90	3,34	4,13		3,97	5,33	6,69
80	3,34	4,13		4,10	5,33	6,69
70	3,34	4,13		4,25	5,33	6,69
60	3,34	4,13		4,30	5,33	6,69
50	3,34	4,13		4,30	5,33	6,69
40	3,34	4,13		4,30	5,33	6,69
30	3,34	4,13	4,30	5,33	6,69	
20	3,34	4,13	4,30	5,33	6,69	
10	3,34	4,13	4,30	5,33	6,69	

Tabla #8b Área Efectiva en función de Esfuerzo f en cm² para los productos de TUBOTICO

f	38x38x2.4	50x50x1.8	50x50x2.4	72x72x1.8	72x72x3.2	100x100x1.8	100x100x3.2
MPa							
227	sección completamente efectiva para f = F_{ya} = 267 MPa	sección completamente efectiva para f = F_{ya} = 249 MPa	sección completamente efectiva para f = F_{ya} = 257 MPa	sección completamente efectiva para f = F_{ya} = 242 MPa	sección completamente efectiva para f = F_{ya} = 254 MPa	6,02	sección completamente efectiva para f = F_{ya} = 246 MPa
220						6,07	
210						6,16	
200						6,25	
190						6,34	
180						6,44	
170						6,54	
160						6,64	
150						6,76	
140						6,87	
130						6,93	
120						6,93	
110						6,93	
100						6,93	
90						6,93	
80						6,93	
70						6,93	
60						6,93	
50	6,93						
40	6,93						
30	6,93						
20	6,93						
10	6,93						

Tabla #8b continuación

f	125x125x1.8	125x125x3.2	125x125x4.8	150x150x1.8	150x150x3.2	150x150x4.8
MPa						
227	6,42	sección completamente efectiva para f = F_y = 242 MPa	sección completamente efectiva para f = F_y = 250 MPa	6,69	17,52	sección completamente efectiva para f = F_y = 246 MPa
220	6,49			6,77	17,66	
210	6,59			6,89	17,87	
200	6,71			7,01	18,08	
190	6,82			7,15	18,19	
180	6,95			7,29	18,19	
170	7,08			7,44	18,19	
160	7,22			7,60	18,19	
150	7,37			7,78	18,19	
140	7,53			7,97	18,19	
130	7,70			8,17	18,19	
120	7,89			8,40	18,19	
110	8,09			8,64	18,19	
100	8,31			8,91	18,19	
90	8,54			9,21	18,19	
80	8,73			9,55	18,19	
70	8,73			9,92	18,19	
60	8,73			10,34	18,19	
50	8,73			10,53	18,19	
40	8,73			10,53	18,19	
30	8,73	10,53	18,19			
20	8,73	10,53	18,19			
10	8,73	10,53	18,19			

COLUMNAS CON POSIBILIDAD DEL PANDEO

En las columnas con posibilidad del pandeo, P_n depende del área efectiva y de las longitudes del pandeo KL . Las Tablas 9 muestran los valores de P_n para las diferentes longitudes del pandeo considerando el área efectiva.

*Tabla #9a Fuerza Axial Nominal Concentrada P_n
en kN para los productos de METALCO*

KL	72x72x1.2	72x72x1.5	72x72x1.9	92x92x1.2	92x92x1.5	92x92x1.9
m						
0,25	62,2	89,3	125,1	66,3	97,7	144,0
0,50	61,7	88,6	123,7	66,0	97,3	143,3
0,75	61,0	87,4	121,3	65,6	96,6	142,1
1,00	59,9	85,7	118,0	64,9	95,6	140,5
1,25	58,6	83,7	113,9	64,1	94,3	138,4
1,50	57,1	81,2	109,0	63,1	92,8	135,9
1,75	55,3	78,3	103,6	62,0	91,0	133,0
2,00	53,2	74,3	97,7	60,7	89,0	129,7
2,25	51,0	69,9	91,4	59,3	86,7	126,0
2,50	48,6	65,3	84,8	57,7	84,2	121,6
2,75	46,0	60,5	78,1	56,0	81,6	116,0
3,00	43,4	55,6	71,3	54,2	78,8	110,2
3,25	40,6	50,8	64,6	52,3	75,8	104,3
3,50	37,6	46,1	58,1	50,3	72,7	98,2
3,75	33,9	41,5	51,8	48,2	69,4	92,1
4,00	30,4	37,1	45,8	46,1	66,1	85,9
4,25	26,9	32,9	40,6	43,9	62,6	79,8
4,50	24,0	29,3	36,2	41,7	59,1	73,9
4,75	21,6	26,3	32,5	39,4	54,9	68,0
5,00	19,5	23,7	29,3	37,1	50,4	62,4
5,25	17,7	21,5	26,6	34,8	46,0	56,8
5,50	16,1	19,6	24,2	32,5	41,9	51,8
5,75	14,7	18,0	22,2	30,5	38,4	47,4
6,00	13,5	16,5	20,4	28,6	35,2	43,5

Tabla #9b Fuerza Axial Nominal Concentrada P_n
en kN para los productos de TUBOTICO

KL	38x38x2.4	50x50x1.8	50x50x2.4	72x72x1.8	72x72x3.2	100x100x1.8	100x100x3.2
m							
0,25	82,6	82,2	109,3	118,5	210	136,4	291
0,50	78,4	80,1	106,3	117,1	207	135,8	289
0,75	71,9	76,8	101,5	114,8	203	135,0	286
1,00	63,7	72,3	95,2	111,7	196,7	133,7	282
1,25	54,5	66,9	87,6	107,9	189,1	132,2	277
1,50	45,0	60,8	79,2	103,3	180,4	130,3	270
1,75	35,9	54,4	70,3	98,2	170,5	128,1	263
2,00	27,8	47,8	61,2	92,6	159,8	125,6	255
2,25	21,9	41,3	52,3	86,7	148,5	122,8	246
2,50	17,77	35,1	44,0	80,5	136,8	119,7	236
2,75	14,69	29,2	36,4	74,1	124,9	116,4	226
3,00	12,34	24,6	30,6	67,7	113,1	112,9	215
3,25	10,51	20,9	26,0	61,4	101,5	109,1	204
3,50	9,07	18,04	22,5	55,3	90,3	105,1	193,2
3,75	7,90	15,71	19,6	49,4	79,5	101,0	181,8
4,00	6,94	13,81	17,19	43,6	69,9	96,7	170,3
4,25	6,15	12,23	15,23	38,6	61,9	91,9	158,9
4,50	5,48	10,91	13,58	34,5	55,2	86,1	147,7
4,75	4,92	9,79	12,19	30,9	49,6	80,3	136,6
5,00	4,44	8,84	11,00	27,9	44,7	74,7	125,9
5,25	4,03	8,02	9,98	25,3	40,6	69,2	115,5
5,50	3,67	7,31	9,09	23,1	37,0	63,9	105,3
5,75	3,36	6,68	8,32	21,1	33,8	58,6	96,4
6,00	3,09	6,14	7,64	19,39	31,1	53,9	88,5

Tabla #9b continuación

KL	125x125x1.8	125x125x3.2	125x125x4.8	150x150x1.8	150x150x3.2	150x150x4.8
m						
0,25	145,6	363	546	151,8	397	654
0,50	145,3	362	544	151,6	397	653
0,75	144,7	359	540	151,2	395	650
1,00	143,9	356	535	150,7	394	645
1,25	143,0	352	528	150,0	392	640
1,50	141,7	347	520	149,1	389	633
1,75	140,3	341	511	148,1	386	626
2,00	138,7	334	500	147,0	382	617
2,25	136,9	327	489	145,7	378	607
2,50	134,9	319	476	144,3	374	597
2,75	132,7	311	462	142,8	369	585
3,00	130,3	301	448	141,1	363	573
3,25	127,8	292	432	139,3	358	560
3,50	125,1	282	416	137,3	350	546
3,75	122,3	271	400	135,3	342	531
4,00	119,3	261	383	133,1	333	516
4,25	116,2	250	366	130,9	324	500
4,50	113,0	239	348	128,5	315	484
4,75	109,7	227	331	126,0	305	468
5,00	106,2	216	313	123,5	295	451
5,25	102,7	205	296	120,9	285	434
5,50	99,2	193,8	279	118,2	275	417
5,75	95,5	182,8	262	115,4	265	400
6,00	91,9	172,0	245	112,5	255	383

