GRUPO AZERO

MANUAL DE DISEÑO PARA LA CONSTRUCCIÓN CON ACERO

ALTOS HORNOS DE MÉXICO

GRUPO AZERO | FERRETERA PRADO | COMPAÑÍA FERRETERA PRADO | FERRETERA PRADO HERRAMIENTAS | FERRETERÍA Y ACEROS DE QUERÉTARO | FERRETERÍA Y ACEROS DE CELAYA | FERRETERÍA Y ACEROS DE IRAPUATO | FERRETERÍA Y ACEROS 2000 | PERFILES Y FERRETERÍA MIXCOAC

ALTOS HORNOS DE MEXICO

Durante más de setenta años Altos Hornos de México (AHMSA) ha impulsado el progreso del país con su producción de acero, materia prima imprescindible para el desarrollo nacional y que genera mayor calidad de vida para los mexicanos.

La industria de la construcción en México es intensiva en el uso de acero y mantiene tasas de crecimiento que requieren mayor producción y con grados y especificaciones adecuadas para ejecutar obras con sistemas constructivos tecnificados, costos más competitivos y de acuerdo a normas que garanticen mayor seguridad.

AHMSA genera perfiles estructurales, placa, láminas roladas en caliente y en frío, aceros que los constructores utilizan en desarrollos habitacionales, edificaciones diversas, obras industriales, proyectos de urbanización e incluso en obras artísticas, actividades que en su conjunto representan una sostenida y exigente demanda de productos siderúrgicos.

Para facilitar y apoyar el trabajo de los constructores y calculistas, Altos Hornos de México preparó una nueva edición revisada y actualizada del "Manual de Diseño para la Construcción con Acero", obra de alta utilidad para los especialistas de las industrias metalmecánica y de la construcción.

Este manual incluye información completa y precisa que facilitará realizar cálculos para cualquier construcción estructural con acero. Contiene desde las normas y características a las que se sujetan los aceros fabricados por AHMSA, hasta información referente a remaches, tornillos, soldadura, área neta de ángulos y conexiones típicas.

Asimismo, contiene lo referente a unidades, así como esfuerzos permisibles y resistencias de diseño en relación a tensión, compresión en columnas aisladas y flexión de vigas, entre otras materias.

En capítulos separados se incluyen una lista general de productos fabricados por AHMSA con dimensiones y pesos, prácticas y tolerancias de laminación, una regionalización sísmica de la República Mexicana, así como fórmulas y diagramas para vigas con diversas condiciones de carga, armaduras y marcos rígidos.

Un capítulo especial, el VII, está dedicado al detalle de las dimensiones y propiedades de los perfiles para diseñar y detallar estructuras.

Por su amplio y preciso contenido, este manual es un aliado imprescindible para el constructor y calculista, y Altos Hornos de México lo edita como parte de sus servicios al consumidor, que con su aplicación puede obtener los mejores resultados de cada producto en la construcción con acero.

Ing. Luis Zamudio Miechielsen
Director General de Altos Hornos de México

Ing. Miguel H. Elizondo E.
Director Corp. de Comercialización

NOTA

La información presentada en este Manual se ha elaborado de conformidad con los principios de ingeniería reconocidos y es sólo para información general. Si bien se cree, ésta puede ser exacta, esta información no se debe utilizar o depender de ella para cualquier aplicación específica sin el examen profesional competente y la verificación de su exactitud, adecuación y aplicabilidad por un ingeniero profesional con licencia, diseñador o arquitecto. La publicación del material contenido en este documento no pretende ser representación o garantía por parte de Altos Hornos de México, o de cualquier otra persona nombrada en este documento. Quien haga uso de esta información asume toda la responsabilidad derivada de dicha utilización.

INDICE

PAG.

CAPITULO I

Normas y características a las que se sujetan los aceros fabricados por Altos Hornos de México 1

I.1 Sociedad americana de ensayes y materiales 2
I.2 Comité de registro naval Lloyd 4
I.3 Bufete naval americano 4
I.4 Instituto americano del petróleo 4
I.5 Sociedad de ingenieros de la industria automotriz Instituto americano del hierrro y el acero 4
I.6 Estandard británico 6
I.7 Dirección general de normas 6
I.8 Aspectos generales del acero estructural 13

CAPITULO II

Notación, unidades, esfuerzos permisibles y resistencia de diseño 32

II.1 Notación y unidades 33
II.1.1 Especificaciones para diseño, fabricación y montaje de estructuras de acero para edificios 34
II.1.2 Normas técnicas complementarias para diseño y construcción de estructuras metálicas 46
II.1.3 Especificaciones AISC 2005. ASD-LRFD 59
II.2 Esfuerzos permisibles y resistencias de diseño 75
II.2.1 Especificaciones para edificios de acero 76
II.2.2 Diseño por esfuerzos permisibles 85
II.2.3 Resistencias de diseño 98
II.2.4 Miembros en tensión 136
II.2.5 Miembros en compresión 142
II.2.6 Miembros en flexión 157
II.2.7 Miembros en flexocomprimidos 167
II.2.8 Diseño de miembros en flexocomprimidos 172

CAPITULO III

Práctica y tolerancia de laminación 176

III.1 Práctica de laminación 177
III.2 Tolerancias de laminación 179

CAPITULO IV

Lista general de productos 186

IV.1 Dimensiones y pesos 187

PAG.

CAPITULO V
Regionalización de riesgos naturales en la república mexicana, para el diseño de estructuras 197
V.1 Regionalización sísmica de la república mexicana 199
V.1.1 Regionalización sísmica (2009) 202
V.1.2 Espectros de diseño / Parámetros de espectros sísmicos 203
V.1.3 Antecedentes / Variación de los espectros con Ts 203
V.1.4 Zonas sismogénicas 204
V.1.5 Aceleración máxima del terreno (roca) 205
V.1.6 Mapa de regionalización sísmica 206
V.1.7 Aceleración máxima del terreno (roca) / Diseño óptimo 207
V.1.8 Peligro sísmico / C Óptimos, T= 0.3 seg. Grupo A 208
V.1.9 Peligro sísmico / C (Grupo A) / C (Grupo B) 209
V.2 Regionalización eólica de la república mexicana 211
V.2.1 Regionalización de vientos, UNAM, edición 1964 214
V.2.2 Isotacas 2008 215

CAPITULO VI
Fórmulas y Diagramas 216
VI.1 Vigas con diferentes condiciones de carga 217
VI.1.1 Notación especial 218
VI.1.2 Empotradas en un extremo, libre en el otro 219
VI.1.3 Con apoyos simples 221
VI.1.4 Empotradas en ambos extremos 227
VI.1.5 Empotradas en un extremo y apoyo simple en el otro 232
VI.1.6 Contínuas con claros iguales y cargas uniformemente distribuidas 238
VI.1.7 Contínuas con claros iguales y cargas concentradas en los centros de varios claros 239
VI.1.8 Contínuas con claros iguales y cargas concentradas aplicadas en los tercios de varios claros 240
VI.2 Armaduras 241
VI.3 Marcos rígidos 247
VI.3.1 Marcos rígidos articulados simples 248
VI.3.2 Marcos rígidos empotrados simples 254

PAG.

CAPITULO VII
Dimensiones y propiedades de los perfiles para diseñar y detallar estructuras 261
VII.1 W (IR) 263
VII.2 IE (S) 276
VII.3 HP 279
VII.4 C (CE) 282
VII.5 MC 285
VII.6 L (LI-LD) 288
VII.7 W (TR) 295
VII.8 MT 308
VII.9 ST (TE) 311
VII.10 Tubos cuadrados y rectangulares (HSS) 314
VII.11 Tubos OC 326
VII.12 2L (S) 330
VII.13 2L LLBB 335
VII.14 2L SLBB 341

CAPITULO VIII
Remaches, tornillos estandard y de alta resistencia, soldaduras y conexiones 347
VIII.1 Remaches 349
VIII.1.1 Dimensiones 350
VIII.1.2 Peso en kg por 100 piezas 351
VIII.1.3 Longitud necesaria para diversos agarres 352
VIII.1.4 Capacidad de carga 354
VIII.2 Tornillos 356
VIII.2.1 Características e identificación según su calidad 362
VIII.2.2 Dimensiones 363
VIII.2.3 Peso en kg por 100 piezas 367
VIII.2.4 Signos convencionales y longitud necesaria para diversos agarres 368
VIII.2.5 Resistencia al aplastamiento en los agujeros para tornillos 369
VIII.3 Soldaduras 374
VIII.3.1 Soldaduras de ranura de penetración completa 379
VIII.3.2 Soldaduras de ranura de penetración parcial 393
VIII.3.3 Soldaduras de ranura con bisel acampanado 402
VIII.4 Ángulos 403
VIII.4.1 Áreas netas de ángulos en cm^2 404
VIII.5 Conexiones entre miembros de acero estructural 406
VIII.5.1 Conexiones típicas 407

Red Comercial AHMSA 414

CAPITULO

I

Normas y características a las que se sujetan los aceros fabricados por Altos Hornos de México

- I.1 SOCIEDAD AMERICANA DE ENSAYES Y MATERIALES — ASTM
- I.2 COMITÉ DE REGISTRO NAVAL LLOYD — LLOYD
- I.3 BUFETE NAVAL AMERICANO — ABS
- I.4 INSTITUTO AMERICANO DEL PETRÓLEO — API
- I.5 SOCIEDAD DE INGENIEROS DE LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ — SAE
  INSTITUTO AMERICANO DEL HIERRO Y EL ACERO — AISI
- I.6 ESTANDARD BRITÁNICO — BS
- I.7 DIRECCIÓN GENERAL DE NORMAS (NORMAS OFICIALES MEXICANAS) — DGN-NMX
- I.8 ASPECTOS GENERALES DEL ACERO ESTRUCTURAL

NORMAS Y CARACTERÍSTICAS A LAS QUE SE SUJETAN LOS ACEROS FABRICADOS POR ALTOS HORNOS DE MÉXICO

1.1	SOCIEDAD AMERICANA DE ENSAYES Y MATERIALES *AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS*	ASTM
1.2	COMITÉ DE REGISTRO NAVAL LLOYD	LLOYD
1.3	BUFETE NAVAL AMERICANO *AMERICAN BUFFET STANDAR*	ABS
1.4	INSTITUTO AMERICANO DEL PETRÓLEO *AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE*	API
1.5	SOCIEDAD DE INGENIEROS DE LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ *SOCIETY AUTOMOTIVE ENGINEERING* INSTITUTO AMERICANO DEL HIERRO Y EL ACERO *AMERICAN IRON AND STEEL INSTITUTE*	SAE AISI
1.6	ESTANDARD BRITÁNICO *BRITHIS STANDARD*	BS
1.7	DIRECCIÓN GENERAL DE NORMAS	DGN-NMX
1.8	ASPECTOS GENERALES DEL ACERO ESTRUCTURAL	

I.1 NORMAS ASTM

En los últimos años, la producción del acero a nivel mundial ha tenido cambios significativos. Actualmente existen en el mercado nacional e internacional una gran variedad de tipos de acero que se usan profusamente en la industria de la construcción, naval, mecánica, petrolera y en diversas estructuras especiales, y que evolucionaron debido a las necesidades derivadas de los avances tecnológicos acelerados en los diversos campos de la ingeniería.

En este capítulo se indican los tipos de acero que pueden utilizarse en estructuras diseñadas de acuerdo con las *Especificaciones del Instituto Mexicano de la Construcción en Acero (Especificaciones IMCA-2003), Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal (NTC-RDF-2004) y las Specification for Structural Steel Buildings del American Institute of Steel Construction (Especificaciones AISC 2005)*, así como los remaches, tornillos de alta resistencia, conectores de cortante para sistemas de piso compuestos acero-concreto, metales de aportación y fundentes para soldadura.

Para los efectos de este manual, el término “acero estructural” se refiere a los elementos de acero que componen la estructura, indispensable para soportar las cargas de diseño. El acero estructural consiste de los siguientes elementos: anclas, contraventeos y puntales, armaduras, bases, columnas, conectores de cortante, estructuras de soporte de tuberías, transportadores, largueros y polines, marquesinas, monorrieles, piezas de apoyo, tirantes, péndolas y colgantes, tornillos de alta resistencia de taller y de campo, vigas y trabes.

Los aceros estructurales laminados en caliente, se producen en forma de placas, barras y perfiles de diversas formas.

Las normas aprobadas por la ASTM para placas y perfiles laminados en caliente son A36, A529, A572, A242, A588, A709, A514, A852, A913 y A992. La norma A709 es especial, en ella se definen aceros convenientes para la construcción de puentes.

ASTM A36. Esta norma es aplicable a una gran variedad de perfiles estructurales laminados en caliente y a placas de la misma calidad que aún están disponibles en el mercado mexicano. Tiene un esfuerzo de fluencia de *2 530 kg/cm² (250 MPa, 36 ksi)* y un esfuerzo mínimo de ruptura en tensión de *4 080 kg/cm²* a *5 620 kg/cm² (400 a 550 MPa, 58 a 80 ksi)*, y su soldabilidad es adecuada. Se desarrolló desde hace muchos años en Estados Unidos para la fabricación de estructuras remachadas, atornilladas y soldadas, mejorando el contenido de carbono de los aceros disponibles en aquella época, como el ASTM A7. Con la innovación de este tipo de acero, las conexiones soldadas empezaron a desplazar a las remachadas que pronto desaparecieron.

ASTM A529. El ASTM A529 se usa con mucha frecuencia en la construcción de edificios de acero, también es un grado de acero común en barras y perfiles (ángulos, canales de calidad estructural). El acero A529 básico incluye grado 50 para perfiles de los grupos 1 y 2 de la ASTM; placas hasta de una pulgada de grueso y 12 pulgadas de ancho (25 x 300 mm) y barras hasta de 2 1/2 in (64 mm) de grueso. Los esfuerzos F_y y F_u mínimos son *42* y *60-85 ksi (2 950 y 4 220 a 5 975 kg/cm²)*.

ASTM A572. Este acero está disponible en varios grados dependiendo del tamaño del perfil y grueso de la placa. El grado 50, con F_y = *345 MPa* o *50 ksi (3 515 kg/cm²)* y F_u = *450 MPa* o *65 ksi (4 570 kg/cm²)* está disponible en todos los tamaños y espesores de placa hasta 100 mm (4 in). Este es el grado de acero estructural más utilizado actualmente en el mercado estadounidense, aunque está siendo sustituido rápidamente por el acero A992 en perfiles tipo W.

ASTM A992. El A992 es la adición más reciente (1998) de la lista de aceros estructurales en Estados Unidos. Se produjo para usarse en construcción de edificios, y está disponible solamente en perfiles tipo W. Para propósitos prácticos se trata de un acero A572 grado 50 con requisitos adicionales. Específicamente, además de un esfuerzo de fluencia mínimo especificado de *345 MPa* o *50 ksi (3 515 kg/cm²)*, el A992 también proporciona un límite superior de F_y de *65 ksi (4 570 kg/cm²)*. La relación F_y/F_u no es mayor de 0.85 y el carbono equivalente no excede de 0.50. Ofrece características excelentes de soldabilidad y ductilidad.

En la fabricación de estructuras metálicas fabricadas con aceros de alta resistencia ASTM A529, 572 y 992 se recomienda utilizar electrodos E 7018 (Resistencia mínima a la ruptura en tensión del metal de soldadura, F_{EXX} = *70 ksi = 4 920 kg/cm²*, el 1 corresponde a electrodos adecuados para cualquier posición: plana, horizontal, vertical o sobrecabeza y el número 8 se refiere a las características de la corriente que debe emplearse y a la naturaleza del recubrimiento). El recubrimiento de este electrodo se caracteriza por tener un bajo contenido de hidrógeno y alto porcentaje de polvo de hierro.

Grados de acero para secciones estructurales huecas
(Hollow Structural Section)

Las normas de acero estructural aprobadas por la ASTM para secciones estructurales huecas (HSS) son ASTM A500, A501, A618, A847 y la A53.

ASTM A53. El acero A53 está disponible en tipos E y S, donde E denota secciones fabricadas con soldadura por resistencia y S indica soldadura sin costura. El grado B es conveniente para aplicaciones estructurales; con esfuerzo de fluencia y resistencia a la ruptura en tensión, respectivamente de *35* y *50 ksi (2 400 y 3 515 kg/cm²)*.

ASTM A500. Este tipo de acero está disponible en tubos de sección circular hueca HSS formados en frío en tres grados, y también en los mismos grados de tubos HSS formados en frío, de sección cuadrada y rectangular.

Las propiedades para tubos cuadrados y rectangulares HSS difieren de los circulares HSS. El grado más común tiene un esfuerzo de fluencia y una resistencia de ruptura a la tensión de *46* y *58 ksi (320 MPa o 3 200 kg/cm²* y *405 MPa o 4 100 kg/cm²)*.

ASTM A501. Para fines prácticos El A501 es similar al acero A36. Se usa para tubos HSS de sección circular, cuadrada y rectangular.

Para el diseño de miembros estructurales de acero formados en frío, cuyos perfiles tienen esquinas redondeadas y elementos planos esbeltos, se recomienda consultar las especificaciones del Instituto Americano del Hierro y del Acero *(American Iron and Steel Institute, AISI)*.

Pueden utilizarse otros materiales y productos, diferentes de los indicados en este Manual, si son aprobados por el diseñador y la contratista. La aprobación puede basarse en especificaciones técnicas publicadas que establezcan las propiedades y características del material o producto, que lo hacen adecuado para el uso que se le pretende dar, o en ensayes mecánicos o análisis químicos realizados en un laboratorio acreditado por la entidad de acreditación reconocida en los términos de la *Ley Federal sobre Metrología y Normalización*.

I.2 NORMA LLOYD

AHMSA, ha recibido la aprobación del Comité de Lloyd para fabricar los grados de acero A y B destinados a placas hasta de 32 mm (1 1/4") de grueso.

I.3 NORMAS ABS

AHMSA, produce los grados A, B, D, E para la construcción de estructuras para barcos.

I.4 NORMA API

AHMSA, produce los aceros descritos por el estándar 5L. Grados A, B, X42, X46, X52, X56, X60, X65, X70 y X80.

I.5 NORMAS SAE y AISI

En la tabla 1.1 se proporcionan los análisis de los aceros fabricados por AHMSA bajo esta norma.

Tabla 1.1 Composición de acero al carbón para denominaciones SAE y AISI.

Número límite de la composición química en la olla en % No. ASI.					
SAE	C	Mn	P. max.	S. max.	Correspondiente
1006	0.08 máx.	0.30 - 0.40	0.040	0.050	C1006
1008	0.10 máx.	0.25 - 0.50	0.040	0.050	C1008
1010	0.08 - 0.13	0.30 - 0.60	0.040	0.050	C101D
1012	0.10 - 0.15	0.30 - 0.60	0.040	0.050	C1012
1015	0.13 - 0.18	0.30 - 0.60	0.040	0.050	C1015
1016	0.13 - 0.18	0.60 - 0.90	0.040	0.050	C1016
1017	0.15 - 0.20	0.30 - 0.60	0.040	0.050	C1017
1018	0.15 - 0.20	0.60 - 0.90	0.040	0.050	C1018
1019	0.15 - 0.20	0.70 - 1.00	0.040	0.050	C1019
1020	0.18 - 0.23	0.30 - 0.60	0.040	0.050	C1020
1021	0.18 - 0.23	0.60 - 0.90	0.040	0.050	C1021
1022	0.18 - 0.23	0.70 - 1.00	0.040	0.050	C1022
1023	0.20 - 0.25	0.30 - 0.60	0.040	0.050	C1023
1024	0.19 - 0.25	1.35 - 1.65	0.040	0.050	C1024
1025	0.22 - 0.28	0.30 - 0.60	0.040	0.050	C1025
1026	0.22 - 0.28	0.60 - 0.90	0.040	0.050	C1026
1027	0.22 - 0.29	1.20 - 1.50	0.040	0.050	C1027
1030	0.28 - 0.34	0.60 - 0.90	0.040	0.050	C1030
1035	0.32 - 0.38	0.60 - 0.90	0.040	0.050	C1035
1036	0.30 - 0.37	1.20 - 1.50	0.040	0.050	C1036
1037	0.32 - 0.38	0.70 - 1.00	0.040	0.050	C1037
1038	0.35 - 0.42	0.60 - 0.90	0.040	0.050	C1038
1039	0.37 - 0.44	0.70 - 1.00	0.040	0.050	C1039
1040	0.37 - 0.44	0.60 - 0.90	0.040	0.050	C1040
1041	0.36 - 0.44	1.35 - 1.65	0.040	0.050	C1041
1042	0.40 - 0.47	0.60 - 0.90	0.040	0.050	C1042
1043	0.40 - 0.47	0.70 - 1.00	0.040	0.050	C1043
1045	0.43 - 0.50	0.60 - 0.90	0.040	0.050	C1045
1046	0.43 - 0.50	0.70 - 1.00	0.040	0.050	C1046
1048	0.44 - 0.52	1.10 - 1.40	0.040	0.050	C1048
1049	0.46 - 0.53	0.60 - 0.90	0.040	0.050	C1049
1050	0.46 - 0.55	0.60 - 0.90	0.040	0.050	C1050
1052	0.47 - 0.55	1.20 - 1.50	0.040	0.050	C1052
1055	0.50 - 0.60	0.60 - 0.90	0.040	0.050	C1055
1060	0.55 - 0.65	0.60 - 0.90	0.040	0.050	C1060
1064	0.60 - 0.70	0.50 - 0.80	0.040	0.050	C1064
1065	0.60 - 0.70	0.60 - 0.90	0.040	0.050	C1065
1070	0.65 - 0.75	0.60 - 0.90	0.040	0.050	C1070
1074	0.70 - 0.80	0.50 - 0.80	0.040	0.050	C1074
1078	0.72 - 0.85	0.30 - 0.60	0.040	0.050	C1078
1080	0.75 - 0.88	0.60 - 0.90	0.040	0.050	C1080
1084	0.80 - 0.93	0.60 - 0.90	0.040	0.050	C1084
1085	0.80 - 0.93	0.70 - 1.00	0.040	0.050	C1085
1086	0.80 - 0.93	0.30 - 0.50	0.040	0.050	C1086
1090	0.85 - 0.98	0.60 - 0.90	0.040	0.050	C1090
1095	0.90 - 1.03	0.30 - 0.50	0.040	0.050	C1095
1534	0.19 - 0.25	1.10 - 1.40	0.040	0.050	C1524
1527	0.22 - 0.29	1.20 - 1.50	0.040	0.050	C1527
1536	0.30 - 0.37	1.20 - 1.50	0.040	0.050	C1536
1541	0.36 - 0.44	1.35 - 1.65	0.040	0.050	C1541
1548	0.44 - 0.52	1.10 - 1.40	0.040	0.050	C1548
1552	0.47 - 0.55	1.20 - 1.50	0.040	0.050	C1552

I.6 NORMA BS

Designación BS 4360.

Tabla 1.2 Propiedades mecánicas de los aceros BS, kg/cm².

Grueso (mm)	Esfuerzo de fluencia mínimo		Esfuerzo especificado de ruptura en tensión		Por ciento de alargamiento mínimo en:			
					43 A		50 B	
	43 A	50 B	43 A	50 B	2"	8"	2"	8"
16	2 495	3 620	4 385 - 5 200	4 995 - 6 320	22%	20%	20%	18%
16 a 40	2 445	3 520	4 385 - 5 200	4 995 - 6 320	22%	20%	20%	18%
40 a 63	2 345	3 465	4 385 - 5 200	4 995 - 6 320	22%	20%	20%	18%
63 a 100	2 245	3 315	4 385 - 5 200	4 895 - 6 320	22%	20%	20%	18%

I.7 NORMAS DGN-NMX

Grados de acero estructural

Un buen número de grados de acero estructural están disponibles en perfiles, placas y secciones estructurales huecas (tubos) en el mercado nacional. A continuación se discute brevemente los más importantes y que son reconocidos y aceptados por las normas de diseño mexicanas *(NTC-RCDF-2004)*.

B-254 (ASTM A36)	Acero estructural.
B-99 (ASTM A529)	Acero estructural con límite de fluencia mínimo de 290 MPa (2 950 kg/cm²).
B-282 (ASTM A242)	Acero estructural de baja aleación y alta resistencia.
B-284 (ASTM A572)	Acero estructural de alta resistencia y baja aleación al manganeso-vanadio.
(ASTM A588)	Acero estructural de alta resistencia y baja aleación de hasta 100 mm de grueso, con límite de fluencia mínimo de 345 MPa (3 515 kg/cm²).
(ASTM A913)	Perfiles de acero de alta resistencia y baja aleación, de calidad estructural, producidos por un proceso de tratamiento térmico especial.
(ASTM A992)	Acero estructural para perfiles H laminados para uso en edificios.
B-177 (ASTM A53, grado B)	Tubos de acero, con o sin costura.
B-199 (ASTM A500)	Tubos de acero al carbono para usos estructurales, formados en frío, con o sin costura, de sección circular o de otras formas.
B-200 (ASTM A501)	Tubos de acero al carbono para usos estructurales, formados en caliente, con o sin costura.

En la tabla siguiente se indican los valores de los esfuerzos F_y y F_u de los aceros listados en el cuadro anterior.

Tabla 1.3 Esfuerzos F_y y F_u de aceros estructurales.

Nomenclatura		F_y (3)		F_u (4)	
NMX (1)	ASTM (2)	MPa	kg/cm²	MPa	kg/cm²
B-254	A36	250	2 530	400 a 550	4 080 a 5 620
B-99	A529	290	2 950	414 a 585	4 220 a 5 975
B-282	A242	290	2 950	435	4 430
		320	3 235	460	4 710
		345	3 515	485	4 920
B-284	A572	290	2 950	414	4 220
		345	3 515	450	4 570
		414	4 220	515	5 270
		450	4 570	550	5 620
	A992	345	3 515	450 a 620	4 570 a 6 330
B-177	A53	240	2 460	414	4 220
B-199	A500 (5)	320	3 235	430	4 360
B-200	A501	250	2 530	400	4 080
	A588	345 (6)	3 515 (6)	483 (6)	4 920 (6)
	A913	345 a 483 (7)	3 515 a 4 920 (7)	448 a 620 (7)	4 570 a 6 330 (7)

(1) Norma Mexicana.
(2) American Society for Testing and Materials.
(3) Valor mínimo garantizado del esfuerzo correspondiente al límite inferior de fluencia del material.
(4) Esfuerzo mínimo especificado de ruptura en tensión. Cuando se indican dos valores, el segundo es el máximo admisible.
(5) ASTM especifica varios grados de acero A500, para tubos circulares y rectangulares.
(6) Para perfiles estructurales; para placas y barras, ASTM especifica varios valores, que dependen del grueso del material.
(7) Depende del grado; ASTM especifica grados 50, 60, 65 y 70.

Cuando no existe una norma oficial mexicana para aceros utilizados en nuestro medio se ha indicado solamente la norma ASTM.

Identificación
La especificación, incluyendo tipo o grado, en su caso, a que pertenecen los materiales o productos, se identificará de alguna de las maneras siguientes:

a) Por medio de certificados proporcionados por el laminador o fabricante, debidamente correlacionados con el material o producto al que pertenecen; o
b) Por medio de marcas legibles en el material o producto, hechas por el laminador o fabricante, de acuerdo con la especificación correspondiente.

Acero estructural no identificado
Con la aprobación del diseñador, puede utilizarse acero estructural no identificado en miembros o detalles poco importantes, en los que las propiedades físicas precisas y la soldabilidad del acero no afecten la resistencia de la estructura.

Remaches
Los remaches de acero cumplirán con la última edición de las siguientes normas:

ASTM A502 Remaches de acero estructural; esta especificación incluye tres grados:

Grado 1 Remaches de acero al carbón para uso general;
Grado 2 Remaches de acero al carbono-manganeso, para uso con aceros; y
Grado 3 Semejante al Grado 2, pero con resistencia a la corrosión mejorada.

La certificación del fabricante constituye evidencia suficiente de conformidad con la norma.

Tornillos
Los tornillos de acero de alta resistencia empleados en conexiones estructurales cumplirán con la última edición de una de las siguientes normas de la *Sociedad Americana de Ensayes y Materiales* (American Society of Testing Materials, ASTM):

H-118 (ASTM A307) Sujetadores de acero al carbono con rosca estándar exterior (F_u = 414 MPa; 4 220 kg/cm²).

H-124 (ASTM A325) Tornillos de alta resistencia para conexiones entre elementos de acero estructural [F_u = 830 MPa (8 440 kg/cm²) para diámetros de 13 a 25 mm (½ a 1 pulg.), F_u = 725 MPa (7 380 kg/cm²) para diámetros de 29 y 38 mm (1⅛ y 1 ½ pulg.)].

H-123 (ASTM A490) Tornillos de acero aleado tratado térmicamente para conexiones entre elementos de acero estructural (F_u = 1 035 MPa, 10 550 kg/cm²).

Las normas para tornillos NOM-H-118 (A 307) cubren dos grados de sujetadores; ambos pueden usarse bajo las especificaciones de diseño. Sin embargo, debe notarse que el grado B se emplea generalmente para conectar bridas de tubo y el grado A es la calidad que más comúnmente se usa para fines estructurales.

Metales de aportación y fundentes para soldadura
Los metales de aportación y fundentes para soldadura cumplirán con la última edición de una de las siguientes normas de la American Welding Society (AWS)

H-77 (AWS A5.1) Electrodos de acero al carbono, recubiertos, para soldadura por arco eléctrico.
H-86 (AWS A5.5) Electrodos de acero de baja aleación, recubiertos, para soldadura por arco eléctrico.
H-108 (AWS A5.17) Electrodos desnudos de acero al carbono y fundentes para soldadura por arco eléctrico sumergido.
H-97 (AWS A5.18) Metales de aporte de acero al carbono para soldadura por arco eléctrico protegido con gas.
H-99 (AWS A5.20) Electrodos de acero al carbono para el proceso de soldadura por arco eléctrico con electrodo tubular continuo.

Las nomenclaturas B-XX o B-XXX y H-XX o H-XXX designan normas elaboradas por el Comité Técnico de Normalización de la Industria Siderúrgica, oficializadas por

la Dirección General de Normas de la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (SECOFI); entre paréntesis se han indicado las normas correspondientes de la Sociedad Americana de Ensayes y Materiales (ASTM) y de la Sociedad Americana de la Soldadura (American Welding Society, AWS).

Cuando se especifican electrodos y fundentes, o ambos, de acuerdo con la designación NOM-H, debe estudiarse cuidadosamente las normas para entender bien el significado de la designación, ya que los sistemas de designación NOM-H tienen diferentes criterios. Por ejemplo, en el caso de electrodos de acero al carbono recubiertos, para soldadura por arco eléctrico, NOM-H-77 (AWS A5.1), los primeros dos o tres dígitos indican la resistencia nominal a la tensión, en millares de libras por pulgada cuadrada, del metal de aportación, y los dos dígitos finales indican el tipo de recubrimiento y otras características de la soldadura.

En cambio, en el caso de electrodos desnudos de acero al bajo carbono y fundentes para soldadura de arco sumergido NOM-H-108 (AWS A5.17), el primero o los dos primeros dígitos multiplicados por 10 indican la resistencia nominal a la tensión, mientras que el dígito o los dos dígitos finales multiplicados por 10, indican la temperatura de ensaye en grados Fahrenheit, para pruebas de impacto del metal de aportación. En el caso de electrodos de acero de baja aleación recubiertos, para soldadura por arco eléctrico NOM-H-86-1983 (AWS A5.5), ciertas partes de la designación indican requerimiento de revelado de esfuerzos, mientras que otras indican que no hay este requerimiento.

Conectores de cortante de barra con cabeza para construcción compuesta
Los conectores de cortante de barra con cabeza que se utilizan en la construcción compuesta acero-concreto deben fabricarse con barras que cumplan los requisitos de la ASTM A108, “Especificación para barras de acero al carbón, terminadas en frío, de calidad estándar, grados 1010 a 1020”.

Las propiedades mecánicas principales de los conectores de cortante son:

F_y 345 MPa (3 515 kg/cm²) (correspondiente a una deformación permanente de 0.2 por ciento)
F_u 414 MPa (4 220 kg/cm²)
Elongación en 50 mm 20 por ciento, mínimo
Reducción de área 50 por ciento, mínimo

Las normas indicadas anteriormente cubren casi todos los aceros estructurales que se producen actualmente en México. Las características significativas de calidad de los aceros estructurales que establecen las normas son: composición química (análisis de cuchara y de producto), propiedades mecánicas (resistencia a la tensión, límite de fluencia, requisitos de alargamiento y de doblado), tolerancias dimensionales, acabado, métodos de prueba, criterios de aceptación, etc.

Los perfiles normalizados que se tratan en este manual son fundamentalmente secciones laminadas en caliente.

La designación de los perfiles estructurales que se presentan en este manual es la del Instituto Mexicano de la Construcción en Acero (IMCA); se basa en la forma de la sección transversal de los perfiles, en las dimensiones nominales (peralte nominal), y

en el peso en kilogramo por metro lineal, calculado a partir de la sección transversal, admitiendo que el acero tiene un peso especifico de 7 850 kg/m³.

Independientemente del tipo de perfil de que se trate el ingeniero deberá asegurarse con el productor de acero la disponibilidad y los plazos de entrega antes de definir el proyecto y establecer el pedido de material.

La gama de perfiles estructurales disponible actualmente en AHMSA es:

51 tamaños de vigas perfil Rectangular (IR)
13 tamaños de canales perfil estándar (CE)
13 tamaños de ángulos perfil estándar (LI y LD)

Una de las principales características de calidad de los aceros estructurales que establecen las normas mexicanas es la composición química. Aunque lo que interesa al diseñador son las características mecánicas de los aceros estructurales, la composición química es un índice de la calidad de los mismos y puede, a partir de ella, estimarse con bastante aproximación las propiedades mecánicas.

Los informes certificados de las pruebas hechas por el productor del acero, o los informes certificados de las pruebas efectuadas por el fabricante o por un laboratorio de ensayos, de acuerdo con las normas NOM-B-252-1988 (ASTM A6) ó NOM-B-266-1981 (ASTM A568), según sea aplicable, y con la especificación correspondiente, constituyen evidencia suficiente de conformidad con la norma NOM (ASTM) indicada. Adicionalmente, el fabricante, si se le solicita, proporcionará una certificación de que el acero estructural suministrado cumple con los requisitos del grado especificado.

A continuación se describen los objetivos y campos de aplicación de las normas mexicanas relativas a los aceros estructurales, tornillos, metales de aportación y fundentes para soldadura.

Acero estructural, NOM-B-254-1987 (ASTM A36)
El acero ASTM A36 (NOM-B-254) ha sido, hasta hace poco tiempo en México, el principal tipo de acero para estructuras. Tiene un esfuerzo de fluencia mínimo y de ruptura en tensión de 36 y 58 ksi (2 530 y 4 080 kg/cm²). Una gran variedad de tamaños y tipos de perfiles laminados y placas están disponibles en esta calidad, aunque el esfuerzo de fluencia mínimo especificado disminuye a 32 ksi (2 250 kg/cm²) para placas de hasta de 200 mm (8 pulg.) de grueso.

La norma correspondiente establece los requisitos que deben cumplir los perfiles, placas y barras de acero al carbono, que se usan en construcciones remachadas, atornilladas o soldadas, para puentes, edificios o para propósitos estructurales en general. Incluye requisitos suplementarios cuando se requiera de alta resiliencia (resistencia al impacto). Cuando el acero se use en construcciones soldadas, el procedimiento de soldadura debe ser el adecuado para el tipo de acero y el servicio al que se destine.

Acero estructural de alta resistencia y baja aleación de hasta 100 mm de grueso, con límite de fluencia mínimo de 345 MPa ó 3 515 kg/cm² (ASTM A588)
Esta norma estipula los requisitos que deben cumplir los perfiles estructurales laminados utilizados en construcción soldada y atornillada, principalmente en puentes y edificios.

La resistencia a la corrosión atmosférica de este acero es de aproximadamente cuatro veces mayor que la del acero estructural básico ASTM A36 (NOM-B-254).

Este tipo de acero fue aprobado en 1968, está disponible en varios grados con composiciones químicas diferentes.

El esfuerzo de fluencia mínimo especificado y resistencia a la tensión para todos los grupos ASTM de perfiles estructurales y espesores de placa de 100 mm (4 pulg.) y menores, es de de 50 y 70 ksi (3 515 kg/cm² y 4 920 kg/cm²) respectivamente.

Acero estructural con límite de fluencia mínimo de 290 MPa (2 950 kg/cm²) y con espesor máximo de 12.7 mm, NOM-B-99-1986 (ASTM A529)
Esta norma indica los requisitos que deben cumplir las placas y barras de acero al carbono con espesor o diámetro hasta 12.7 mm, así como los perfiles de calidad estructural que se usan en edificios y construcciones ordinarias, los cuales pueden ser remachados, atornillados o soldados como se indica en la norma NOM-B-252-1988 (ASTM A6). Cuando las placas y barras comprendidas en esta norma se usen en construcciones soldadas, los procesos de soldadura empleados, deben ser los adecuados para el acero y el servicio al que se destine.

Acero estructural de alta resistencia y baja aleación al manganeso-vanadio, NOM-B-284-1987 (ASTM A572)
Esta norma menciona los requisitos que deben cumplir los perfiles, placas y barras de acero de alta resistencia y baja aleación de calidad estructural que se usan en construcciones soldadas, remachadas o atornilladas, principalmente en puentes y edificios donde son importantes el ahorro en peso y la durabilidad. La resistencia a la corrosión atmosférica de este acero es aproximadamente del doble que la del acero estructural básico al carbono. Cuando va a soldarse el acero, debe emplearse el procedimiento más adecuado según el grado del mismo y uso al que se destine.

Acero estructural de baja aleación y alta resistencia, NOM-B- 282-1987 (ASTM A242)
Esta norma describe los requisitos que deben cumplir los perfiles, placas y barras de acero estructural de baja aleación y alta resistencia que se usan en construcciones soldadas, atornilladas o remachadas, en miembros estructurales donde son importantes el ahorro en peso y la durabilidad. Estos aceros tienen una resistencia a la corrosión atmosférica de aproximadamente el doble de los aceros estructurales al carbono con cobre. Se incluyen requisitos para materiales con espesor de hasta 100 mm. Cuando va a soldarse el acero, debe emplearse el procedimiento más adecuado de acuerdo a su grado y uso o servicio al que se destine.

Planchas, perfiles y barras de acero al carbono para uso estructural con baja e intermedia resistencia a la tensión, NOM-B-281-1987 (ASTM A283)
Esta norma indica los grados de las placas de acero al carbono para uso estructural, y los grados de perfiles y barras de acero al carbono.

Lámina de acero al carbono laminada en caliente para uso estructural, NOM-B-347-1981 (ASTM A570)
Esta norma establece los requisitos que debe cumplir la lámina de acero al carbono laminada en caliente, para uso estructural, suministrada en rollo o en hojas.

Lámina de acero de baja aleación y alta resistencia, laminada en caliente y laminada en frío, resistente a la corrosión, NOM-B-277-1981 (ASTM A606)
Esta norma menciona los requisitos que debe cumplir la lámina de acero de baja aleación y alta resistencia, laminada en caliente y en frío, suministrada en hojas o en rollo. Es adecuada para emplearse en estructuras donde es importante el ahorro en peso o se requiera mayor durabilidad. Este acero tiene buena resistencia a la corrosión atmosférica y se suministra en dos clases: la clase A, que tiene una resistencia a la corrosión como mínimo de dos veces más que la de un acero al carbono para uso común, y la clase B, que tiene una resistencia a la corrosión como mínimo de 4 veces más que la de un acero al carbono para uso común.

Tubos de acero sin costura, negros o galvanizados por inmersión en caliente, NOM-B-177-1989 (ASTM A53)
Esta norma señala los requisitos que deben cumplir los tubos de acero con o sin costura, negros o galvanizados por el proceso de inmersión en caliente, en tamaños nominales de 1/8" hasta 26" y en los espesores de pared nominal (promedio) indicados en las tablas 6 y 7 de la norma. Pueden suministrarse tubos con otras dimensiones, siempre y cuando cumplan con los demás requisitos de la norma. En la NOM-B-179 se incluye una relación más extensa de dimensiones nominales en que pueden fabricarse estos tubos.

Tubos de acero al carbono, sin costura o soldados, formados en frío, para usos estructurales, NOM-B-199-1989 (ASTM A500)
Esta norma menciona los requisitos que deben cumplir los tubos sin costura o soldados de acero al carbono, formados en frío, que se emplean en la construcción de puentes, edificios o para cualquier fin estructural en general, con conexiones soldadas, remachadas o atornilladas. Los tubos pueden ser de sección circular, cuadrada, rectangular o de forma especial, con las siguientes dimensiones:

a) Tubos soldados. Perímetro máximo de 1,626 mm y espesor de pared máximo de 15.9 mm.
b) Tubos sin costura. Perímetro máximo de 1,626 mm y espesor de pared máximo de 15.9 mm.

Los tubos descritos por esta norma pueden ser inadecuados para elementos sujetos a cargas dinámicas. En estos casos se recomienda consultar al fabricante.

Tubos de acero al carbono, sin costura o soldados, formados en caliente para usos estructurales, NOM-B-200-1989 (ASTM A501)
Esta norma indica los requisitos que deben cumplir los tubos sin costura o soldados de acero al carbono, formados en caliente, de sección cuadrada, rectangular, circular o de forma especial, para usos estructurales en construcciones soldadas, remachadas o atornilladas que se emplean en puentes, edificios o estructuras en general. Los tubos cuadrados y rectangulares se suministran en dimensiones de 25.4 mm a 254 mm por lado con espesor de pared de 2.4 mm a 25.4 mm, dependiendo del tamaño; los tubos redondos se suministran de un tamaño nominal de 1/2" a 24", con un espesor de pared (promedio nominal) de 2.8 mm a 25.4 mm, dependiendo del tamaño. Se pueden suministrar tubos que tengan otras dimensiones siempre y cuando cumplan con los requisitos de esta norma.

Los tubos pueden suministrarse galvanizados con el proceso de inmersión en caliente.

Sujetadores roscados externamente de acero al carbono, NOM-H-118-1988 (ASTM A307)
Esta norma menciona los requisitos mecánicos y químicos de dos grados de sujetadores de acero al carbono con rosca exterior, con diámetros de 6.3 mm a 100 mm (1/4" a 4").

Tornillos de alta resistencia para uniones de acero estructural, NOM-H-124-1988 (ASTM A325)
Esta norma indica los requisitos mecánicos y químicos que deben cumplir los diferentes tipos de tornillos de acero, templados y revenidos, conocidos como tornillos de alta resistencia, para conexiones de acero estructural.

Tornillos de acero aleado, templados y revenidos para juntas de acero estructural, NOM-H-133-1988 (ASTM A490)
Esta norma señala los requisitos mecánicos y químicos que deben cumplir los tornillos de acero de aleación templado y endurecido, en diámetro de 12.7 a 38.1 m (de 1/2" hasta 1 1/2").

Estos tornillos son adecuados para usarse en conexiones de acero estructural, según la norma NOM-H-124.

I.8 *Aspectos generales del acero estructural*

El acero es el metal más importante utilizado para fines estructurales porque combina una alta resistencia, tanto en tensión como en compresión, con gran rigidez (módulo de elasticidad elevado), y facilidad de fabricación, con un precio relativamente bajo. El acero es un material dúctil por naturaleza, que tiene, además un comportamiento estable bajo inversiones de carga y tiene una relación resistencia/peso favorable.

Propiedades relevantes
Las propiedades mecánicas del acero están influenciadas de manera importante por el proceso de laminación, velocidad de enfriamiento, tratamiento térmico, temperatura de servicio, deformación en frío, tipo de solicitaciones, etc, por lo que es muy conveniente analizar cada uno de estos factores para establecer los criterios de selección de la calidad y tipo de material más recomendable para una aplicación especifica.

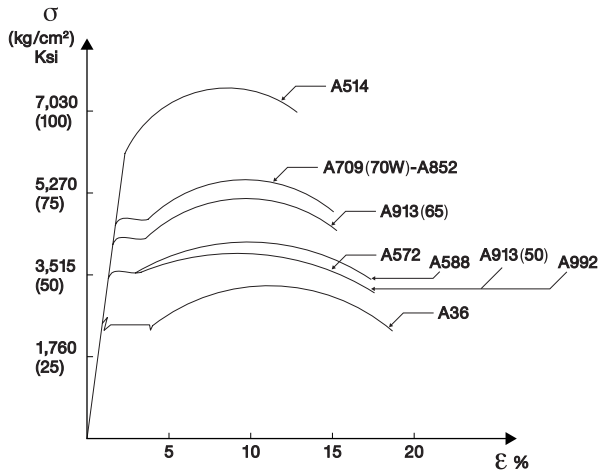
Las propiedades mecánicas de los aceros son las características más importantes para su aplicación en estructuras, debido a que el diseño y la fabricación de este tipo de estructuras se basan en su conocimiento. Aunque lo que interesa principalmente al diseñador o al proyectista son las características mecánicas de los aceros estructurales, la composición química es un índice de calidad de los mismos, y puede, a parir de ésta, determinar con bastante aproximación las propiedades mecánicas.

Resistencia
El acero estructural es un material homogéneo e isótropo de calidad uniforme que permite soportar grandes esfuerzos, por lo que en la mayoría de los casos se obtienen miembros con espesores relativamente pequeños en comparación con sus otras dimensiones.

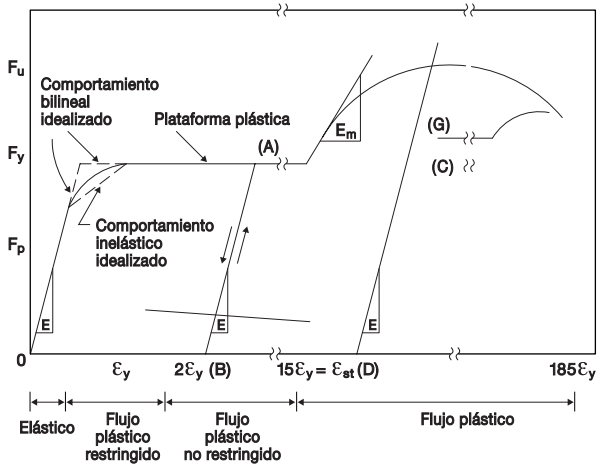
Estas propiedades le dan mayores niveles de seguridad a una estructura sobre todo cuando está sujeta a esfuerzos causados por cargas accidentales, principalmente sismo o viento, ya que estas fuerzas pueden ocasionar inversiones de esfuerzos.

La resistencia a las diversas solicitaciones de los miembros estructurales de acero depende de la forma del diagrama esfuerzo-deformación, y particularmente de los esfuerzos de fluencia F_y y de ruptura en tensión F_u.

En el diseño de una estructura se buscará el equilibrio entre fuerzas externas e internas de tal manera que se obtenga una estructura resistente a las solicitaciones actuantes.



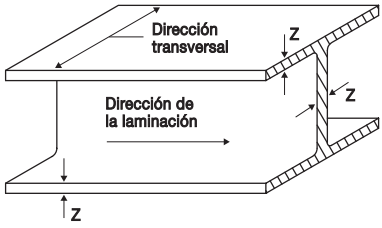
Gráfica esfuerzo-deformación para varios grados de acero estructural.



Gráfica esfuerzo-deformación del acero.
Intervalos de comportamiento estructural.

La gráfica debe mostrar una zona amplia de deformaciones crecientes bajo esfuerzo constante, con alargamiento a la ruptura no menor del 20% en probeta de 50 mm (2") y una zona de endurecimiento por deformación, tal que la relación entre la resistencia a la ruptura en tensión y el esfuerzo de fluencia, F_u / F_y esté comprendida entre 1.2 y 1.8.

La dirección en que se laminan los perfiles estructurales y placas es la de mayor interés en el diseño de las estructuras, por lo que el esfuerzo de fluencia en esa dirección, determinado por medio de ensayes estándar de tensión, es la propiedad mecánica que decide, en la mayoría de los casos, el tipo de acero que ha de emplearse.



Z= dirección perpendicular al grueso de los perfiles laminados.

Terminología relacionada con la dirección de la laminación de perfiles estructurales IR.

En el diseño sísmico debe cuidarse que la resistencia real del acero no sea mayor que la supuesta, pues esto, que es ventajoso para cargas estáticas, puede no serlo si cambian las secciones donde se formarán las articulaciones plásticas correspondientes al mecanismo que se tomó como base para el diseño, o crecen, por ejemplo, los momentos que transmiten las vigas a las columnas. Además, los aumentos de resistencia están acompañados por pérdida de ductilidad.

Para que las resistencias más elevadas contribuyan a estructuras más económicas, han de combinarse con sistemas estructurales adecuados, pues de nada servirán si el diseño queda regido por el control de deformaciones.

Ductilidad

El acero es un material dúctil por naturaleza, que tiene además un comportamiento estable bajo inversiones de carga y tiene una relación resistencia- peso conveniente.

El acero puede aceptar deformaciones importantes más allá del límite elástico sin fallar, tiene pues capacidad para permitir las deformaciones inelásticas que puedan requerirse. Puede utilizarse para construir estructuras estáticamente indeterminadas que satisfagan los requisitos de diseño sísmico. Es por consiguiente, muy conveniente para construcciones ubicadas en zonas de alta sismicidad. No obstante, la ductilidad intrínseca del acero no se conserva necesariamente en la estructura terminada, por lo que debe procederse con mucho cuidado durante el diseño y la construcción para evitar la pérdida de esta propiedad.

Es esta propiedad, característica intrínseca del acero estructural, que no exhibe en forma completamente clara ningún otro material de construcción, y que hace posible la aplicación del análisis plástico al diseño de estructuras.

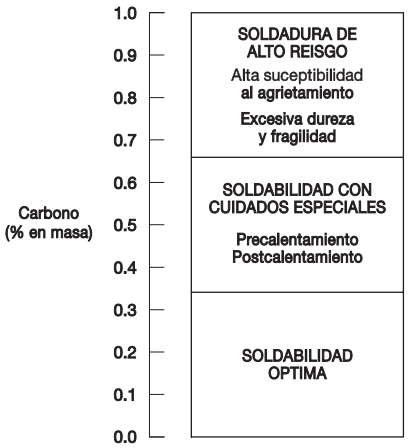
No todos los aceros cumplen con los requisitos de ductilidad que se requieren en zonas de alta sismicidad; específicamente se requiere un comportamiento como el que se muestra en la figura 2 en que se representa esquemáticamente la gráfica esfuerzo-deformación de una probeta durante la prueba de tensión.

El hecho de que el acero estructural sea dúctil no implica que la estructura fabricada con este material sea también dúctil; por el contrario, para lograrlo deben tomarse en cuenta una serie de precauciones, a veces no fáciles de conseguir, que son los que hacen que una estructura de acero pueda considerarse adecuada para funcionar en zonas sísmicas.

La ductilidad depende fundamentalmente de la composición química del acero, de la estructura metalográfica y de la forma, tamaño y distribución de las inclusiones no metálicas y de segregaciones. Esta propiedad ha adquirido una importancia fundamental en los criterios actuales de diseño sísmico de estructuras.

Soldabilidad

La soldabilidad se define como el conjunto de propiedades que tiene un acero estructural para permitir efectuar uniones o conexiones soldadas que presenten características suficientes de continuidad metalúrgica, tomando en cuenta que esta propiedad debe definirse respecto a un proceso de soldadura determinado. Las características del acero, y particularmente su composición química influyen de manera importante en la soldabilidad.



Efecto del carbono en la soldabilidad del acero.

Una manera sencilla para determinar la soldabilidad del acero son las fórmulas del carbono equivalente que se indican a continuación; expresan la influencia relativa de los elementos químicos respecto al carbono en la soldabilidad.

$$CE = C + (Mn + Si)/6 + (Cr + Mo + Cb + V)/5 + (Ni + Cu)/15 \quad (1)$$
$$CE = C + Mn/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Ni + Cu)/15 \quad (2)$$
$$CE = C + Si/30 + (Mn + Cu + Cr)/20 + Ni/60 + Mo/15 + V/10 + 5B \quad (3)$$

Soldabilidad del acero en función del carbono equivalente.

Carbono equivalente CE	Soldabilidad
CE < 0.40	Excelente
0.41 < CE ≤ 0.45	Buena
0.46 < CE ≤ 0.52	Regular
CE > 0.52	Pobre

Cuando el carbono equivalente (CE) se determina con la ecuación (1), la soldabilidad es aceptable si el valor de CE es menor de 0.50. La ecuación (2), propuesta por el Instituto Internacional de la Soldadura (Internacional Institute of Welding, IIW) probablemente es la más utilizada.

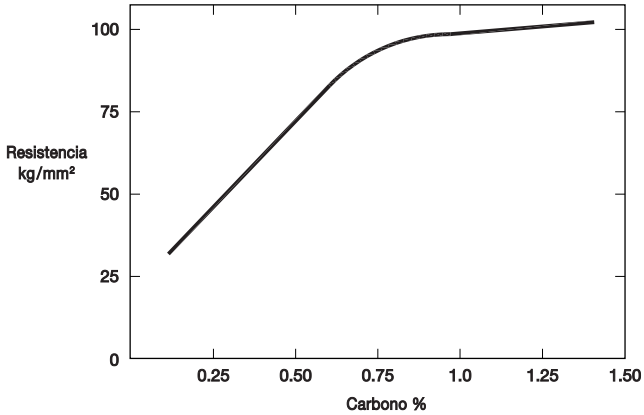
Tenacidad
Es la medida de energía por unidad de volumen necesaria para deformar un cuerpo hasta el momento de la fractura. Esta propiedad tiene importancia especial en el diseño sismorresistente.

Se utiliza la prueba de impacto charpy en V para determinar la capacidad que tiene un acero para absorber energía hasta llegar a la fractura. Los factores que influyen en la tenacidad del acero son: composición química, estructura metalográfica, inclusiones no metálicas y segregaciones. Con relación a la composición química del acero, la presencia de elementos fragilizantes como el carbono, fósforo, nitrógeno, actúan en detrimento de la tenacidad. La presencia de estructuras frágiles y la presencia de grano grueso influyen de manera perjudicial en la tenacidad del acero.

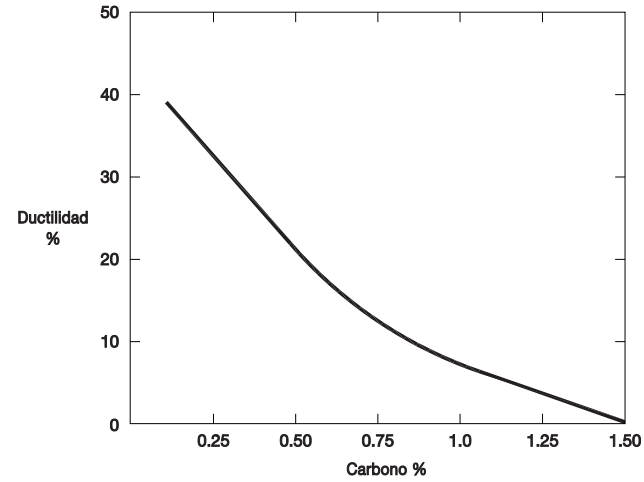
Influencia de los elementos químicos en las propiedades del acero
Todos los aceros contienen además del carbono otros elementos químicos que en parte son debidos al proceso de producción adoptado, o que le han sido agregados para obtener determinadas propiedades en su aplicación. Los elementos químicos que intervienen en una aleación del acero son: hierro, carbono, manganeso, silicio, columbio, níquel, azufre, fósforo, etc.

Hierro (Fe): El hierro es el elemento simple más importante en el acero, y comprende aproximadamente el 95% de su composición. Los aceros con un porcentaje bajo de hierro no se clasifican como “estructurales”.

Carbono (C): Después del hierro, el carbono es el elemento químico más importante en el acero. Un incremento del carbono aumenta la resistencia del acero y reduce su ductilidad y soldabilidad: los aceros estructurales usuales típicamente tienen contenido de carbono que varía de 0.05 a 0.25%. Los aceros estructurales de hace más 40 años tenían contenido de carbono que variaba de 0.15 a 0.25%. Los aceros ASTM A36 y ASTM A7 son un ejemplo de estos tipos de acero.



Efecto del contenido del carbono en la resistencia de los aceros estructurales.



Efecto del contenido del carbono en la ductilidad de los aceros estructurales.

En los últimos cinco años se han desarrollado aceros con menor contenido de carbono. Estos son aleados para alcanzar la resistencia y ductilidad requeridas. Esto ha sido posible gracias a nuevos procesos de producción (arco eléctrico), técnicas de metalurgia y colada continua. El bajo contenido de carbono también mejora la soldabilidad.

Manganeso (Mn): El manganeso tiene efectos similares a los del carbono. Se usa en aceros estructurales en cantidades que varían de aproximadamente 0.5 a 1.7%.

Silicio (Si): El silicio es uno de los dos elementos desoxidantes más importantes del acero, lo que significa que es muy efectivo para remover oxígeno del acero durante el vaciado y proceso de solidificación. El contenido típico del silicio en aceros estructurales es menor de 0.4%, pero debe ser por lo menos 0.1% .

Columbio (Cb): El Columbio (llamado Niobio en Europa) se usa para mejorar la resistencia del acero. Tiene efectos similares a los del manganeso y vanadio, y frecuentemente se usa en combinación con el vanadio. Debido a los requisitos de soldabilidad, el C_b se usa en cantidades menores de 0.05. (Ejemplo, el acero A572).

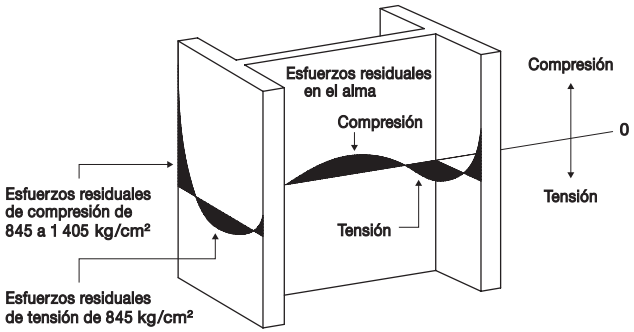
Níquel (Ni): El níquel es un agente poderosamente anticorrosivo, y también es uno de los elementos más importantes para aceros de alta tenacidad. El contenido de níquel generalmente varía entre 0.25 y 1.5%, dependiendo de los requisitos del acero.

Azufre (S) y **Fósforo** (P): Ambos elementos son perjudiciales en la resistencia del acero, pero especialmente en la ductilidad y soldabilidad. El azufre promueve la segregación del acero. Por esta razón, el contenido de S y P se limita a no más de 0.04 a 0.05%. Los aceros de colada continua generalmente tienen un contenido de azufre de alrededor de 0.02 a 0.03%.

Factores que influyen en la resistencia del acero

Esfuerzos residuales

En general, todos los miembros estructurales de acero están sometidos a esfuerzos internos producidos por las deformaciones permanentes durante el proceso de fabricación y laminación, principalmente a causa del enfriamiento irregular del acero desde la temperatura de laminación hasta la ambiente. Estos esfuerzos internos de tensión y compresión reciben el nombre de esfuerzos residuales y su magnitud y distribución dependen de varios factores: geometría de la sección transversal del miembro, procesos de laminación, proceso de soldadura, condiciones de enfriamiento y tratamiento térmico posterior. El efecto de los esfuerzos residuales es el de modificar el diagrama esfuerzo-deformación de los miembros estructurales reales con respecto al obtenido en probetas de material. Este aspecto es muy importante en miembros sometidos a compresión axial.



Esfuerzos residuales en perfiles estructurales laminados en caliente IR o W.

En los perfiles I y H los esfuerzos residuales máximos aparecen en los extremos de los patines; en perfiles laminados, su valor medio en esos puntos es de aproximadamente 900 kg/cm^2, prácticamente independiente del esfuerzo de fluencia del acero, por lo que influyen menos en la capacidad de carga de las columnas de acero de alta resistencia, pues constituyen un porcentaje menor de su esfuerzo de fluencia.

En secciones I y H fabricadas con placas soldadas, son, en general, más elevados, su magnitud y distribución dependen del tipo de placas que forman el alma y los patines, Pueden eliminarse, casi por completo, por medio de tratamientos térmicos.

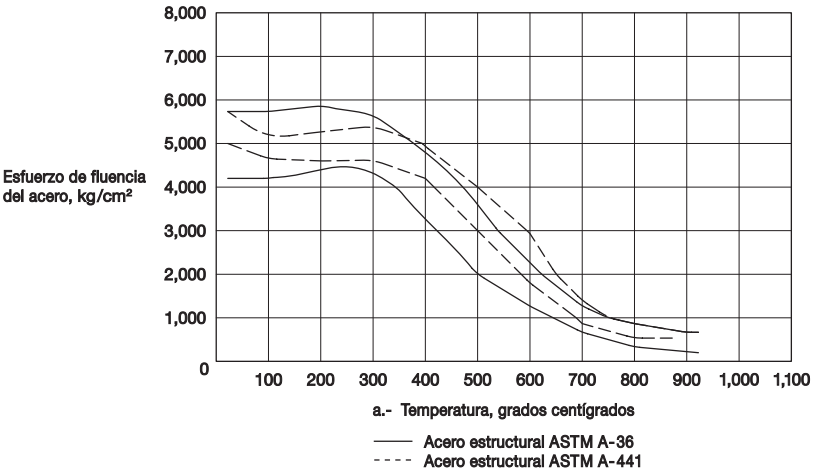
Efecto de trabajo en frío
Se ha demostrado que cualquier proceso en frío, tal como el alargamiento y el doblado, afecta las propiedades mecánicas del acero, de modo que el material exhibe propiedades diferentes de las que tenía antes de someterse a estos procesos.

En general, el tratamiento en frío incrementa el esfuerzo de fluencia, F_y, y en menor grado la resistencia a la fractura, F_u, pero siempre disminuye la ductilidad.

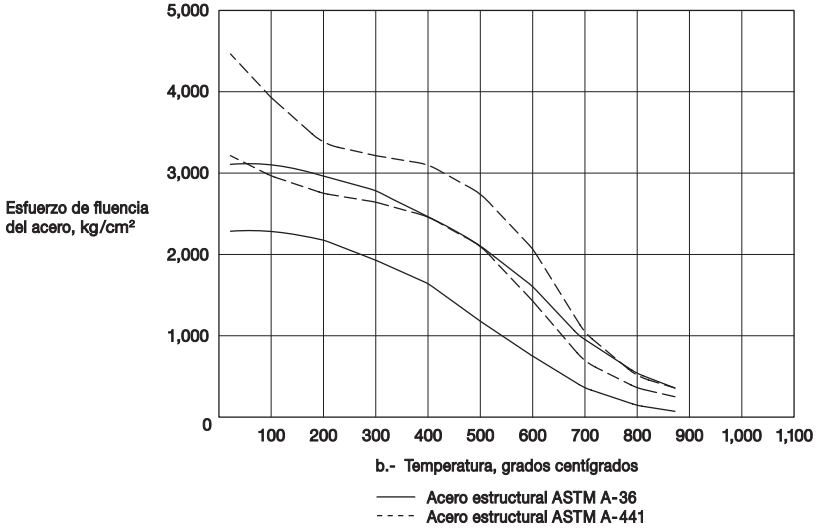
Efecto de la temperatura
El comportamiento del acero es muy sensible a los cambios extremosos respecto a la temperatura ambiente.

Efecto de bajas temperaturas
A temperaturas normales el acero estructural posee una gran cantidad de absorción de energía y la falla es dúctil, pero cuando comienza a descender la temperatura su comportamiento va de dúctil a frágil a partir de una temperatura denominada temperatura de transición.

Efecto de altas temperaturas
Si bien el acero es un material incombustible; cuando se somete a una temperatura alta la curva esfuerzo deformación deja de ser lineal. A medida que se incrementa la temperatura las propiedades mecánicas del acero se reducen drásticamente.



Esfuerzo mínimo especificado de ruptura en tensión de los aceros estructurales a temperaturas elevadas.



Efecto de la temperatura en la resistencia del acero.

Desde el punto de vista de funcionamiento en condiciones de servicio, las estructuras de acero y sus elementos estructurales deben estar protegidos para que resistan los efectos del fuego durante el tiempo que dure un incendio o en un determinado tiempo. A partir de ensayes de laboratorio de elementos de acero sometidos a temperaturas elevadas se obtienen curvas temperatura-tiempo que establecen la duración de la resistencia al fuego, así como una clasificación y características de los diversos materiales que resisten el fuego y su nivel de protección.

En edificios industriales es difícil aplicar revestimientos de protección contra fuego, por lo que se instalan sistemas completos de detección, alarma y extinción de incendios. En edificios urbanos, los elementos estructurales se protegen con materiales resistentes al fuego (pinturas especiales)

Corrosión

La corrosión es el resultado de una acción compleja electroquímica. El nivel de corrosión en el acero depende de las condiciones ambientales.

En estructuras de acero se distingue el óxido de laminación, que se produce por efecto del agua en el metal al rojo vivo durante el proceso de laminación, del óxido atmosférico que se inicia a medida que se desprende la costra de laminación.

La intensidad de la corrosión depende de las condiciones ambientales del lugar de la obra. Los efectos de la corrosión se miden por medio del grueso del material que se degrada (milésimos de pulgada).

Las pinturas son el método más utilizado para proteger el acero estructural. Para utilizar una pintura eficaz y duradera, además de una preparación adecuada de la superficie, es necesaria una elección correcta de la pintura, así como una ejecución adecuada de las capas protectoras.

El diseñador debe sugerir disposiciones constructivas contra la corrosión, por ejemplo, soluciones y formas que aseguren la evacuación de las aguas pluviales, evitando la acumulación de éstas sobre superficies que puedan generar una corrosión local intensa (techos planos), y tener accesibilidad a todos los sitios de la estructura para dar mantenimiento preventivo.

Efecto de las cargas repetidas (fatiga)
Cuando un elemento estructural o una junta están sujetos a cargas de intensidad variable repetidas, durante un número elevado de veces, puede presentarse la fractura bajo magnitudes de carga menores. A este fenómeno se le conoce como fatiga.

La falla por fatiga consiste en la fractura del material, bajo esfuerzos relativamente reducidos, después de un número suficientemente grande de aplicaciones de la carga, que pueden o no incluir cambios de signo en los esfuerzos.

La fractura se inicia en un lugar donde hay una pequeña imperfección que puede ser de tamaño microscópico, y se propaga en forma de una grieta, que suele crecer lentamente, hasta que la pieza se rompe.

Las fracturas por fatiga, que se presentan asociadas con esfuerzos normales de tensión, se inician con una deformación aparentemente muy reducida, son de naturaleza frágil, es decir, están acompañadas por deformaciones muy limitadas. La fractura por fatiga se propaga lentamente y presenta un aspecto característico, ya que en la superficie de la fractura aparecen dos zonas claramente diferenciadas, una lisa y generalmente brillante, y otra de granos gruesos y mate.

Por consiguiente, cuando un elemento de acero estructural falla por fatiga, su comportamiento no es dúctil y dado que no puede efectuarse una redistribución de esfuerzos, los métodos de diseño modernos no son validos a estructuras sometidas a un número importante de repeticiones de carga.

La resistencia a la fatiga de un metal depende del número total de repeticiones de carga a que queda sometido y no depende del tiempo total bajo la carga, así mismo es función de la magnitud del rango de esfuerzos y de la amplitud de la parte variable de los ciclos de carga.

No es posible establecer reglas generales para el diseño de elementos estructurales cuya resistencia a la fatiga sea un factor predominante y en los que el problema se complique por su forma geométrica, número muy elevado de ciclos de carga, etc. Sin embargo, las concentraciones de esfuerzos ocasionados por discontinuidades o muescas, cambios bruscos de sección, deficiencias en la fabricación, hacen que disminuya de manera importante la resistencia de las uniones a la fatiga y de los miembros estructurales por lo que deberán eliminarse o reducirse drásticamente en la zonas críticas de las piezas sometidas a cargas repetidas.

Los valores del esfuerzo de fluencia, F_y, y de ruptura en tensión, F_u, que se utilizarán en el diseño, serán los mínimos especificados en la norma correspondiente. No se emplearán en el diseño los valores reportados en certificados de ensayes de los productos laminados.

Fractura frágil

La fractura frágil es más frecuente en estructuras soldadas que en estructuras unidas con tornillos de alta resistencia, debido a una combinación de posibles defectos de la soldadura, a esfuerzos residuales elevados y a continuidad de los elementos estructurales que reduce la probabilidad de que las grietas no se propaguen de unas partes de la estructura a otras.

Durante la fabricación y el montaje de las estructuras, deben tomarse las medidas necesarias para reducir los fenómenos que pueden ocasionar un comportamiento frágil. Si las condiciones son especialmente severas deben emplearse aceros con resistencias al impacto adecuada a bajas temperaturas.

Las soldaduras de perfiles o placas laminadas, que tengan por objeto transmitir fuerzas en la dirección perpendicular al grueso deben hacerse con mucho cuidado, pues de otra manera pueden ocasionar desgarramientos laminares *("lamerar tearing")*.

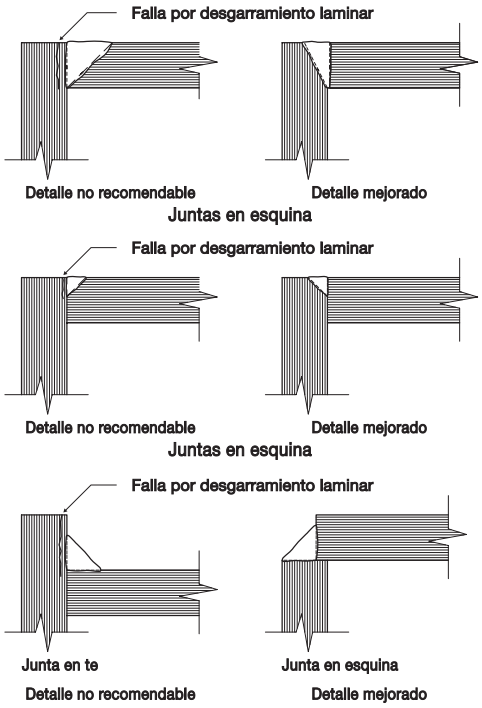
La resistencia perpendicular al grueso de los aceros es similar a las que tienen en la dirección longitudinal o transversal pero su capacidad de deformación en esta dirección es con frecuencia solo poco mayor que la deformación correspondiente al limite de elasticidad.

El desgarramiento laminar ocurre en placas muy restringidas, por pérdida de cohesión entre inclusiones microscópicas no metálicas y el material que las rodea, debido a la capacidad del metal base de admitir las deformaciones impuestas por contracciones de la soldadura en la dirección normal al grueso de la placa. Puede presentarse en material de cualquier espesor, pero es mucho más frecuente en placas gruesas porque en ellas se depositan soldaduras de mayor tamaño, que se contraen más durante el enfriamiento.

La experiencia muestra que el desgarramiento laminar no se presenta nunca en material de menos de 20 a 25 mm de grueso, pero han ocurrido algunos casos en metal más delgado. La consideración de diseño más importante es reducir la concentración de deformaciones en dirección normal al espesor en áreas localizadas. En la figura 10 se muestran detalles que pueden ocasionar desgarramientos laminares, y algunas ideas de cómo mejorarlos.

Por lo anterior, los detalles de diseño bien realizados que logran una geometría que evita concentraciones severas de esfuerzos, y una buena mano de obra, son generalmente los medios más eficaces para lograr construcciones resistentes a fracturas frágiles. Sin embargo, para condiciones de servicio especialmente severas tales como temperaturas de trabajo muy bajas con cargas que producen impacto, puede ser necesario utilizar aceros con mayor resiliencia.

Las temperaturas moderadas a las que trabajan las estructuras de acero para edificios, la lentitud con que se aplican las cargas sobre ellas, la magnitud de los esfuerzos y el número de ciclos asociados con los esfuerzos de diseño, hacen muy remota la probabilidad de este tipo de falla en estructuras urbanas.



Desgarramiento laminar debido a contracción de juntas soldadas grandes.
Detalles susceptibles y mejorados.

Selección de aceros estructurales

El acero estructural básico utilizado durante más de 40 años en México hasta hace poco tiempo ha sido el NOM-B-254 (ASTM A36) y el primer tipo de acero utilizado para fines estructurales fue el ASTM A7, que ya no se produce desde hace muchos años pero que aparece, frecuentemente, al revisar estructuras de acero antiguas; tenía un esfuerzo de fluencia de 2 320 kg/cm² (33 ksi, 228 MPa), y su soldabilidad era pobre; sobre todo en material grueso, pues se desarrolló para la construcción remachada, sin controlar adecuadamente su contenido de carbono.

Debe mencionarse que la tendencia actual y futura es utilizar aceros de resistencia más elevada que los que se empleaban en el pasado; el acero estructural básico, el NOM-B-254 (ASTM A36), con límite de fluencia de 2 530 kg/cm² (36 ksi, 250 MPa), está siendo sustituido por aceros grado 50, con esfuerzo de fluencia de F_y = 3 515 kg/cm² (50 ksi, 345 MPa), y en ocasiones se usan resistencias todavía mayores (F_y = 4 570 kg/cm², 65 ksi, 450 MPa). Mientras tanto, en los Estados Unidos desde hace varios años se utiliza el acero A992 en secciones laminadas W.

Por lo anterior, la mejor guía para seleccionar un acero adecuado para una aplicación determinada es la experiencia adquirida con estructuras existentes. En nuestro país, como se indicó anteriormente, el acero estructural NOM-B-254 (ASTM A36) se ha utilizado con éxito durante muchos años en diversas aplicaciones, tales como edificios convencionales, torres de transmisión de energía eléctrica, equipo de transporte y puentes.

Los procedimientos de diseño estipulados en las especificaciones IMCA-2003, normas NTC-RDF-2004 y especificaciones AISC-2005, son válidos para aceros y elementos estructurales que tengan un comportamiento dúctil; por tanto, deberán evitarse todas las condiciones que puedan ocasionar una falla frágil, tales como el empleo de aceros con altos contenidos de carbono, la operación de las estructuras a temperaturas muy bajas, la aplicación de cargas que produzcan impacto importante, la presencia excesiva de discontinuidades en forma de muescas en la estructura y las condiciones de carga que produzcan un estado triaxial de esfuerzos en el que la relación entre el cortante máximo y la tensión máxima sea muy pequeña, y sobre todo deberá evitarse la presencia simultánea de varias de esas condiciones.

También debe prestarse especial atención a aquellos fenómenos de pandeo que propician la inestabilidad de una estructura: pandeo general, pandeo local, pandeo lateral y pandeo lateral por flexotorsión. Sin embargo, otras propiedades mecánicas del acero, tales como anisotropía, ductilidad, tenacidad, facilidad de formado en frío, resistencia a la corrosión, pueden ser también importantes para el comportamiento correcto de algunas estructuras.

En los casos, poco frecuentes, en que las condiciones de trabajo puedan provocar fallas de tipo frágil (estructuras que estarán sometidas a temperaturas muy bajas; son un ejemplo los tanques de almacenamiento de gases industriales, como el oxígeno y el nitrógeno, en estado líquido), se emplearán materiales de alta ductilidad que puedan fluir ampliamente en puntos de concentración de esfuerzos, a la temperatura de trabajo más baja, o la estructura se diseñará de manera que los esfuerzos que se presenten en las zonas críticas sean suficientemente bajos para evitar la propagación de las grietas que caracterizan las fallas frágiles. En estas situaciones deben utilizarse aceros que tengan propiedades adecuadas para trabajar a las temperaturas mínimas previstas.

No es posible incorporar aquí toda la información necesaria para dar una explicación completa relativa a todos los factores que deben considerarse en la selección de aceros para aplicaciones especiales. Para esos casos se recomienda al usuario de las normas y especificaciones consultar la literatura especializada sobre las propiedades específicas que le interesan, para que pueda elegir el material más adecuado de los listados por la Dirección General de Normas de la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial o de la Sociedad Americana de Ensayes y Materiales (American Society of Testing Materials).

Como ejemplo, puede mencionarse el diseño de conexiones soldadas entre elementos estructurales cuyas deformaciones locales están muy restringidas. El acero laminado es anisótropo, especialmente en lo que a ductilidad se refiere; en consecuencia, las deformaciones producidas por las contracciones de la soldadura en las zonas de alta restricción de algunas conexiones soldadas pueden exceder la capacidad de deformación del material si no se pone especial cuidado en su selección, en los detalles constructivos y en la mano de obra e inspección. Esto es especialmente cierto cuando se aplican fuerzas importantes de tensión en la dirección perpendicular a la de laminación. Otra situación especial es la que se presenta cuando se diseña para evitar fracturas frágiles bajo ciertas condiciones de servicio. Las temperaturas moderadas a las que trabajan las estructuras de acero de edificios, la lentitud con que se aplican las cargas sobre ellas, la magnitud de los esfuerzos y el número de ciclos con los esfuerzos de diseño, hacen muy remota la probabilidad de ese tipo de fallas en estructuras urbanas.

Tabla 2 Normas, propiedades mecánicas y composición química de los aceros estructurales utilizados en la construcción en acero.

Tipo de acero	Normas		F_y[b] (kg/cm²)	F_u[b] (kg/cm²)	Formas	Usos principales	Composición química[b], (%)						Resistencia relativa a la corrosión respecto al acero común
	NOM	ASTM					C máx	Mn máx	Si	S máx	P máx	Otros	
Al Carbono	B-254	A-36	2 530	4 080 - 5 620	Placas, barras y perfiles	Construcción soldada, atornillada y remachada; fines estructurales en general.	0.26 - 0.29[b]	0.60 - 1.20	0 y 0.15-0.3	0.05	0.04	C_u = 0 C_u = 0.20	1 2
	B-177 (Grado B)	A-53 (Grado B)	2 460	4 220 mín	Tubos con o sin costura	Similar al acero A36 (NOM B-254) para aplicaciones en estructuras a base de tubos, etc.	0.30	1.20	---	0.05	0.06	---	---
	B-199	A-500	2 320 3 235[c]	3 165 4 080[c]	Tubos formados en frío, sin costura o soldados de sección cuadrada, rectangular o de otras formas	Similar al acero A36 (NOM B-254).	---	---	---	---	---	---	---
	B-200	A-501	2 530	4 080	Tubos sin costura o soldados formados en caliente, redondos, cuadrados, rectangulares o de forma especial	Similar al acero A36 (NOM B-254).	0.26	---	---	0.05	0.04	C_u = 0 C_u = 0.20	1 2
	B-99	A-529	2 950	4 220 - 5 975	Placas y barras con espesor máximo de 13 mm	Similar al acero A36 (NOM B-254).	---	---	---	---	---	---	---
	B-347	A-570	2 110 - 3 520	3 445 - 4 570	Lámina	Miembros construidos con perfiles de acero formados en frío para edificios.	0.25	0.90 - 1.35[c]	---	0.05	0.04	C_u = 0.20	---

Notas en pág. 29

Tabla 3 Normas, propiedades mecánicas y composición química de los aceros estructurales utilizados en la construcción en acero.

Normas		F_y[b] (kg/cm²)	F_u[b] (kg/cm²)	Formas	Usos principales	Composición química[b], (%)						Resistencia relativa a la corrosión respecto al acero común
						C máx	Mn máx	Si	S máx	P máx	Otros	
NOM	ASTM											
B-282	A-242	2 950 3 520	4 430 4 920	Placas, barras y perfiles	Fines estructurales en general, construcción soldada, atornillada y remachada.	0.15 - 0.20[c]	1.0 - 1.35[c]	–	0.05	0.15 - 0.04[c]	Cu= 0.20 o Cr= 0.50 + Si= 0.05	4 4
B-284	A-441	2 810 3 520	4 220 4 920	Placas, barras y perfiles	Uso estructural en general, construcción soldada, atornillada y remachada.	0.22	0.85 - 1.25	0.30 máx	0.05	0.04	min. Cu= 0.20 V= 0.02	2
A-446		2 320 2 600 2 810 3 515 5 625	3 165 3 655 3 865 4 570 5 765	Placas y perfiles IPR	Lámina galvanizada revestida de zinc en rollo cortada en longitudes comerciales, miembros estructurales fabricados con perfiles formados en frío, para estructura de edificios estandarizados, conexiones soldadas, atornilladas y remachadas en frío.							
B-277	A-572	3 165 3 520	4 570 4 920	Lámina fabricada en caliente y en frío	Miembros o componentes de estructuras de acero para edificios construcción, soldadas y atornilladas.	0.26	1.30	---	0.06	---	---	2 - 4[c]
	A-588	2 950 3 515	4 430 4 920	Placas y barras resistentes a la corrosión	Construcción atornillada y remachada.	0.10 a 0.20 °C	0.98 a 1.35 °C	0.15 a 0.90 °C	0.04 a 0.05 °C	0.05	Cu, Cr Ni, Mo	4
	A-606	3 165 3 515	4 570 4 920	Placa	Perfiles formados en frío de calibres delgados resistentes a la corrosión.	0.26	1.30		0.06			2 - 4°C

Notas en pág. 29

Tabla 4 Normas, propiedades mecánicas y composición química de los aceros estructurales utilizados en la construcción en acero.

Normas		F_y[b] (kg/cm²)	F_u[b] (kg/cm²)	Formas	Usos principales	Composición química[b], (%)						Resistencia relativa a la corrosión respecto al acero común
NOM	ASTM					C máx	Mn máx	Si	S máx	P máx	Otros	
	A-607	3 165 4 920	4 228 5 980	Lámina	Miembros formados en frío para fines estructurales.	0.26 a 0.30[o]	1.40 a 1.70[o]	---	0.06	0.05	Co, V Cu= 0.20	1 o 2
	A-611	1 760 2 110 2 320 2 810 5 625	2 955 3 165 3 375 3 655 5 765	Lámina de acero laminada en frío	Miembros estructurales fabricados con perfiles formados en frío para edificios especialmente estandarizados, conexiones soldadas, atornilladas y remachadas en frío.							
	A-618	3 165	4 570 4 920	Perfiles y tubos circulares laminados en caliente	Construcción remachada, atornillada y soldada.	0.22 0.23[o]	0.85 1.35[o]	0.0 1.30[o]	0.05	0.04	Cu= 0.20 para Gr. I	1, si se especifica Cu
	A-514	6 325 7 030	7 030 9 140	Placa	Estructuras soldadas.	0.32 o 0.2[o]	1.30 0.80 1.50 °C	0.15 0.90[o]	0.04	0.035	varios elementos	2 - 4[c]
	A-709	3 165 3 520	4 570 4 920	Placa	Puentes. Hay tres niveles de resistencia: resistencia a la corrosión, resistencia a la corrosión incrementada y requisitos estrictos en la prueba de impacto.							

Notas en pág. 29

Notas:

F_y esfuerzo de fluencia o límite inferior de fluencia del material.

F_u esfuerzo mínimo especificado de ruptura en tensión.

a Para aceros fabricados según las normas del Comité de Registro Naval (LLOYD), Bufete Naval Americano (ABS), Instituto Americano del Petróleo (API), Sociedad de Ingenieros de la Industria Automotriz (SAE), Instituto Americano del Hierro y el Acero (AISI) y el Estandard Británico (BS), se recomienda consultar a Altos Hornos de México (AHMSA). Información sujeta a modificaciones, de acuerdo con la fabricación de nuevos aceros estructurales. Se recomienda consultar la última edición de las normas DGN-NOM o el catálogo de Normas Nacionales del Comité Consultivo de Normalización de la Industria Siderúrgica Nacional (CCISN), de la Cámara Nacional de la Industria del Hierro y el Acero. (CANACERO, Amores 338, Col. del Valle, 03100 México, D.F.)

b Varía de acuerdo con el espesor y grado.

c Varía según el grado o tipo.

d Esta norma no tiene correspondencia con ninguna norma internacional.

e Comparada con el acero al carbono, sin cobre.

Tabla 5 Normas oficiales mexicanas (NMX) y especificaciones ASTM para materiales utilizados en la construcción en acero.

Material	Normas		Título de las normas	
	NOM	ASTM	DGN-NMX	ASTM
Aceros fundidos	B 352 Gr. 65-35	A27 Gr. 65-35	Piezas coladas de acero al carbono de baja y mediana resistencia para aplicación general.	Mild-to-medium-strength Carbon-steel Castings for General Applications.
	B 353 Gr. 80-50	A148 Gr. 80-50	Piezas coladas de acero de alta resistencia para uso estructural.	High-strength Steel Castings for Structural Purposes.
Aceros forjados		A668	Aceros forjados al carbono y de aleación para uso industrial general.	Steel Forgings Carbon and Alloy for General Industrial Use.
Remaches		A502	Remaches de acero estructural.	Steel Structural Rivets.
Tornillos, arandelas y tuercas	H-118**	A307	Tornillos y espárragos de acero al carbono con resistencia a la tensión de 60 ksi.	Carbon Steel Bolts and Studs, 60 ksi Tensile Strength.
	H-124**	A325	Tornillos de alta resistencia para uniones de acero estructural.	High-strength Bolts for Structural Steel Joints.
		A449	Tornillos y espárragos de acero templado y endurecido.	Quenched and Tempered Steel Bolts and Studs.
	H-123**	A490	Tornillos de acero estructural con tratamiento térmico, con resistencia mínima a la tensión de 150 ksi.	Heat-treated Steel Structural Bolts, 150 ksi Min. tensile Strength.
		A563	Tuercas de acero de aleación, y al carbono.	Carbon and Alloy Steel Nuts.
		F436	Arandelas de acero endurecidas.	Hardened Steel Washers.
Pernos de anclaje y barras roscadas		A36	Acero estructural.	Structural Steel.
		A194 Gr. 7	Tuercas de acero al carbono de aleación y al carbono para tornillos de alta presión y elevada temperatura de servicio.	Carbon and Alloy Steel Nuts for Bolts for High-pressure and High-temperature Service.
		A354	Tornillos de acero de aleación, templados y revenidos, espárragos y otros sujetadores, roscados externamente.	Quenched and Tempered Alloy Steel Bolts, Studs and other Externally Threaded Fasteners.
		A449	Tornillos y espárragos de acero templado y endurecido.	Quenched and tempered Steel Bolts and Studs.
		A588	Acero estructural de alta resistencia y baja aleación con límite de fluencia mínimo de 50 ksi y con un espesor máximo de 4 pulg.	High-strength Low-alloy Structural Steel with 50 ksi minimum Yield Point to 4 in. Thick.
		A687	Tornillos y espárragos de acero de alta resistencia, sin cabeza.	High-strength Non-headed Steel Bolts and Studs.

Notas:
NOM: Norma Oficial Mexicana.
ASTM: American Society of Testing Materials (Sociedad Americana para Ensayes y Materiales).
Para aceros fabricados según las normas del Comité de Registro Naval (LLOYD), Bufete Naval Americano (ABS), Instituto Americano del Petróleo (API), Sociedad de Ingenieros de la Industria Automotriz (SAE), Instituto Americano del Hierro y el Acero. (AISI), y Estandard Británico (BS), se recomienda consultar a Altos Hornos de México (AHMSA). Véase Manual AHMSA para construcción con acero, (Manual AHMSA-1996).

Tabla 5 Normas oficiales mexicanas (NMX) y especificaciones ASTM para materiales utilizados en la construcción en acero.

Material	Normas		Título de las normas	
	NOM	ASTM	DGN-NMX	ASTM
Metales de aportación y fundentes para soldadura	H 77	AWS A5.1	Electrodos de acero al carbono, recubiertos, para soldadura por arco eléctrico.	Specification for Covered Carbon Steel Arc Welding Electrodes.
	H 86	AWS A5.5	Electrodos de acero de baja aleación, recubiertos, para soldadura por arco eléctrico.	Specification for Low-alloy Steel Covered Arc Welding Electrodes.
	H 97	AWS A5.17	Electrodos desnudos de acero al bajo carbono y fundentes para soldadura de arco sumergido.	Specification for Carbon Steel Electrodes and Fluxes for Submerged-Arc Welding.
	H 99	AWS A5.18	Metales de aporte de acero al carbono para soldadura por arco protegido con gas.	Specification for Carbon Steel Filler Metals for Gas-Shielded Arc Welding.
		AWS A5.20	Electrodos de acero al carbono para soldadura por arco con electrodo tubular continuo.	Specification for Carbon Steel Electrodes for Flux-Cored Arc Welding.
		AWS A5.23	Electrodos desnudos de acero de baja aleación y fundentes para soldadura de arco sumergido.	Specification for Low-alloy Steel Electrodes and Fluxes for Submerged arc Welding.
		AWS A5.28	Metales de aporte de acero de baja aleación para soldadura por arco protegido con gas.	Specification for Low-alloy Steel Filler Metals for Gas-shielded Arc Welding.
		AWS A5.29	Electrodos de acero de baja aleación para soldadura por arco con electrodo tubular continuo.	Specification for Low-alloy Steel Electrodes for Flux-cored Arc Welding.

Notas:
NOM: Norma Oficial Mexicana.
ASTM: American Society of Testing Materials (Sociedad Americana para Ensayes y Materiales)
AWS: Sociedad Americana de la Soldadura.
Para aceros fabricados según las normas del Comité de Registro Naval (LLOYD), Bufete Naval Americano (ABS), Instituto Americano del Petróleo (API), Sociedad de Ingenieros de la Industria Automotriz (SAE), Instituto Americano del Hierro y el Acero. (AISI), y Estandard Británico (BS), se recomienda consultar a Altos Hornos de México (AHMSA).

CAPITULO

II

Notación, unidades, esfuerzos permisibles y resistencias de diseño

- **II.1 NOTACIÓN Y UNIDADES**
- **II.2 ESFUERZOS PERMISIBLES Y RESISTENCIAS DE DISEÑO**
  (Especificaciones IMCA-2003, NTC-RCDF-2004 Y AISC-2005)
  - Tensión (tirante)
  - Compresión (columna aislada)
  - Flexión (vigas)
  - Cortante (vigas)
  - Flexocompresión (columnas o miembros flexocompridos)
  - Flexotensión (miembros en flexión y tensión)

CAPITULO

II

II.1 NOTACIÓN Y UNIDADES

- **II.1.1 ESPECIFICACIONES PARA DISEÑO, FABRICACIÓN Y MONTAJE DE ESTRUCTURAS DE ACERO PARA EDIFICIOS**
  (DISEÑO ELÁSTICO O DISEÑO POR ESFUERZOS PERMISIBLES)

- **II.1.2 NORMAS TÉCNICAS COMPLEMENTARIAS PARA DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURAS METÁLICAS**
  REGLAMENTO DE CONSTRUCCIONES PARA EL DISTRITO FEDERAL 2004 (DISEÑO BASADO EN ESTADO LÍMITE DE FALLA Y DE SERVICIO)

- **II.1.3 ESPECIFICACIONES AISC 2005. ASD-LRFD**
  (DISEÑO POR FACTORES DE CARGA Y RESISTENCIA Y POR RESISTENCIA PERMISIBLE)

II.1.1 *ESPECIFICACIONES PARA DISEÑO, FABRICACIÓN Y MONTAJE DE ESTRUCTURAS DE ACERO PARA EDIFICIOS*

(Diseño elástico o diseño por esfuerzos permisibles)

Nota: Los símbolos que se definen a continuación en esta notación, son los comúnmente empleados en la literatura especializada de diseño de estructuras de acero conforme al método tradicional denominado diseño elástico o diseño por esfuerzos permisibles.

A	área de la sección transversal, área total de un miembro cargado en compresión axial, en cm².
A_b	área nominal del vástago de un sujetador; área de una barra con rosca realzada, calculada con el diámetro mayor de sus cuerdas, es decir, el diámetro de un cilindro coaxial que delimitaría las crestas de las cuerdas, en cm².
A_c	área real del patín efectivo de concreto en diseño compuesto, en cm².
A_{ctr}	área en compresión de la sección de concreto transformada, en cm². $= (b/n)t$
A_e	área neta efectiva de un miembro cargado en tensión axial, en cm².
A_f	área del patín comprimido, en cm².
A_{fe}	área efectiva del patín en tensión, en cm².
A_{fg}	área total del patín de una viga, en cm².
A_{fn}	área neta del patín de una viga, en cm².
A_g	área total del miembro, en cm².
A_n	área neta de un miembro cargado en tensión axial, en cm².
A_s	área de la viga de acero en diseño compuesto, en cm².
A'_s	área del acero de refuerzo en compresión, en cm².
A_{sr}	área del acero de refuerzo que suministra acción compuesta en un punto de momento negativo, en cm².
A_{st}	área de la sección transversal de un atiesador o de un par de atiesadores, en cm².
A_t	área neta en tensión, en cm².
A_v	área neta en cortante, en cm².
A_w	área del alma de una trabe armada, en cm².
A_1	área de acero que se apoya concéntricamente sobre un apoyo de concreto, en cm².

A_2	área máxima de la porción de la superficie de apoyo que es geométricamente similar a, y concéntrica con el área cargada, en cm².
B	coeficiente de flexión que depende de los momentos o esfuerzos calculados en los extremos de segmentos no arriostrados de un miembro de peralte variable.
C_b	coeficiente de flexión que depende de la ley de variación del momento flexionante. $= 1.75 + 1.05(M_1/M_2) + 0.3(M_1/M_2)^2$.
C_c	relación de esbeltez de columnas que separa el pandeo elástico del inelástico.
C'_c	relación de esbeltez de columnas que separa el pandeo elástico del elástico, modificada para tener en cuenta el ancho efectivo de miembros anchos en compresión. $= C_c\frac{1}{\sqrt{Q_a}}$ o $C_c\frac{1}{\sqrt{Q_s}}$ o $C_c\frac{1}{\sqrt{Q_a Q_s}}$
C_h	coeficiente usado en la Tabla 12 de Valores Numéricos.
C_m	coeficiente que se aplica al término de flexión en la ecuación de interacción para miembros prismáticos, que depende de la curvatura de la columna causada por los momentos aplicados sobre ella .
C'_m	coeficiente que se aplica al término de flexión en la ecuación de interacción para miembros de peralte variable, que depende del esfuerzo axial en el extremo más pequeño del miembro.
C_p	factor de rigidez para miembros principales en techos planos.
C_s	factor de rigidez para miembros secundarios en techos planos .
C_v	relación entre el esfuerzo “crítico” del alma, de acuerdo con la teoría lineal de pandeo, y el esfuerzo de fluencia del material del alma.
C_w	constante de alabeo de una sección, en cm⁶.
C_1	coeficiente que se usa para el desgarramiento del alma (bloque de cortante). Incremento usado en el cálculo de la separación mínima de agujeros sobredimensionados o alargados.
C_2	coeficiente que se usa para el desgarramiento del alma (bloque de cortante). Incremento usado en el cálculo de la distancia mínima al borde de agujeros sobredimensionados o alargados.

D	factor que depende del tipo de atiesadores transversales; diámetro exterior de un miembro tubular, en cm; número de dieciseisavos de pulgada en el tamaño de una soldadura.
E	módulo de elasticidad del acero (2,039,000 kg/cm²).
E_c	módulo de elasticidad del concreto, en kg/cm².
E_t	módulo de elasticidad tangente, en kg/cm².
F_a	esfuerzo de compresión axial permisible en un miembro prismático, en ausencia de momento flexionante, en kg/cm².
$F_{a\gamma}$	esfuerzo de compresión axial permisible en un miembro de peralte variable, en ausencia de momento flexionante, en kg/cm².
F_b	esfuerzo de flexión permisible en un miembro prismático, en ausencia de fuerza axial, en kg/cm².
F'_b	esfuerzo de flexión permisible en el patín en compresión en vigas hechas con placas soldadas, reducido para vigas híbridas o debido a un valor elevado de la relación peralte-espesor del alma, en kg/cm².
$F_{b\gamma}$	esfuerzo de flexión permisible en un miembro de peralte variable en ausencia de fuerza axial, en kg/cm².
F'_e	esfuerzo crítico de Euler para un miembro prismático dividido entre el factor de seguridad, en kg/cm².
$F'_{e\gamma}$	esfuerzo crítico de Euler para un miembro de peralte variable dividido entre el factor de seguridad, en kg/cm².
F_p	esfuerzo de aplastamiento permisible, en kg/cm².
$F_{s\gamma}$	esfuerzo de flexión, por resistencia a la torsión de Saint Venant, en un miembro de peralte variable, en kg/cm².
F_t	esfuerzo de tensión axial permisible, en kg/cm².
F_u	esfuerzo mínimo especificado de ruptura en tensión del tipo de acero o sujetador utilizado, en kg/cm².
F_v	esfuerzo cortante permisible, en kg/cm².
F_y	esfuerzo de fluencia mínimo especificado del tipo de acero usado, en kg/cm² Como se usa en este manual, el término “esfuerzo de fluencia” indica el punto de fluencia mínimo especificado (para los aceros que tienen un punto de fluencia bien definido), o una resistencia de fluencia mínima especificada (para los aceros que no tienen punto de fluencia definido).

F'_y	esfuerzo de fluencia máximo teórico, en kg/cm², basado en la relación ancho-grueso de la mitad de un patín comprimido no atiesado, más allá del cual un perfil determinado no es "compacto". $$F'_y = \left[\frac{545}{b_f / 2t_f}\right]^2$$
F_y'''	esfuerzo de fluencia máximo teórico, en kg/cm², basado en la relación peralte-grueso del alma, debajo del cual un perfil particular puede considerarse como "compacto", para cualquier condición de esfuerzos de flexión y axiales combinados. $$F'''_y = \left[\frac{2155}{d/t_w}\right]^2$$
F_{yc}	esfuerzo de fluencia mínimo especificado de una columna, en kg/cm².
F_{yf}	esfuerzo de fluencia mínimo especificado de un patín, en kg/cm².
F_{yr}	esfuerzo de fluencia mínimo especificado del acero de refuerzo longitudinal, en kg/cm².
F_{yst}	esfuerzo de fluencia mínimo especificado de un atiesador, en kg/cm².
F_{yw}	esfuerzo de fluencia mínimo especificado del alma de una viga, en kg/cm².
G	designación de la condición en el extremo usada en diseño de columnas para determinar la longitud efectiva por medio de un nomograma. Módulo de elasticidad al cortante del acero (787,400 kg/cm²).
H_s	longitud de un perno conector después de ser soldado, en cm.
I_d	momento de inercia de una cubierta de acero soportada por miembros secundarios, en cm⁴.
I_{eff}	momento de inercia efectivo de secciones compuestas para el cálculo de deformaciones, en cm⁴.
I_p	momento de inercia de un miembro principal en la estructura de un techo plano, en cm⁴.
I_s	momento de inercia de un miembro secundario en la estructura de un techo plano, en cm⁴; momento de inercia de la viga de acero en construcción compuesta, en cm⁴.
I_{tr}	momento de inercia de la sección compuesta transformada, en cm⁴.

K	factor de longitud efectiva de un miembro prismático.
K_γ	factor de longitud efectiva de un miembro de peralte variable.
L	longitud del claro, en m; longitud no arriostrada de miembros en tensión, en cm; longitud real no arriostrada de una columna, en cm; longitud no arriostrada de un miembro, medida entre los centros de gravedad de los miembros de arriostramiento, en cm.
L_c	longitud máxima no arriostrada del patín de compresión, para la cual el esfuerzo permisible en flexión puede tomarse igual a $0.66F_y$, o determinarse con la que sea aplicable de las ecuaciones de las Especificaciones AISC, en cm.
L_e	distancia del borde libre al centro del tornillo, en cm.
L_p	longitud de un miembro principal en la estructura de un techo plano, en m .
L_s	longitud de un miembro secundario en la estructura de un techo plano, en m.
L_u	longitud máxima no contraventeada del patín en compresión, para la cual el esfuerzo permisible en flexión puede tomarse igual a $0.6F_y$, en m.
L_v	claro correspondiente a la fuerza cortante máxima permisible en el alma de una viga con carga uniformemente repartida, en m.
M	momento, en kg m; momento flexionante factorizado máximo, en kg m.
M_1	el menor de los momentos en los extremos de la longitud no arriostrada de una viga-columna; el mayor de momentos en uno de los extremos de una porción de tres segmentos de un miembro de peralte variable.
M_2	el mayor de los momentos en los extremos de la longitud no arriostrada de una viga-columna; momento máximo en tres segmentos adyacentes de un miembro de peralte variable.
M_d	momento producido por carga muerta, en kg m.
M_l	momento producido por carga viva; momento producido por cargas impuestas después de que el concreto ha alcanzado el 75% de su resistencia requerida, en kg m.
M_m	momento crítico que puede ser resistido por un miembro diseñado plásticamente en ausencia de carga axial, en kg m.
M_p	momento plástico, en kg m.
N	longitud de apoyo de una carga aplicada; longitud de una placa de base, en cm.

N_e	longitud de un apoyo extremo para desarrollar la fuerza cortante máxima en el alma, en cm.
N_r	número de pernos conectores de cortante en una viga en una nervadura transversal de una lámina de acero, sin exceder de 3 en los cálculos.
N_1	número de conectores de cortante requeridos entre un punto de momento máximo y un punto de momento nulo.
N_2	número de conectores de cortante requeridos entre una carga concentrada y un punto de momento nulo.
P	carga aplicada, en kg; fuerza transmitida por un sujetador, en kg; carga axial factorizada, en kg; fuerza normal, en kg; carga axial, en kg.
P_{bf}	fuerza factorizada en el patín de una viga o en la placa de conexión en una junta restringida, en kg.
P_{cr}	resistencia máxima de un miembro comprimido axialmente o de una viga, en kg.
P_e	carga crítica de Euler, en kg.
P_{ec}	distancia efectiva horizontal de un tornillo usada en el diseño de conexiones con placas extremas, en cm.
P_{fb}	fuerza que transmite el patín de una viga o una placa de una conexión rígida, que resiste una columna sin atiesadores, en kg.
P_{wb}	fuerza que transmite el patín de una viga o una placa de una conexión rígida, que resiste una columna sin atiesadores, en kg.
P_{wi}	fuerza, adicionál a P_{wo}, que resistiría una columna sin atiesadores; la fuerza proviene del patín de una viga o de una placa de una conexión rígida con espesor de 1.0 cm, en kg.
P_{wo}	fuerza, que proviene del patín de una viga o de una placa de conexión de espesor nulo, que resistiría una columna sin atiesadores, en kg.
P_y	carga axial plástica, igual al producto del área del perfil por el esfuerzo de fluencia mínimo especificado, en kg.
Q	factor de reducción completa para elementos esbeltos en compresión; fuerza de palanca por sujetador, en kg.
Q_a	relación entre el área efectiva de la sección transversal de un miembro cargado axialmente y su área total.

Q_s	factor de reducción del esfuerzo axial cuando la relación ancho-grueso de elementos no atiesados excede los valores límite de secciones no compactas.
Q_w	momento estático de la sección transversal, en cm³.
R	reacción o carga concentrada aplicada en una viga o trabe, en kg; radio, en cm; reacción máxima en el extremo para 8 cm de apoyo, en kg; fuerza cortante en un elemento sencillo para cualquier deformación dada, en kg.
R_1	constante que se usa en el cálculo del flujo plástico del alma, en kg.
R_2	constante que se usa en el cálculo del flujo plástico del alma, en kg/cm.
R_3	constante que se usa en el cálculo del arrugamiento del alma, en kg.
R_4	constante que se usa en el cálculo del arrugamiento del alma, en kg/cm.
R_{bs}	resistencia al desgarramiento del alma (bloque de cortante), en kg.
R_{pg}	factor de reducción de la resistencia a la flexión de una trabe hecha con placas soldadas.
R_e	factor de viga híbrida.
R_i	incremento en la reacción R en kg por cada cm adicional de apoyo.
S	separación de miembros secundarios en un techo plano, en m; relación de esbeltez que rige el diseño de un miembro de peralte variable; módulo de sección en cm³.
S_{eff}	módulo de sección efectivo correspondiente a acción compuesta parcial, en cm³.
S_s	módulo de sección de una viga de acero utilizada en diseño compuesto, referido al patín inferior, en cm³.
S_t	módulo de sección de la sección compuesta transformada, referido a la parte superior del concreto, en cm³.
$S_{t\text{-}eff}$	módulo de sección relativo a la parte superior de la sección transformada equivalente de acero, en cm³.
S_{tr}	módulo de sección de la sección compuesta transformada, referido al patín inferior, basado en el ancho efectivo máximo permitido del patín de concreto, en cm³.
Sx	módulo de sección elástico alrededor del eje x-x, en cm³.

T	fuerza horizontal en los patines de una viga para formar un par igual al momento en el extremo de la viga, en kg; fuerza en un tornillo, en kg.
T_b	pretensión especificada para un tornillo de alta resistencia, en kg (kN).
U	coeficiente de reducción usado en el cálculo de áreas netas efectivas .
V	fuerza cortante producida por cargas factorizadas; fuerza de fricción, en kg; fuerza cortante máxima en el alma, en kg; cortante estático en una viga, en kg.
V_h	fuerza cortante horizontal total que debe ser resistida por los conectores en acción compuesta total, en kg.
V'_h	fuerza cortante horizontal total proporcionada por los conectores que suministran acción compuesta parcial, en kg.
V_s	cortante de entrepiso, en kg.
W	carga uniforme total, incluyendo el peso propio de la viga, en kg.
W_{no}	función de alabeo normalizada en un punto del borde del patín, en cm^2.
Y	cociente de los esfuerzos de fluencia de los aceros del alma y de los atiesadores.
Z	módulo de sección plástico, en cm^3.
Z_x	módulo de sección plástico alrededor del eje de mayor resistencia (x-x), en cm^3.
Z_y	módulo de sección plástico alrededor del eje de menor resistencia (y-y), en cm^3.
A	distancia libre entre atiesadores transversales, en cm; dimensión paralela a la dirección del esfuerzo, en cm.
A'	distancia más allá del punto teórico de corte necesaria en los extremos de cubreplacas soldadas de longitud parcial para desarrollar el esfuerzo, en cm.
B	ancho real de elementos en compresión atiesados o no atiesados, en cm; dimensión normal a la dirección del esfuerzo, en cm.
b_e	ancho efectivo de un elemento atiesado en compresión, en cm.
b_f	ancho del patín de una viga laminada o de una trabe hecha con tres placas soldadas, en cm.

D	peralte de una viga laminada o hecha con tres placas soldadas, en cm; diámetro de un rodillo o apoyo tipo balancín, en cm; diámetro nominal de un sujetador, en cm.
D_1	peralte de la viga que conecta con una columna en el lado de sotavento de la conexión, en cm.
D_2	peralte de la viga que conecta con una columna en el lado de barlovento de la conexión, en cm.
d_L	peralte en el mayor de los extremos de un miembro de peralte variable, en cm.
d_b	diámetro de un tornillo, en cm.
d_c	peralte libre del alma, entre curvas de unión con los patines, en cm.
d_h	diámetro de un agujero, en pulgadas.
d_l	peralte del extremo más grande de un segmento no arriostrado de un miembro de peralte variable, en cm
d_o	peralte en el extremo más pequeño de un miembro de peralte variable o de un segmento no arriostrado del mismo, en cm.
e_o	distancia de la cara exterior del alma al centro de torsión de una canal, en cm.
F	esfuerzo de compresión axial en un miembro, basado en su área efectiva, en kg/cm².
f_a	esfuerzo axial calculado, en kg/cm².
f_{ao}	esfuerzo axial calculado en el extremo más pequeño de un miembro de peralte variable o de un segmento no arriostrado del mismo, en kg/cm².
f_b	esfuerzo de flexión calculado, en kg/cm².
f_{b1}	el menor de los esfuerzos de flexión calculados en uno de los extremos de un segmento de un miembro de peralte variable, en kg/cm².
f_{b2}	el mayor de los esfuerzos de flexión calculados en uno de los extremos de un segmento de peralte variable, en kg/cm².
f_{bl}	esfuerzo de flexión calculado en el extremo mayor de un miembro de peralte variable o de un segmento no arriostrado del mismo, en kg/cm².
f'_c	resistencia especificada del concreto en compresión, en kg/cm².
f_p	presión real de aplastamiento en un apoyo, en kg/cm².

f_t	esfuerzo de tensión calculado, en kg/cm².
f_v	esfuerzo cortante calculado, en kg/cm².
f_{vs}	fuerza cortante entre el alma de una viga o trabe y los atiesadores transversales, en kilogramos por centímetro lineal de un atiesador sencillo o de un par de astiesadores.
G	separación transversal entre líneas de gramil de sujetadores, en cm.
H	distancia libre entre patines de una viga o trabe en la sección en estudio, en cm. Peralte total de una viga compuesta desde la parte inferior de la viga de acero hasta la parte superior del concreto, en cm.
h_r	altura nominal de las nervaduras de una lámina de acero, en cm.
h_s	factor aplicado a la longitud no contraventeada de un miembro de peralte variable.
h_w	factor aplicado a la longitud no contraventeada de un miembro de peralte variable.
K	distancia de la cara exterior del patín al pie de la curva de unión con el alma en un perfil laminado, o distancia equivalente en una sección soldada, en cm.
k_c	coeficiente de restricción en un elemento comprimido.
k_v	coeficiente de pandeo por cortante en almas de vigas.
L	en vigas, distancia entre secciones transversales contraventeadas contra retorcimiento o desplazamiento lateral del patín en compresión, en cm; en columnas, longitud real no arriostrada del miembro, en cm; longitud no soportada de una barra de celosía, en cm; longitud de una soldadura, en cm; longitud máxima no soportada lateralmente lo largo de cualquiera de los patines en el punto de aplicación de una carga, en cm.
l_b	longitud real no soportada lateralmente en el plano de flexión, en cm.
l_{cr}	longitud crítica sin contraventeo adyacente a una articulación plástica, en cm.
N	relación modular (E/E_c); número de sujetadores en una fila vertical; dimensión del voladizo de una placa base, en cm.
Q	fuerza cortante horizontal permisible que debe ser resistida por un conector de cortante, en kg.
R	radio de giro que rige el diseño, en cm.

r_T	radio de giro de una sección que comprende el patín en compresión más 1/3 del área del alma en compresión, tomado con respecto a un eje en el plano del alma, en cm.
r_{To}	radio de giro en el extremo más pequeño de un miembro de peralte variable o de un segmento no contraventeado del mismo, considerando solamente el patín en compresión más 1/3 del área del alma en compresión, tomado con respecto a un eje en el plano del alma, en cm.
r_b	radio de giro alrededor del eje de flexión concurrente, en cm.
r_{bo}	radio de giro alrededor del eje de flexión concurrente en el extremo más pequeño de un miembro de peralte variable o de un segmento no contraventeado del mismo, en cm.
r_o	radio de giro en el extremo menor de un miembro de peralte variable, en cm.
r_x	radio de giro alrededor del eje x-x, en cm.
r_y	radio de giro alrededor del eje y-y, en cm.
r'_y	radio de giro alrededor del eje y-y de un miembro formado por dos ángulos, en cm.
S	separación longitudinal centro a centro (paso) entre dos agujeros consecutivos, en cm.
T	espesor de una parte concentrada, en cm; espesor de la pared de un miembro tubular, en cm; espesor de un elemento comprimido, en cm; espesor de una placa de relleno, en cm; espesor de concreto en compresión, en cm.
t_b	espesor del patín de una viga o de la placa de conexión a momento en una conexión rígida viga-columna, en cm.
tf	grueso de un patín, en cm.
t_o	grueso de la losa de concreto por encima de la lámina de acero, en cm.
t_s	grueso de la placa de un atiesador, en cm.
t_p	espesor de una placa extrema, en cm.
t_w	grueso del alma, en cm.
t_{wc}	grueso del alma de una columna, en cm.
W	longitud de una canal usada como conector de cortante, en cm; ancho de una placa (distancia entre soldaduras), en cm.

w_r	Ancho promedio de una nervadura o cartela de una losa de concreto sobre una lámina de acero acanalada, en cm.
X	subíndice que indica que un símbolo se refiere a la flexión alrededor del eje de mayor resistencia.
Y	subíndice que indica que un símbolo se refiere a la flexión alrededor del eje de menor resistencia.
Z	distancia al extremo menor de un miembro de peralte variable, en cm.
α	constante usada para determinar el factor de viga híbrida $R_{\mathbf{e}}$. $= 0.6F_{\mathbf{yw}} / F_{\mathbf{b}} \leq 1.0$.
β	relación $S_{\mathbf{tr}}/S_{\mathbf{s}}$ o $S_{\mathbf{eff}}/S_{\mathbf{s}}$.
γ	relación entre peraltes de un miembro de peralte variable o de un segmento no contraventeado del mismo; subíndice que indica que un símbolo se refiere a miembros de peralte variable.
Δ	desplazamiento del eje neutro de un miembro cargado, referido a su posición cuando no está cargado, en cm; deflexión de una viga, en cm.
μ	coeficiente de fricción (adimensional).
ν	relación de Poisson, que puede tomarse igual a 0.30 para el acero estructural.

II.1.2 NORMAS TÉCNICAS COMPLEMENTARIAS PARA DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURAS METÁLICAS

Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal 2004
(Diseño basado en estados límite de falla y de servicio)

Nota: Los símbolos que se definen a continuación en esta notación, son los comúnmente utilizados en las Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y Construcción de Estructuras Metálicas del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal, basadas en los criterios de diseño por estados límite de falla y servicios.

A	área de la sección transversal de una columna; área de la sección transversal de una viga tubular, mm² (cm²).
A_1, A_2	áreas que intervienen en la determinación del valor de diseño de la carga de aplastamiento en concreto, mm² (cm²).
A_a	área del alma o almas de una viga o trabe armada; área de aplastamiento, mm² (cm²).
A_{at}	área de la sección transversal de un atiesador o par de atiesadores transversales en el alma de una trabe armada; área total del par de atiesadores colocados en el alma de la columna frente a uno de los patines de la viga en una conexión viga-columna, mm² (cm²).
A_B	área cargada en columnas compuestas; área cargada en un apoyo de concreto reforzado, mm² (cm²).
A_b	área nominal de la parte del vástago no roscada de un tornillo o remache, mm² (cm²).
A_c	área de concreto de una columna compuesta; área efectiva de la losa de concreto en una viga compuesta; área de la sección transversal de una columna, mm² (cm²).
A_{ci}	área de la sección transversal de la cuerda inferior de una armadura o larguero que trabaja en construcción compuesta, mm² (cm²).
A_e	área neta efectiva de la sección transversal de un miembro, mm² (cm²).
A_{MB}	área de la sección transversal del metal base (para diseño de soldaduras), mm² (cm²).
A_n	área neta de la sección transversal de un miembro, mm² (cm²).
A_{nt}, A_{nc}	áreas netas sujetas a tensión y a cortante, respectivamente, a lo largo de una trayectoria de falla, mm² (cm²).
A_o	parámetro para determinar el área efectiva de una columna de sección transversal circular hueca.

A_p	área del patín comprimido de una viga o trabe armada, o de la placa de conexión, en el patín de la viga, de una unión viga-columna, mm² (cm²).
A_r	área de las barras de refuerzo longitudinal de una columna compuesta; área de las barras de refuerzo longitudinal colocadas en el ancho efectivo de la losa de una viga compuesta, mm² (cm²).
A_s	área de la sección transversal de la sección de acero de una viga compuesta; área efectiva de una soldadura, mm² (cm²).
A_{sc}	área de la sección transversal del vástago de un conector de barra con cabeza, mm² (cm²).
A_t	área total de la sección transversal de un miembro; área total de la sección transversal del elemento de acero estructural de una columna compuesta; área total de un apoyo de concreto, mm² (cm²).
A_{tc}, A_{tt}	áreas totales sometidas a cortante y tensión, respectivamente, mm² (cm²).
a	distancia entre sujetadores o entre soldaduras de un miembro armado; distancia entre atiesadores transversales en una viga o trabe armada; separación entre líneas de remaches, tornillos o soldaduras que conectan los montantes de columnas armadas; profundidad de la zona de concreto de una viga compuesta que trabaja en compresión; longitud de un tramo de viga con fuerza cortante constante o casi constante; tamaño de la pierna de una soldadura de filete, mm (cm).
a'	longitud en el extremo de una cubreplaca, mm (cm).
a_r	cociente del área del alma entre el área del patín comprimido de una trabe armada.
B_1, B_2	factores de amplificación de momentos para diseño de piezas flexocomprimidas.
b	ancho total de un elemento plano comprimido; ancho de una cara de una sección tubular rectangular o cuadrada; ancho del patín de una sección I o H, mm (cm).
b_c	ancho del patín de una columna, mm (cm).
b_e	ancho efectivo de elementos planos comprimidos que forman parte de secciones tipo 4; ancho efectivo de una losa de concreto que trabaja en construcción compuesta, mm (cm).
C	coeficiente que depende de la ley de variación del momento flexionante a lo largo del eje de una barra en flexión o en flexocompresión.

C_1	incremento de la distancia al borde en agujeros sobredimensionados o alargados, mm.
C_1, C_2, C_3	coeficientes numéricos que se utilizan en la determinación de la resistencia de columnas compuestas.
C_a	constante de torsión por alabeo, mm^6 (cm^6).
C_f	fuerza de compresión en la losa de concreto de una sección compuesta correspondiente a trabajo compuesto completo, N (kg).
C_r	resistencia en compresión, factorizada, de la parte del área de acero de una viga compuesta, que trabaja en compresión, N (kg).
C_r	coeficiente que se define en la sección 3.7.5.
C_r'	resistencia en compresión de la parte del área de concreto de una viga compuesta que trabaja en compresión, N (kg).
C_v	coeficiente que interviene en el cálculo del área de atiesadores de trabes armadas.
D	diámetro exterior de un tubo, mm (cm).
D_a	coeficiente que interviene en el cálculo del área de atiesadores de trabes armadas.
d	ancho de una placa; peralte de una sección; ancho de una cara de una sección tubular rectangular o cuadrada; distancia entre centros de montantes de una columna armada; diámetro nominal de un remache o tornillo; diámetro del rodillo o mecedora de un apoyo libre, mm (cm).
d_c	peralte del alma de una sección I o H, medido entre los puntos donde comienzan las curvas o las soldaduras que la unen con los patines; peralte total de una columna, mm (cm).
d_v	peralte total de una viga, mm (cm).
E	módulo de elasticidad del acero (200,000 MPa, 2,040,000 kg/cm^2).
E_c	módulo de elasticidad del concreto, MPa (kg/cm^2).
E_m	módulo de elasticidad modificado que se emplea en el cálculo de la resistencia de columnas compuestas, MPa (kg/cm^2).
E_{XXXX}	clasificación de un electrodo para soldadura manual con electrodo recubierto.

e, e’	brazos de palanca de una viga compuesta, mm (cm).
F_c	factor de carga.
F_{EXX}	clasificación de un electrodo para soldadura al arco eléctrico, MPa (kg/cm²).
F_e	esfuerzo crítico de pandeo elástico por torsión o flexotorsión, MPa (kg/cm²).
F_{ex}, F_{ey}, F_{ez}	esfuerzos críticos de pandeo elástico por flexión o por torsión, MPa (kg/cm²).
F_{MB}	resistencia nominal del metal base (para diseño de soldaduras), MPa (kg/cm²).
F_{my}	esfuerzo de fluencia modificado que se emplea en el cálculo de la resistencia de columnas compuestas, MPa (kg/cm²).
F_n	esfuerzo crítico de pandeo nominal de un miembro completo, MPa (kg/cm²).
F_n	resistencia nominal, N (kg).
F_R	factor de reducción de la resistencia.
F_{RC}	factor de reducción de la resistencia del concreto.
F_s	resistencia nominal del metal de un electrodo; resistencia nominal de una soldadura de filete, MPa (kg/cm²).
F_t	esfuerzo nominal de tensión en tornillos o remaches en juntas por aplastamiento, MPa (kg/cm²).
F_u	esfuerzo mínimo especificado de ruptura en tensión, MPa (kg/cm²).
F_v	resistencia nominal al cortante de tornillos en conexiones de deslizamiento crítico, MPa (kg/cm²).
F_y	valor mínimo garantizado del esfuerzo correspondiente al límite inferior de fluencia del acero, MPa (kg/cm²).
F_{yc}	esfuerzo de fluencia del acero de una columna, MPa (kg/cm²).
F_{ye}	esfuerzo de fluencia esperado, MPa (kg/cm²).

F_{yr}	esfuerzo de fluencia mínimo especificado de las barras de refuerzo longitudinal de una columna compuesta, o de las barras de refuerzo longitudinal colocadas en el ancho efectivo de la losa de una viga compuesta, MPa (kg/cm²).
F_{yv}	esfuerzo de fluencia del acero de una viga, MPa (kg/cm²).
f	esfuerzo de compresión en un elemento plano, MPa (kg/cm²).
f_a	esfuerzo normal en una columna, producido por la fuerza axial de diseño, MPa (kg/cm²).
f_c'	resistencia especificada del concreto en compresión, MPa (kg/cm²).
f_c''	esfuerzo de compresión en el concreto de una viga compuesta en flexión positiva, MPa (kg/cm²).
f_c^*	resistencia nominal del concreto en compresión, MPa (kg/cm²).
f_v	esfuerzo cortante en el área nominal del vástago de un tornillo o remache, producido por cargas de diseño, MPa (kg/cm²).
G	módulo de elasticidad al esfuerzo cortante del acero (77,200 MPa, 784,000 kg/cm²).
g	separación transversal centro a centro entre agujeros para tornillos (gramil), mm (cm).
g	aceleración de la gravedad, m/s².
H	constante que interviene en el cálculo de la resistencia al pandeo elástico por torsión o flexotorsión de una columna.
H_s	longitud de un conector soldado, mm (cm).
h	peralte del alma de una viga o trabe armada (distancia libre entre patines, en secciones hechas con placas soldadas, y distancia entre los puntos donde comienzan las curvas de unión de alma y patines en secciones laminadas); distancia entre centroides de los elementos individuales que forman un miembro armado en compresión, mm (cm).
h_c	peralte del alma de una columna, medido entre los puntos donde se inician las curvas (o las soldaduras) que la unen con los patines, mm (cm).
h_r	altura nominal de las nervaduras de una lámina acanalada, mm (cm).
I	índice de estabilidad de un entrepiso.

I, I_x, I_y	momentos de inercia, mm^4 (cm^4).
I_a	momento de inercia de la sección de acero de una viga compuesta, mm^4 (cm^4).
I_a'	momento de inercia de una armadura, reducido por flexibilidad del alma, mm^4 (cm^4).
I_{ef}	momento de inercia efectivo de una viga parcialmente compuesta, mm^4 (cm^4).
I_t'	momento de inercia de una armadura compuesta, reducido por flexibilidad del alma, mm^4 (cm^4).
I_{tr}	momento de inercia de una sección compuesta transformada no agrietada, mm^4 (cm^4).
J	constante de torsión de Saint Venant, mm^4 (cm^4).
K, K_x, K_y, K_z	factores de longitud efectiva de columnas.
K_L	longitud efectiva de una columna, mm (cm).
KL/r	relación de esbeltez de una columna.
$(KL/r)_e$, $(KL/r)_o$, $(KL/r)_i$	relaciones de esbeltez necesarias para determinar la resistencia de un miembro armado en compresión.
k	coeficiente que interviene en el cálculo de la resistencia al cortante de almas de vigas y trabes armadas; coeficiente de pandeo de placas.
k	distancia de la cara exterior del patín a la terminación de la curva o de la soldadura de unión con el alma, mm (cm).
L	longitud libre de una columna entre secciones soportadas lateralmente; longitud de una conexión en la dirección de la carga; longitud libre de un miembro en tensión; distancia entre secciones de una viga soportadas lateralmente; altura de un entrepiso; longitud de una soldadura; claro de una viga, mm (cm).
L_c	longitud de una canal utilizada como conector de cortante en construcción compuesta; distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde de un agujero para un tornillo y el borde del agujero adyacente, o del material, mm (cm).
L_p	longitud máxima no soportada lateralmente para la que un miembro en flexión puede desarrollar el momento plástico *Mp*, y conservarlo durante las rotaciones necesarias para la formación del mecanismo de colapso, mm (cm).

L_r	longitud no soportada lateralmente de un miembro en flexión que separa los intervalos de aplicación de las ecuaciones 3.22 y 3.23, mm (cm).
L_u	longitud máxima no soportada lateralmente para la que un miembro en flexión puede desarrollar el momento plástico *Mp*; no se exige capacidad de rotación, mm (cm).
L_x, L_y, L_z	longitudes libres de una columna para pandeo por flexión o torsión, mm (cm).
L/r	relación de esbeltez de un miembro en tensión; relación de esbeltez de atiesadores colocados en puntos de trabes armadas en los que haya fuerzas concentradas.
l	longitud de una soldadura; longitud de aplastamiento, mm (cm).
M	momento flexionante de diseño en el punto de aplicación de una carga concentrada (para el cálculo de conectores de cortante); momento de diseño de un montante de una columna armada, N-mm (kg-cm).
M_1	el menor de los momentos en los extremos de un tramo no soportado lateralmente de una viga o columna flexocomprimida, N-mm (kg-cm).
M_2	el mayor de los momentos en los extremos de un tramo no soportado lateralmente de una viga o columna flexocomprimida, N-mm (kg-cm).
M_D	momento flexionante de diseño, N-mm (kg-cm).
M_m	momento resistente de diseño aproximado de una sección H flexionada alrededor del eje X, N-mm (kg-cm).
$M_{máx}$	momento flexionante máximo, positivo o negativo, para el cálculo de los conectores de cortante, N-mm (kg-cm).
M_n	momento resistente nominal de una sección compuesta, N-mm (kg-cm).
M_{ou}	momento máximo entre apoyos de un miembro flexocomprimido sobre el que actúan cargas transversales aplicadas en puntos intermedios, N-mm (kg-cm).
M_p	momento plástico resistente nominal de un miembro en flexión, N-mm (kg-cm).
M_{pv}	momento plástico resistente nominal de una viga, N-mm (kg-cm).
M_{px}, M_{py}	momentos plásticos resistentes nominales de una sección para flexión alrededor de los ejes X y Y, respectivamente, N-mm (kg-cm).

M_R	resistencia de diseño en flexión, N-mm (kg-cm).
M_R'	momento resistente de una trabe armada reducido por esbeltez del alma, N-mm (kg-cm).
M_r	momento resistente de diseño de la sección de acero de una viga compuesta, N-mm (kg-cm).
M_{RC}	momento resistente de diseño de una sección compuesta con la losa en compresión, N-mm (kg-cm).
M_{RX}, M_{RY}	resistencias de diseño en flexión alrededor de los ejes X y Y, respectivamente, de columnas flexocomprimidas de sección transversal tipo 3 ó 4, N-mm (kg-cm).
M_{ti}	momento de diseño en el extremo de una columna producido por cargas que no ocasionan desplazamientos laterales apreciables de los extremos, N-mm (kg-cm).
M_{tp}	momento de diseño en el extremo de una columna producido por cargas que ocasionan desplazamientos laterales apreciables de los extremos, N-mm (kg-cm).
M_u	momento resistente nominal de una sección de un miembro en flexión, cuando el pandeo lateral se inicia en el intervalo elástico, N-mm (kg-cm).
M_{uox}, M_{uoy}	momentos de diseño que actúan alrededor de los ejes X y Y, respectivamente, de las secciones transversales extremas de una barra flexocomprimida; momentos de diseño en la sección considerada de una barra en flexotensión, N-mm (kg-cm).
M_{uox}, M_{uoy}	momentos de diseño amplificados que actúan alrededor de los ejes X y Y, respectivamente, de las secciones transversales de una barra flexocomprimida o en flexotensión, N-mm (kg-cm).
M_y	momento nominal correspondiente a la iniciación de la fluencia en una sección (sin considerar esfuerzos residuales), N-mm (kg-cm).
N	número de conectores de cortante colocados entre las secciones de momento máximo y momento nulo.
N	longitud del apoyo o grueso de la placa que aplica una carga concentrada en una viga, mm (cm).
N_b	número de tornillos que resisten una fuerza de tensión que reduce el apriete en una conexión de deslizamiento crítico.
N_r	número de conectores en una nervadura en la intersección con la viga de soporte.

N_s	número de planos de deslizamiento en una conexión de deslizamiento crítico.
n	coeficiente en la expresión para determinar la resistencia de diseño de miembros comprimidos; número de planos paralelos en los que están colocados los montantes de columnas armadas; número de conectores de cortante necesarios entre una sección de momento máximo y otra de momento nulo; relación entre los módulos de elasticidad del acero y el concreto.
P	fuerza de compresión en una columna, N (kg).
P_E	carga crítica nominal de pandeo elástico, N (kg).
P_{EX}, P_{EY}	cargas críticas nominales de pandeo elástico alrededor de los ejes X y Y, respectivamente, N (kg).
P_p	valor nominal de la carga de aplastamiento en un apoyo de concreto, N (kg).
P_u	fuerza axial de diseño que obra en una columna comprimida axialmente o flexocomprimida; fuerza axial de diseño en una barra en flexotensión; fuerza axial de diseño en una barra en tensión, N (kg).
P_{uc}	fuerza axial de compresión de diseño en una columna, N (kg).
P_y	fuerza axial que ocasiona la plastificación de un miembro, igual al producto del área de su sección transversal por el esfuerzo de fluencia del material, N (kg).
Q	factor de comportamiento sísmico.
Qn	resistencia nominal de un conector de cortante, N (kg).
R	resistencia de diseño de remaches, tornillos y barras roscadas, N (kg).
R	parámetro para determinar el área efectiva de una columna de sección transversal circular hueca.
R	radio de una barra o placa doblada en la que se deposita soldadura, mm (cm).
R_c	resistencia de diseño de un elemento estructural en compresión axial, N (kg).
R_f	factor de reducción de la resistencia de un conector de cortante.

R_N	resistencia nominal en flexión de un patín con carga lineal; resistencia nominal del alma de una sección I o H, N (kg).
R_n	resistencia nominal por aplastamiento, N (kg).
R_{nc}	resistencia nominal en compresión de una columna compuesta, N (kg).
R_t	resistencia de diseño de un elemento estructural en tensión, N (kg).
R_V	resistencia nominal en cortante del alma de una sección sujeta a fuerzas cortantes, o a fuerzas axiales y cortantes, N (kg).
R_y	factor de modificación del esfuerzo nominal de fluencia.
r, r_x, r_y	radios de giro, mm (cm).
r_i	radio de giro mínimo de un elemento individual de un miembro armado en compresión, mm (cm).
r_o	radio polar de giro, mm (cm).
r_{str}	resistencia nominal de diseño al deslizamiento por tornillo, N (kg).
S	módulo de sección elástico, mm^3 (cm^3).
S_a	módulo de sección del perfil de acero de una sección compuesta, referido a su patín en tensión, mm^3 (cm^3).
S_e	módulo de sección elástico efectivo de secciones cuyo patín comprimido es tipo 4, mm^3 (cm^3).
S_{ef}	módulo de sección efectivo de una viga en construcción compuesta parcial, referido al patín en tensión de la viga de acero, mm^3 (cm^3).
S_{tr}	módulo de sección de una sección compuesta no agrietada transformada, referido al patín en tensión de la viga de acero, mm^3 (cm^3).
s	separación longitudinal centro a centro entre agujeros consecutivos, para tornillos o remaches, en la dirección en que se transmiten las fuerzas (paso), mm (cm).
T	fuerza de tensión, de servicio, en un tornillo de una conexión de deslizamiento crítico, N (kg).
T_b	fuerza de pretensión en un tornillo de alta resistencia, N (kg).
T_r	resistencia en tensión, factorizada, de la parte del área de acero de una viga compuesta que trabaja en tensión, N (kg).

T_u	fuerza de tensión que reduce el apriete en una conexión de deslizamiento crítico, N (kg).
t	grueso de un elemento plano; grueso de la pared de una sección circular hueca; grueso del alma de una viga o trabe armada; grueso total del alma en una junta viga–columna; grueso de una losa de concreto que trabaja en construcción compuesta; grueso de una placa de relleno; grueso de la parte conectada crítica en una junta atornillada, mm (cm).
t_a	grueso del alma de una viga o trabe armada; grueso del alma de una canal utilizada como conector de cortante, mm (cm).
t_c	grueso del alma de una columna, mm (cm).
t_p	grueso del patín de una canal utilizada como conector de cortante; grueso del patín de una sección I o H, mm (cm).
tpc	grueso del patín de una columna, mm (cm).
U	coeficiente de reducción del área; se utiliza para calcular el área neta efectiva.
V	fuerza cortante de diseño de los montantes de una columna armada, N (kg).
V_D	fuerza cortante de diseño, N (kg).
V_N	resistencia nominal al cortante, N (kg).
V_R	resistencia de diseño al cortante, N (kg).
V_u	fuerza que se introduce en una columna compuesta, N (kg).
V_u'	fuerza que debe transmitirse por medio de conectores de cortante en una columna compuesta, N (kg).
w_r	ancho medio de las nervaduras de una lámina acanalada, mm (cm).
X_r, X_u	coeficientes que se utilizan para determinar las longitudes *Lu* y *Lr* de vigas en flexión.
$\overline{x}$	excentricidad de una conexión, mm (cm).
x_o, y_o	coordenadas del centro de torsión de una sección respecto a sus ejes centroidales y principales, mm (cm).
Y	cociente del esfuerzo de fluencia del acero del alma de una trabe armada entre el esfuerzo de fluencia del acero de los atiesadores.

y	distancia del centroide del área efectiva de la losa de concreto al eje neutro elástico de una sección compuesta, mm (cm).
Z	módulo de sección plástico, mm^3 (cm^3).
Z_c	módulo de sección plástico de una columna, mm^3 (cm^3).
Z_v	módulo de sección plástico de una viga, mm^3 (cm^3).
Z_x, Z_y	módulos de sección plástico para flexión alrededor de los ejes X y Y, respectivamente, mm^3 (cm^3).
α	parámetro que interviene en la determinación de la resistencia de un miembro armado en compresión.
β	factor de reducción de la longitud de una soldadura de filete.
Δ, Δ_{oH}	desplazamiento horizontal relativo de primer orden de los niveles que limitan un entrepiso, mm (cm).
δ	deflexión de un punto del eje de una columna deformada, medida respecto a la recta que une sus extremos, mm (cm).
δ_o	deflexión máxima entre apoyos en un miembro flexocomprimido cuyos extremos no se desplazan linealmente, sobre el que actúan cargas transversales, mm (cm).
ε_f	deformación unitaria del concreto producida por la contracción libre.
ζ	cociente del diámetro de un conector de cortante entre el grueso del material al que se suelda.
θ	ángulo entre la línea de acción de una fuerza y el eje longitudinal de una soldadura de filete, grados.
λ	parámetro de esbeltez de una columna; parámetro que se usa para determinar el ancho efectivo de elementos planos comprimidos de paredes delgadas.
λ_e	parámetro de esbeltez de una columna que falla por torsión o flexotorsión.
μ	coeficiente de deslizamiento medio.
ρ	parámetro que se usa para determinar el ancho efectivo de elementos planos comprimidos de paredes delgadas.
ΣH	fuerza cortante de diseño en un entrepiso (suma de todas las fuerzas horizontales de diseño que obran encima de él), N (kg).

ΣM^*_{pc}	suma de momentos en las columnas que concurren en un nudo, N-mm (kg-cm).
ΣM^*_{py}	suma de momentos en las vigas que concurren en un nudo, N-mm (kg-cm).
ΣP_u	fuerza vertical de diseño en el entrepiso en consideración; incluye cargas muertas y vivas (suma de fuerzas axiales de diseño en todas las columnas del entrepiso), N (kg).
ΣQ_n	suma de las resistencias nominales de los conectores de cortante colocados entre las secciones de momento máximo y momento nulo, N (kg).
τ	cociente del diámetro del conector de cortante entre el grueso del material al que se suelda.
Ψ	factor que interviene en el cálculo de *C* de miembros flexocomprimidos en los que obran cargas transversales intermedias.

II.1.3 *ESPECIFICACIONES AISC 2005. ASD-LRFD*

(Diseño por factores de carga y resistencia y por resistencia permisible)

Nota: Los símbolos que se definen a continuación, son los comúnmente empleados en la literatura internacional especializada en el diseño de estructuras de acero conforme al dimensionamiento dual del *American Institute of Steel Construction (AISC)*: diseño por resistencia permisible (Allowable Strength Design) y diseño por factores de carga y resistencia (Load and Resistance Factor Design). Estas normas se designan en México como Especificaciones AISC 2005-ASD-LRFD.

A	área de la sección transversal de una columna; área de la sección transversal de una viga tubular, mm² (cm²).
A_1, A_2	áreas que intervienen en la determinación del valor de diseño de la carga de aplastamiento en concreto, mm² (cm²).
A_w	área del alma o almas de una viga o trabe armada; área de aplastamiento, mm² (cm²).
A_{at}	área de la sección transversal de un atiesador o par de atiesadores transversales en el alma de una trabe armada; área total del par de atiesadores colocados en el alma de la columna frente a uno de los patines de la viga en una conexión viga–columna, mm² (cm²).
A_B	área cargada en columnas compuestas; área cargada en un apoyo de concreto reforzado, mm² (cm²).
A_b	área nominal de la parte del vástago no roscada de un tornillo o remache, mm² (cm²).
A_c	área de concreto de una columna compuesta; área efectiva de la losa de concreto en una viga compuesta; área de la sección transversal de una columna, mm² (cm²).
A_{ci}	área de la sección transversal de la cuerda inferior de una armadura o larguero que trabaja en construcción compuesta, mm² (cm²).
A_e	área neta efectiva de la sección transversal de un miembro, en mm² (cm²).
A_g	área total de la sección transversal, mm² (cm²).
A_{gt}	área total sujeta a tensión a lo largo de una trayectoria de falla (estado límite de ruptura por bloque de cortante y tensión combinados), mm² (cm²).
A_{gv}	área total sujeta a cortante a lo largo de una trayectoria de falla (estado límite de ruptura por bloque de cortante y tensión combinados), mm² (cm²).
A_{MB}	área de la sección transversal del metal base (para diseño de soldaduras), mm² (cm²).

A_n	área neta de la sección transversal de un miembro, mm² (cm²).
A_{nt}, A_{nv}	áreas netas sujetas a tensión y a cortante, respectivamente, a lo largo de una trayectoria de falla, mm² (cm²).
A_o	parámetro para determinar el área efectiva de una columna de sección transversal circular hueca.
A_p	área del patín comprimido de una viga o trabe armada, o de la placa de conexión, en el patín de la viga, de una unión viga–columna, mm² (cm²).
A_r	área de las barras de refuerzo longitudinal de una columna compuesta; área de las barras de refuerzo longitudinal colocadas en el ancho efectivo de la losa de una viga compuesta, mm² (cm²).
A_s	área de la sección transversal de la sección de acero de una viga compuesta; área efectiva de una soldadura, m² (cm²).
A_{sc}	área de la sección transversal del vástago de un conector de barra con cabeza, mm² (cm²).
A_g	área total de la sección transversal de un miembro; área total de la sección transversal del elemento de acero estructural de una columna compuesta; área total de un apoyo de concreto, mm² (cm²).
A_{tc}, A_{tt}	áreas totales sometidas a cortante y tensión, respectivamente, mm² (cm²).
a	distancia entre sujetadores o entre soldaduras de un miembro armado; distancia entre atiesadores transversales en una viga o trabe armada; separación entre líneas de remaches, tornillos o soldaduras que conectan los montantes de columnas armadas; profundidad de la zona de concreto de una viga compuesta que trabaja en compresión; longitud de un tramo de viga con fuerza cortante constante o casi constante; tamaño de la pierna de una soldadura de filete, mm (cm).
a’	longitud en el extremo de una cubreplaca, mm (cm).
a_r	cociente del área del alma entre el área del patín comprimido de una trabe armada.
B_d	resistencia de diseño de un solo tornillo, N (kg).
B_{db}	resistencia de diseño al aplastamiento de un tornillo, N (kg).
B_{dbe}	resistencia de diseño al aplastamiento de un tornillo extremo, N (kg).
B_{dbi}	resistencia de diseño al aplastamiento de un tornillo interior, N (kg).

B_{dbti}	resistencia de diseño al aplastamiento de un tornillo interior para el estado límite de desgarramiento por cortante de un elemento unido, N (kg).
B_{dv}	resistencia de diseño al cortante de un tornillo, N (kg).
B_n	resistencia nominal de un tornillo, N (kg).
B_1, B_2	factores de amplificación de momentos para diseño de piezas flexocomprimidas.
b	ancho total de un elemento plano comprimido; ancho de una cara de una sección tubular rectangular o cuadrada; ancho del patín de una sección I o H, mm (cm).
b_f	ancho del patín de una columna, mm (cm).
b_e	ancho efectivo de elementos planos comprimidos que forman parte de secciones esbeltas; ancho efectivo de una losa de concreto que trabaja en construcción compuesta, mm (cm).
C	coeficiente que depende de la ley de variación del momento flexionante a lo largo del eje de una barra en flexión o en flexocompresión.
C_1	incremento de la distancia al borde en agujeros sobredimensionados o alargados, mm.
C_1, C_2, C_3	coeficientes numéricos que se utilizan en la determinación de la resistencia de columnas compuestas.
C_w	constante de torsión por alabeo, cm^6 (mm^6).
C_b	coeficiente de flexión que depende del gradiente de momento flexionante para resistencia al pandeo lateral (adimensional).
C_d	resistencia de diseño de conectores de cortante, N (kg).
C_f	fuerza de compresión en la losa de concreto de una sección compuesta correspondiente a trabajo compuesto completo, N (kg).
C_m	coeficiente que se aplica al término de flexión en la ecuación de interacción para miembros prismáticos y que depende de la curvatura de la columna causada por los momentos apliacados (adimensional).
C_r	resistencia en compresión, factorizada, de la parte del área de acero de una viga compuesta, que trabaja en compresión, N (kg).
C_r	coeficiente que se define en la sección 3.7.5.

C_r'	resistencia en compresión de la parte del área de concreto de una viga compuesta que trabaja en compresión, N (kg).
C_v	coeficiente que interviene en el cálculo del área de atiesadores de trabes armadas.
c	distancia del eje neutro a la fibra extrema donde se determina el esfuerzo de flexión, mm (cm).
D	carga muerta; diámetro exterior de un tubo, mm (cm); tamaño de una soldadura de filete en dieciseisavos de pulgada, mm (plg).
D_a	coeficiente que interviene en el cálculo del área de atiesadores de trabes armadas.
d	ancho de una placa; peralte de una sección; ancho de una cara de una sección tubular rectangular o cuadrada; distancia entre centros de montantes de una columna armada; diámetro nominal de un remache o tornillo; diámetro del rodillo o mecedora de un apoyo libre, mm (cm).
d_c	peralte del alma de una sección I o H, medido entre los puntos donde comienzan las curvas o las soldaduras que la unen con los patines; peralte total de una columna, mm (cm).
d_e	ancho efectivo del agujero del tornillo, mm (cm).
d_i	distancia medida del centro de gravedad de un elemento i, de una sección transversal al centro de gravedad de la sección transversal que se utiliza en el teorema de los ejes paralelos, mm (cm).
d_v	peralte total de una viga, mm (cm).
E	módulo de elasticidad del acero (200 000 MPa, 2 040 000 kg/cm²).
E_t	módulo tangente, MPa (kg/cm²).
E_c	módulo de elasticidad del concreto, MPa (kg/cm²).
E_m	módulo de elasticidad modificado que se emplea en el cálculo de la resistencia de columnas compuestas, MPa (kg/cm²).
E_{XXXX}	clasificación de un electrodo para soldadura manual con electrodo recubierto.
e, e'	brazos de palanca de una viga compuesta, mm (cm); excentricidad de la carga, mm (cm); base de logaritmo natural = 2.717828.
F_C	factor de carga.

F_{EXX}	clasificación de un electrodo para soldadura al arco eléctrico, MPa (kg/cm²).
F_e	esfuerzo crítico de pandeo elástico por torsión o flexotorsión, MPa (kg/cm²).
F_{ex}, F_{ey}, F_{ez}	esfuerzos críticos de pandeo elástico por flexión o por torsión, MPa (kg/cm²).
F_{BM}	resistencia nominal del metal base (para diseño de soldaduras), MPa (kg/cm²).
F_l	menor valor de (Fyf - fr) o Fyw, MPa (kg/cm²).
F_{my}	esfuerzo de fluencia modificado que se emplea en el cálculo de la resistencia de columnas compuestas, MPa (kg/cm²).
F_n	esfuerzo crítico de pandeo nominal de un miembro completo, MPa (kg/cm²).
F_r	esfuerzo residual a la compresión en el patín (705 kg/cm² para perfiles lamindaos; 1 160 kg/cm² para perfiles fabricados con placas soldadas), MPa (kg/cm²).
F_s	resistencia nominal del metal de un electrodo; resistencia nominal de una soldadura de filete, MPa (kg/cm²).
F_t	esfuerzo nominal de tensión en tornillos o remaches en juntas por aplastamiento, MPa (kg/cm²).
F_u	esfuerzo mínimo especificado de ruptura en tensión, MPa (kg/cm²).
F_{ub}	esfuerzo último de tensión del tornillo, MPa (kg/cm²).
F_{uy}	esfuerzo de cortante último, MPa (kg/cm²).
F_v	resistencia nominal al cortante de tornillos en conexiones de deslizamiento crítico, MPa (kg/cm²).
F_y	valor mínimo garantizado del esfuerzo correspondiente al límite inferior de fluencia del acero, MPa (kg/cm²).
F_{yc}	esfuerzo de fluencia del acero de una columna, MPa (kg/cm²).
F_{ye}	esfuerzo de fluencia esperado, MPa (kg/cm²).

F_{yr}	esfuerzo de fluencia mínimo especificado de las barras de refuerzo longitudinal de una columna compuesta, o de las barras de refuerzo longitudinal colocadas en el ancho efectivo de la losa de una viga compuesta, MPa (kg/cm²).
F_{yv}	esfuerzo de fluencia del acero de una viga, MPa (kg/cm²).
F_w	resistencia nominal del material del electrodo de la soldadura, MPa (kg/cm²).
f	esfuerzo de compresión en un elemento plano, MPa (kg/cm²).
f_a	esfuerzo normal en una columna, producido por la fuerza axial de diseño, MPa (kg/cm²).
f_c'	resistencia especificada del concreto en compresión, MPa (kg/cm²).
f_c''	esfuerzo de compresión en el concreto de una viga compuesta en flexión positiva, MPa (kg/cm²).
f_c^*	resistencia nominal del concreto en compresión, MPa (kg/cm²).
f_v	esfuerzo cortante en el área nominal del vástago de un tornillo o remache, producido por cargas de diseño, MPa (kg/cm²).
G	módulo de elasticidad al esfuerzo cortante del acero (77 200 MPa, 784 000 kg/cm²).
G_A, G_B	factores relativos de restricción en los extremos de una columna (adimensionales).
g	separación transversal centro a centro entre agujeros para tornillos (gramil), mm (cm).
g	aceleración de la gravedad, m/s².
H	constante que interviene en el cálculo de la resistencia al pandeo elástico por torsión o flexotorsión de una columna; fuerza horizontal, N (kg).
H_s	longitud de un conector soldado, mm (cm).
h	peralte del alma de una viga o trabe armada (distancia libre entre patines, en secciones hechas con placas soldadas, y distancia entre los puntos donde comienzan las curvas de unión de alma y patines en secciones laminadas); distancia entre centroides de los elementos individuales que forman un miembro armado en compresión, mm (cm).

h_c	peralte del alma de una columna, medido entre los puntos donde se inician las curvas (o las soldaduras) que la unen con los patines, mm (cm).
h_r	altura nominal de las nervaduras de una lámina acanalada, mm (cm).
I	índice de estabilidad de un entrepiso.
I, I_x, I_y	momentos de inercia mm^4 (cm^4).
I_a	momento de inercia de la sección de acero de una viga compuesta, mm^4 (cm^4).
I_a'	momento de inercia de una armadura, reducido por flexibilidad del alma, mm^4 (cm^4).
I_{ef}	momento de inercia efectivo de una viga parcialmente compuesta, mm^4 (cm^4).
I_p	momento polar de inercia, mm^4 (cm^4).
I_t'	momento de inercia de una armadura compuesta, reducido por flexibilidad del alma, mm^4 (cm^4).
I_{tr}	momento de inercia de una sección compuesta transformada no agrietada, mm^4 (cm^4).
J	constante de torsión de Saint Venant, mm^4 (cm^4).
K, K_x, K_y, K_z	factores de longitud efectiva de columnas.
KL	longitud efectiva de una columna, mm (cm).
KL/r	relación de esbeltez de una columna.
$(KL/r)_e$, $(KL/r)_o$, $(KL/r)_i$	relaciones de esbeltez necesarias para determinar la resistencia de un miembro armado en compresión.
k	coeficiente que interviene en el cálculo de la resistencia al cortante de almas de vigas y trabes armadas; coeficiente de pandeo de placas.
k	distancia de la cara exterior del patín a la terminación de la curva o de la soldadura de unión con el alma, mm (cm).
L	longitud libre de una columna entre secciones soportadas lateralmente; longitud de una conexión en la dirección de la carga; longitud libre de un miembro en tensión; distancia entre secciones de una viga soportadas lateralmente; altura de un entrepiso; longitud de una soldadura; claro de una viga, mm (cm)

L_b	longitud no soportada lateralmente, longitud entre puntos de soporte lateral contra desplazamiento lateral del patín en compresión o con soporte contra torcimiento de la sección transversal, mm (cm).
L_c	longitud de una canal utilizada como conector de cortante en construcción compuesta; distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde de un agujero para un tornillo y el borde del agujero adyacente, o del material, mm (cm).
L_e	distancia al extremo de un tornillo medido en dirección de la línea de fuerza; distancia al extremo, mm (cm).
L_{lw}	longitud de la soldadura longitudinal, mm (cm).
L_{tw}	longitud de la soldadura transversal, mm (cm).
L_p	longitud máxima no soportada lateralmente para la que un miembro en flexión puede desarrollar el momento plástico M_p, y conservarlo durante las rotaciones necesarias para la formación del mecanismo de colapso, mm (cm).
L_r	longitud no soportada lateralmente de un miembro en flexión que separa los intervalos de aplicación de las ecuaciones (F2-5) y (F2-6), mm (cm).
L_u	longitud máxima no soportada lateralmente para la que un miembro en flexión puede desarrollar el momento plástico M_p; no se exige capacidad de rotación, mm (cm).
L_s	distancia lateral de un tornillo medida perpendicularmente a la línea de la fuerza, mm (cm).
L_w	longitud de una soldadura de filete, mm (cm).
L_x, L_y, L_z	longitudes libres de una columna para pandeo por flexión o torsión, mm (cm).
L/r	relación de esbeltez de un miembro en tensión; relación de esbeltez de atiesadores colocados en puntos de trabes armadas en los que haya fuerzas concentradas.
l	longitud de una soldadura; longitud de aplastamiento, mm (cm).
M	momento flexionante de diseño en el punto de aplicación de una carga concentrada (para el cálculo de conectores de cortante); momento de diseño de un montante de una columna armada, N-mm (kg-cm).
M_1	el menor de los momentos en los extremos de un tramo no soportado lateralmente de una viga o columna flexocomprimida, N-mm (kg-cm).

M_2	el mayor de los momentos en los extremos de un tramo no soportado lateralmente de una viga o columna flexocomprimida, N-mm (kg-cm).
M_A	valor absoluto del momento en una sección en la cuarta parte del segmento no soportado lateralmente de la viga, N-mm (kg-cm).
M_B	valor absoluto del momento en una sección en el centro del claro del segmento no soportado lateralmente de la viga, N-mm (kg-cm).
M_C	valor absoluto del momento en una sección en las tres cuartas partes del claro del segmento no soportado lateralmente de la viga, N-mm (kg-cm).
M_c	resistencia disponible en flexión de una columna, N-mm (kg-cm).
M_{cr}	momento elástico de pandeo lateral por flexotorsión de una viga o un segmento de viga sujeto a momento uniforme, N-mm (kg-cm).
M_d	momento flexionante de diseño, N-mm (kg-cm).
M^o_{dl}	resisitencia de diseño en flexión de un segmento de viga bajo momento uniforme para Lp < Lb < Lr, N-mm (kg-cm).
M^o_{dE}	resistencia de diseño en flexión de un segmento de viga bajo momento uniforme para Lb > Lr, N-mm (kg-cm).
M_{lt}	momento máximo de diseño de primer orden en una columna debido sólo a desplazamiento lateral de la estructura, N-mm (kg-cm).
M_m	momento resistente de diseño aproximado de una sección H flexionada alrededor del eje X, N-mm (kg-cm).
$M_{máx}$	momento flexionante máximo, positivo o negativo, para el cálculo de los conectores de cortante, N-mm (kg-cm).
M_n	momento resistente nominal de una sección compuesta, N-mm (kg-cm).
M_{nt}	momento máximo de diseño de primer orden en una columna suponiendo que no hay desplazamiento lateral en la estructura, N-mm (kg-cm).
M_{ou}	momento máximo entre apoyos de un miembro flexocomprimido sobre el que actúan cargas transversales aplicadas en puntos intermedios, N-mm (kg-cm).
M_p	momento plástico resistente nominal de un miembro en flexión, N-mm (kg-cm).
M_{pv}	momento plástico resistente nominal de una viga, N-mm (kg-cm).

M_{px}, M_{py}	momentos plásticos resistentes nominales de una sección para flexión alrededor de los ejes X y Y, respectivamente, N-mm (kg-cm).
M_R	resistencia de diseño en flexión, N-mm (kg-cm).
M_R'	momento resistente de una trabe armada reducido por esbeltez del alma, N-mm (kg-cm).
M_r	resistencia requerida en flexión de la sección de acero de una columna, N-mm (kg-cm).
M_r	$= (F_y - F_r) S_x$.
M_{RC}	momento resistente de diseño de una sección compuesta con la losa en compresión, N-mm (kg-cm).
M_{RX}, M_{RY}	resistencias de diseño en flexión alrededor de los ejes X y Y, respectivamente, de columnas flexocomprimidas de sección transversal tipo 3 ó 4, N-mm (kg-cm).
M_{ti}	momento de diseño en el extremo de una columna producido por cargas que no ocasionan desplazamientos laterales apreciables de los extremos, N-mm (kg-cm).
M_{tp}	momento de diseño en el extremo de una columna producido por cargas que ocasionan desplazamientos laterales apreciables de los extremos, N-mm (kg-cm).
M_u	resistencia requerida de una sección de un miembro en flexión sujeto a cargas de diseño, incluidos los efectos de segundo orden, N-mm (kg-cm).
M_{ueq}	capacidad de momento uniforme factorizado equivalente para el segmento considerado, N-mm (kg-cm).
M_u^*	momentos de diseño amplificados que actúan alrededor de los ejes X y Y, respectivamente, de las secciones transversales de una barra flexocomprimida o en flexotensión, N-mm (kg-cm).
M_y	momento nominal correspondiente a la iniciación de la fluencia en una sección (sin considerar esfuerzos residuales), N-mm (kg-cm).
N	número de conectores de cortante colocados entre las secciones de momento máximo y momento nulo; longitud del apoyo o grueso de la placa que aplica una carga concentrada en una viga, mm (cm).
N_b	número de tornillos que resisten una fuerza de tensión que reduce el apriete en una conexión de deslizamiento crítico.

N_r	número de conectores en una nervadura en la intersección con la viga de soporte.
N_s	número de planos de deslizamiento en una conexión de deslizamiento crítico.
n	coeficiente para determinar la resistencia de diseño de miembros comprimidos; número de planos paralelos en los que están colocados los montantes de columnas armadas; número de conectores de cortante necesarios entre una sección de momento máximo y otra de momento nulo; relación entre los módulos de elasticidad del acero y el concreto.
P_c	resistencia disponible en compresión de una columna, N (kg).
P_{cr}	carga de pandeo crítica, N (kg).
P_r	resistencia requerida en compresión en una columna, N (kg).
P_d	resistencia de diseño de una columna comprimida axialmente, N (kg).
P_E	carga de pandeo de Euler, N (kg).
P_e	carga crítica nominal de pandeo elástico, N (kg).
P_{e1}	carga de pandeo elástico utilizada en el cálculo del factor de amplificación B1, N (kg).
P_{e2}	carga de pandeo elástico utilizada en el cálculo del factor de amplificación B2, N (kg).
P_{ex}, P_{ey}	cargas críticas nominales de pandeo elástico alrededor de los ejes X y Y, respectivamente, N (kg).
P_n	resistencia nominal de una columna cargada en compresión axial, N (kg).
P_p	valor nominal de la carga de aplastamiento en un apoyo de concreto, N (kg).
P_u	fuerza axial de diseño que obra en una columna comprimida axialmente o flexocomprimida; fuerza axial de diseño en una barra en flexotensión; fuerza axial de diseño en una barra en tensión, N (kg).
P_{uc}	fuerza axial de compresión de diseño en una columna, N (kg).
P_{ueq}	carga axial equivalente utilizada en la selección de un perfil utilizado como columna, N (kg).

P_y	fuerza axial que ocasiona la plastificación de un miembro, igual al producto del área de su sección transversal por el esfuerzo de fluencia del material, N (kg).
Q	factor de comportamiento sísmico; carga transversal concentrada en un miembro, N (kg).
Q_n	resistencia nominal de un conector de cortante, N (kg).
R_a	resistencia requerida (ASD), N (kg).
R	resistencia de diseño de remaches, tornillos y barras roscadas, N (kg).
R	parámetro para determinar el área efectiva de una columna de sección transversal circular hueca.
R	radio de una barra o placa doblada en la que se deposita soldadura, mm (cm); carga de lluvia.
R_c	resistencia de diseño de un elemento estructural en compresión axial, N (kg).
R_f	factor de reducción de la resistencia de un conector de cortante.
R_n	resistencia nominal, N (kg).
R_n	resistencia nominal en flexión de un patín con carga lineal; resistencia nominal del alma de una sección I o H, N (kg).
R_n	resistencia nominal por aplastamiento, N (kg).
R_n/Ω	resistencia permisible, N (kg).
R_{nc}	resistencia nominal en compresión de una columna compuesta, N (kg).
R_t	resistencia de diseño de un elemento estructural en tensión, N (kg).
R_u	resistencia requerida (LRFD), N (kg).
R_V	resistencia nominal en cortante del alma de una sección sujeta a fuerzas cortantes, o a fuerzas axiales y cortantes, N (kg).
R_y	factor de modificación del esfuerzo nominal de fluencia.
r, r_x, r_y	radios de giro, mm (cm).
r_i	radio de giro mínimo de un elemento individual de un miembro armado en compresión, mm (cm).

r_o	radio polar de giro, mm (cm).
r_{str}	resistencia nominal de diseño al deslizamiento por tornillo, N (kg).
S	módulo de sección elástico, mm^3 (cm^3).
S_a	módulo de sección del perfil de acero de una sección compuesta, referido a su patín en tensión, mm^3 (cm^3).
S_e	módulo de sección elástico efectivo de secciones cuyo patín comprimido es esbelto, mm^3 (cm^3).
S_{ef}	módulo de sección efectivo de una viga en construcción compuesta parcial, referido al patín en tensión de la viga de acero, mm^3 (cm^3).
S_{tr}	módulo de sección de una sección compuesta no agrietada transformada, referido al patín en tensión de la viga de acero, mm^3 (cm^3).
s	separación longitudinal centro a centro entre agujeros consecutivos, para tornillos o remaches, en la dirección en que se transmiten las fuerzas (paso), mm (cm).
T	fuerza de tensión, de servicio, en un tornillo de una conexión de deslizamiento crítico, N (kg).
T_b	fuerza de pretensión en un tornillo de alta resistencia, N (kg).
T_d	resistencia de diseño de un miembro en tensión, N (kg).
T_n	resistencia nominal de un miembro en tensión, N (kg).
T_r	resistencia en tensión, factorizada, de la parte del área de acero de una viga compuesta que trabaja en tensión, N (kg).
T_u	fuerza de tensión que reduce el apriete en una conexión de deslizamiento crítico, N (kg).
t	grueso de un elemento plano; grueso de la pared de una sección circular hueca; grueso del alma de una viga o trabe armada; grueso total del alma en una junta viga–columna; grueso de una losa de concreto que trabaja en construcción compuesta; grueso de una placa de relleno; grueso de la parte conectada crítica en una junta atornillada, mm (cm).
t_c	grueso del alma de una columna, mm (cm).
t_p	grueso del patín de una canal utilizada como conector de cortante; grueso del patín de una sección I o H, mm (cm).

t_{pc}	grueso del patín de una columna, mm (cm).
t_w	grueso del alma de una viga o trabe armada; grueso del alma de una canal utilizada como conector de cortante, mm (cm).
U	coeficiente de reducción del área; se utiliza para calcular el área neta efectiva.
V	fuerza cortante, N (kg).
V	fuerza cortante de diseño de los montantes de una columna armada, N (kg).
V_d	fuerza cortante de diseño, N (kg).
V_n	resistencia nominal al cortante, N (kg).
V_R	resistencia de diseño al cortante, N (kg).
V_u	fuerza que se introduce en una columna compuesta, N (kg).
V_u'	fuerza que debe transmitirse por medio de conectores de cortante en una columna compuesta, N (kg).
W	carga debida al viento, N (kg).
W_d	resistencia de diseño de una soldadura de filete de 1 pulg. de longitud, N (kg).
w	tamaño de la pierna de la soldadura de filete, mm (pulg).
w_r	ancho medio de las nervaduras de una lámina acanalada, mm (cm).
x	subíndice que indica que un símbolo se refiere a flexión alrededor del eje de mayor momento de inercia del miembro.
$\overline{x}$	excentricidad de una conexión, mm (cm); coordenada x del centro de gravedad.
x_o, y_o	coordenadas del centro de torsión de una sección respecto a sus ejes centroidales y principales, mm (cm).
Y	cociente del esfuerzo de fluencia del acero del alma de una trabe armada entre el esfuerzo de fluencia del acero de los atiesadores.
y	distancia del centroide del área efectiva de la losa de concreto al eje neutro elástico de una sección compuesta, mm (cm).
y	subíndice que indica que un símbolo se refiere a flexión alrededor del eje de mayor momento de inercia del miembro; coordenada y del centro de gravedad, mm (cm).

Z	módulo de sección plástico, mm^3 (cm^3).
Z_c	módulo de sección plástico de una columna, mm^3 (cm^3).
Z_v	módulo de sección plástico de una viga, mm^3 (cm^3).
Z_x, Z_y	módulos de sección plástico para flexión alrededor de los ejes X y Y, respectivamente, mm^3 (cm^3).
z	subíndice que indica que un símbolo se refiere al eje longitudinal del miembro.
α	parámetro que interviene en la determinación de la resistencia de un miembro armado en compresión; factor de forma.
β	factor de reducción de la longitud de una soldadura de filete.
Δ, Δ_{oH}	desplazamiento horizontal relativo de primer orden de los niveles que limitan un entrepiso, mm (cm).
δ	deflexión, mm (cm).
δ	deflexión de un punto del eje de una columna deformada, medida respecto a la recta que une sus extremos, mm (cm).
δ_o	deflexión máxima entre apoyos en un miembro flexocomprimido cuyos extremos no se desplazan linealmente, sobre el que actúan cargas transversales, mm (cm).
ε_f	deformación unitaria del concreto producida por la contracción libre.
ε_y	deformación de fluencia.
ζ	cociente del diámetro de un conector de cortante entre el grueso del material al que se suelda.
θ	ángulo entre la línea de acción de una fuerza y el eje longitudinal de una soldadura de filete, grados
μ	relación de Poisson (0.30 para el acero estructural); coeficiente de deslizamiento para conexiones de deslizamiento crítico.
λ	parámetro de esbeltez de una columna; parámetro que se usa para determinar el ancho efectivo de elementos planos comprimidos de paredes delgadas
λ_p	parámetro de esbeltez para un elemento compacto.

λ_{pf}	parámetro de esbeltez para el patín de un perfil de sección transversal I compacto.
λ_{pw}	parámetro de esbeltez para el alma de un perfil de sección transversal I compacto.
λ_r	parámetro de esbeltez para un miembro no compacto.
λ_e	parámetro de esbeltez de una columna que falla por torsión o flexotorsión.
μ	coeficiente de deslizamiento medio.
ρ	parámetro que se usa para determinar el ancho efectivo de elementos planos.
τ	cociente del diámetro del conector de cortante entre el grueso del material al que se suelda; factor de reducción de rigidez (adimensional).
Ω	factor de seguridad (adimensional).
ϕ	factor de reducción de resistencia (adimensional).
ϕ_b	factor de reducción por flexión (0.90).
ϕ_c	factor de reducción de resistencia para compresión (0.85).
ϕ_t	factor de reducción para tensión (0.90 y 0.75).
ϕ_v	factor de reducción de resistencia para cortante (0.90).
Ψ	factor que interviene en el cálculo de *C* de miembros flexocomprimidos en los que obran cargas transversales intermedias.
ΣH	fuerza cortante de diseño en un entrepiso (suma de todas las fuerzas horizontales de diseño que obran encima de él), N (kg).
ΣM^*_{pc}	suma de momentos en las columnas que concurren en un nudo, N-mm (kg-cm).
ΣM^*_{py}	suma de momentos en las vigas que concurren en un nudo, N-mm (kg-cm).
ΣP_u	fuerza vertical de diseño en el entrepiso en consideración; incluye cargas muertas y vivas (suma de fuerzas axiales de diseño en todas las columnas del entrepiso), N (kg).
ΣQ_n	suma de las resistencias nominales de los conectores de cortante colocados entre las secciones de momento máximo y momento nulo, N (kg).

CAPITULO

II

II.2 ESFUERZOS PERMISIBLES Y RESISTENCIAS DE DISEÑO

- **II.2.1 ESPECIFICACIONES PARA EDIFICIOS DE ACERO**
- **II.2.2 DISEÑO POR ESFUERZOS PERMISIBLES** (DEP)
- **II.2.3 RESISTENCIAS DE DISEÑO** (NTC-RCDF-2004)
- **II.2.4 MIEMBROS EN TENSIÓN**
- **II.2.5 MIEMBROS EN COMPRESIÓN** (COLUMNA AISLADA)
- **II.2.6 MIEMBROS EN FLEXIÓN** (VIGAS)
- **II.2.7 MIEMBROS FLEXOCOMPRIMIDOS** (COLUMNAS)
- **II.2.8 DISEÑO DE MIEMBROS FLEXOCOMPRIMIDOS** (COMPRESIÓN AXIAL Y FLEXIÓN)

Introducción

Algunas normas vigentes en México, para diseño y construcción de estructuras de acero para edificios, se basan parcialmente en las Especificaciones del *American Institute of Steel Construction (AISC)*, organismo que agrupa a las principales empresas productoras de acero estructural de los Estados Unidos de América, diseñadores, fabricantes de estructuras metálicas, empresas dedicadas al montaje y a la supervisión de estructuras, profesores e investigadores; y que publica periódicamente manuales de construcción en acero. El *AISC* realiza eventos técnicos, nacionales e internacionales para promover y difundir la tecnología y el uso del acero en la industria de la construcción.

Tras los sismos de *Northridge, California, 1994* y *Kobe, Japón, 1995*, las *Seismic Provisions for Structural Steel Buildings* recientes del *AISC* prescriben disposiciones más estrictas desde el punto de vista de seguridad estructural de las edificaciones, y se han hecho modificaciones importantes en la práctica de diseño y construcción de estructuras de este tipo, por haberse demostrado un comportamiento diferente al esperado.

Los resultados de las investigaciones realizadas a lo largo de muchos años se han sintetizado en un procedimiento de diseño práctico y racional, para proporcionar una herramienta de diseño que permita obtener estructuras con niveles de seguridad, aceptables y económicas dentro de ciertos límites. El desarrollo de numerosos programas de computadoras para el análisis y diseño de estructuras ha permitido que las reglas de diseño se apliquen de manera versátil, con revisiones rápidas para optimizar el material y evitar cálculos laboriosos.

Las normas de diseño requieren revisiones periódicas y oportunas, de acuerdo con las nuevas experiencias e investigaciones que surgen en el campo de la ingeniería; se considera que un reglamento o norma se vuelve obsoleto después de no más de diez años de su publicación, o inmediatamente después de la ocurrencia de un sismo fuerte, que demuestre un comportamiento poco satisfactorio de las estructuras que fueron diseñadas y construidas con la normatividad vigente.

El uso de las Especificaciones *AISC–ASD* (diseño por esfuerzos permisibles) en México, durante aproximadamente un siglo, se debe principalmente a las siguientes razones:

- En varias ramas de la ingeniería, nuestra tecnología y evolución de la normatividad depende en buena medida del desarrollo de Estados Unidos.

- La industria siderúrgica mexicana inició operaciones hace aproximadamente un siglo, y se desarrolló con infraestructura y equipo de laminación de origen estadounidense, de manera que todos los perfiles estructurales mexicanos que se producían en el pasado y en la actualidad se presentan en unidades del sistema ingles. La fabricación de materiales utilizados en la estructura de acero (aceros estructurales, aceros de alta resistencia, tornillos, arandelas y tuercas, pernos de anclaje y barras roscadas, metales de aportación y fundentes para soldadura, pernos conectores de cortante, lámina acanalada para sistemas de piso) está regida por normas de carácter internacional de la *American Society of Testing Materials (ASTM)* y la *American Welding Society*

(AWS). Desde hace varios años, estos materiales se han normalizado en nuestro país de acuerdo con normas del Comité Consultivo de Normalización de la Industria Siderúrgica de la Cámara Nacional de la Industria del Hierro y el Acero *(CANACERO)*.

- En el pasado, había poca literatura disponible para el diseño de este tipo de estructuras. La industria siderúrgica mexicana, encabezada principalmente por *Altos Hornos de México, Compañía Siderúrgica de Guadalajara, Hylsa, S. A, Galvak (ahora Ternium)*, realizó esfuerzos importantes para publicar catálogos de sus productos, con información técnica básica.

- En México, la investigación relacionada con el comportamiento del acero estructural, es prácticamente nula. Las únicas y notables contribuciones, aportaciones y actualización de normas y temas sobre el comportamiento y diseño de estructuras de acero, han sido hechas, a lo largo de más de sesenta años, por el Maestro Oscar de Buen y López de Heredia, Profesor emérito de la Universidad Nacional Autónoma de México y Director General de Colinas de Buen. El trabajo del Ing. De Buen ha fomentado desde los años cincuenta, el empleo del acero en la industria de la construcción, muchos edificios de mediana altura y altos de la Ciudad de México confirman su vasta experiencia.

- Los manuales de construcción en acero del *AISC* han sido, tradicionalmente, las herramientas disponibles más completas para el diseño, fabricación y montaje de estructuras de acero para edificios, las cuales están en permanente actualización, e incorporan resultados de investigación teóricos, experimentales y prácticos, que reflejan los avances tecnológicos en el campo de las estructuras metálicas, por lo que su gran contenido técnico permite aplicarlas de manera rápida.

- Los diseñadores mexicanos se han familiarizados más con el uso de las especificaciones AISC, principalmente con el método de diseño basado en esfuerzos permisibles (diseño elástico), por ser el método más simple, tradicional y conservador.

- La mayor parte de los programas de computadora especializados para el diseño de estructuras de acero que se emplean en México y en América Latina, se basan en las Especificaciones del *AISC*. En México, los programas que provienen de los Estados Unidos de América y de Europa han tenido buena aceptación. También existen programas de computadora desarrollados por ingenieros mexicanos que han también tenido aceptación en la ingeniería estructural mexicana.

- En los centros de enseñanza superior y universidades, donde se imparte la materia de estructuras de acero (cabe señalar que esta materia es optativa en la mayoría de ellos), los cursos se imparten con base en programas tradicionales, con apego a las Especificaciones *AISC*, diseño por esfuerzos permisibles.

No obstante, las *Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras Metálicas del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal de 2004*, preparadas por un comité técnico, integrado por profesionistas reconocidos en nuestro medio y encabezados por el Ing. Oscar de Buen López de Heredia, son consideradas actualmente en México, la herramienta más completa y actualizada para el diseño con acero, ya que contiene estudios analíticos y experimentales relativos al comportamiento y diseño de estructuras de acero, de más de 30 años, así como algunas enseñanzas

derivadas de los sismos de la ciudad de México de1985, *Northridge, Cal., 1994* y *Kobe, Japón, 1995*.

Lamentablemente, el empleo de estas normas en nuestro medio está limitado por las razones siguientes:

- Las *NTC-RCDF-2004*, como su nombre lo indica, tienen carácter oficial únicamente en el Distrito Federal, mientras que las Especificaciones del *AISC* son reconocidas y utilizadas en cualquier parte de nuestro país. (Las Especificaciones *AISC* cubren geográficamente un campo de aplicación mucho más grande que las Normas Técnicas Complementarias del *RCDF-2004*). Es común que en varios estados de la República Mexicana, especialmente en los estados del norte, se utilicen normas estadounidenses (*AISC, ACI, UBC*, etc.) para el diseño de estructuras, incluso para la definición de cargas vivas, viento o sismo, razón por la cual los diseños realizados en estos lugares difieren sustancialmente de los efectuados en la Ciudad de México.

- Pocos ingenieros, diseñadores y estructuristas profesionales suelen utilizarlas. El empleo correcto de las nuevas normas requerirá amplia difusión entre la comunidad ingenieril.

Consecuentemente, en este Manual se presentan disposiciones de diseño alternas para dimensionar y construir estructuras de acero, de acuerdo con varios métodos de diseño: diseño por esfuerzos permisibles, diseño por factores de carga y resistencia y diseño por estados límite.

Por supuesto, quedará a juicio del diseñador, el empleo de una u otra norma. Se advierte al usuario de estas normas, que la tendencia mundial es hacía el diseño por desempeño.

En las nuevas normas del *AISC*, que se publicaron en 2005, se incorporaron los dos métodos, *ASD* y *LRFD*, como lo ha hecho el *American Iron and Steel Institute (AISI)*.

El método de diseño elástico o por esfuerzos permisibles es muy útil cuando se revisan estructuras antiguas, su aplicación data de casi un siglo en los Estados Unidos de América y en México.

Especificaciones AISC para edificios de acero

ASD	Primera edición	1923
	Novena edición	1989
LRFD	Primera edición	1986
	Segunda edición	1993
	Tercera edición	1999
	Cuarta edición	2001
	Quinta edición	2005 (ASD y LRFD)

En marzo de 2005, el American Institute of Steel Construction *(AISC)* publicó una nueva edición del *Manual of Steel Construction*, que contiene disposiciones de diseño con los métodos *ASD* y *LRFD*.

Especificaciones AISC 2005 para edificios de acero estructural

- Normas de diseño convenientes para la industria de las estructuras de acero.
- Especialmente útiles para diseño por sismo, diseño de marcos rígidos con conexiones parcialmente restringidas y sistemas estructurales compuestos acero-concreto.
- Usos apropiados de combinaciones de carga para el criterio basado en resistencia y servicio.
- Consistente con el diseño por estados límite, aplicable a estructuras, miembros constitutivos y conexiones estructurales trabe-columna.

Formatos de diseño:

LRFD ***(Load and Resistance Factor Design, Diseño por Factores de Carga y Resistencia, DFCR)***

y

ASD ***(Allowable Stress Design, Diseño por Resistencia Permisible, DRP)***

LRFD (diseño por factores de carga y resistencia, DFCR)

Este método de diseño denominado también **diseño por estados límite o resistencia última**, consiste en determinar en primer termino, las acciones (cargas o momentos) que se presentan en las secciones críticas de un miembro estructural o estructura bajo el efecto de las acciones de diseño o cargas factorizadas.

En general, las cargas factorizadas se obtienen multiplicando las cargas de servicio o de trabajo por un factor de carga, que suele ser mayor que la unidad.

Ecuación básica de diseño:

$$\Sigma \gamma_i Q_i \leq \phi R_n$$

donde:

Q_i = efecto de las acciones calculado (M, V, P, etc.) bajo cargas de servicio i, donde i = D (carga muerta), L (carga viva), S (sismo), W (viento), etc.
γ_i = factor de carga; depende del tipo y combinación de carga (toma en cuenta las incertidumbres de los efectos de las cargas).
R_n = resistencia nominal = esfuerzo o fuerza correspondiente a la falla.
ϕ = factor de resistencia menor que la unidad, depende del tipo de resistencia (toma en cuenta las incertidumbres en la resistencia).

Comentarios:

El margen de seguridad se incorpora en los dos factores de carga y reducción de la resistencia (γ y ϕ), y se aplica a ambos lados de la ecuación básica de diseño: acciones contra resistencia.

Con LRFD, el margen de seguridad proporcionado en el diseño puede ser más realista y refleja la diferencia de niveles o incertidumbres asociadas con diferentes condiciones de carga. Por ejemplo, se usa un factor de carga menor para las cargas muertas (1.2) que para las cargas vivas (1.6), lo cual refleja una incertidumbre mayor en las cargas vivas.

Ventajas del formato LRFD

- LRFD proporciona un margen de seguridad más uniforme y confiable bajo diferentes condiciones de carga. Es decir, LRFD permite que el factor de seguridad sea más preciso para diferentes tipos de carga y combinaciones de las mismas.

- Las resistencias nominales *(R_n)* se indican explícitamente en las Especificaciones LRFD. El diseñador cuenta con mayor información sobre el comportamiento real de la estructura.

- Cuando sea posible, las resistencias nominales se dan en términos de fuerzas en vez de esfuerzos. Esto frecuentemente proporciona una mejor representación del comportamiento estructural real.

Ecuación básica de diseño LRFD:

Efecto de las acciones (Fuerzas, esfuerzos, deflexiones, etc.) [Q]	≤	**Resistencia a los efecto de las acciones** (Resistencia, rigidez, ductilidad) [R]

Los dos lados de la ecuación básica de diseño están asociados a varias incertidumbres.

Incertidumbres en las acciones (dependiendo del tipo de carga).

Incertidumbres en las combinaciones de carga.

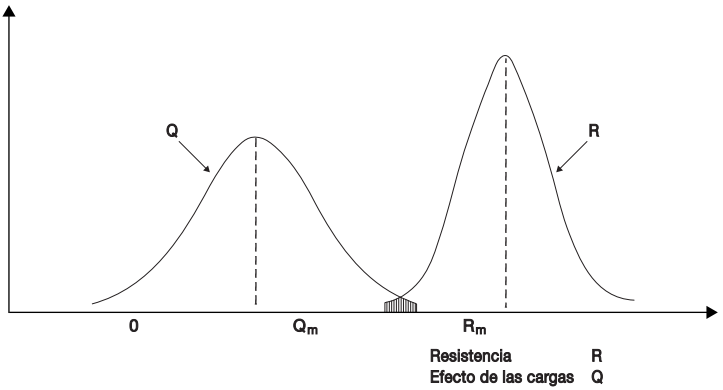
Incertidumbres en el modelaje y análisis estructural.

Incertidumbres en la resistencia

Incertidumbres en las propiedades de los miembros (propiedades del material, dimensiones, imperfecciones iniciales, esfuerzos residuales).

Incertidumbres en la predicción del comportamiento estructural (depende del modo de falla de un elemento estructural, es decir, pandeo general de una columna, pandeo local de patines o del alma, pandeo por flexotorsión, fractura en la sección neta, ruptura por cortante y tensión combinadas, etc.)

Vista gráfica de incertidumbres



Frecuencia versus Resistencia-Efecto de las cargas.

Debido a las incertidumbres en los efectos de las cargas (Q) y en la resistencia (Q), se requiere un margen de seguridad entre Q y R.

La diferencia fundamental entre los métodos de diseño ASD (Diseño por Esfuerzos Permisible) y LRFD (Diseño por Factores de Carga y Resistencia) consiste en la manera en que se incorpora el margen de seguridad en el proceso de diseño.

ASD (diseño elástico o diseño por esfuerzos permisibles, Allowable Stress Design, DEP)

Este método de diseño denominado también diseño elástico, consiste en determinar, en primer término, los esfuerzos que se presentan en las secciones críticas de un miembro estructural bajo la acción de las cargas de servicio o de trabajo, considerando un comportamiento elástico del material. Se considera que un miembro está diseñado correctamente cuando los esfuerzos de trabajo, ocasionados por las cargas de servicio que obran en el miembro no exceden los esfuerzos permisibles.

Los esfuerzos permisibles se estipulan en las especificaciones de diseño de acuerdo con el tipo de elemento estructural, tipo de acero y solicitaciones que obran en la estructura. En general, los esfuerzos permisibles se obtienen dividiendo los esfuerzos de falla del material y tipo de solicitación entre un factor de seguridad. En general, los esfuerzos permisibles son una fracción del esfuerzo correspondiente al límite inferior de fluencia (esfuerzo de fluencia, F_y), o del esfuerzo mínimo especificado de ruptura en tensión, F_u, del acero utilizado en el diseño de la estructura o del esfuerzo crítico de un elemento.

Ecuación básica de diseño:

$$F_{calc.} \leq F_{perm.}$$

donde:

$f_{calc.}$= esfuerzo calculado en un componente estructural bajo las cargas de servicio o de trabajo, en kg/cm².

$F_{perm.}$= esfuerzo permisible, en kg/cm².

$$F_{perm} = \frac{F_n}{F_s} = \frac{Esfuerzo\ de\ falla}{Factor\ de\ seguridad}$$

Comentarios:

El margen de seguridad se representa mediante el factor de seguridad (F.S.) y se aplica en el mismo lado de la resistencia de la ecuación básica de diseño. Típicamente, *FS = 1.67* para diseño de miembros estructurales en tensión y *FS = 2.0* para diseño de conexiones estructurales trabe-columna.

El factor de seguridad no refleja las diferencias de niveles de las incertidumbres asociadas con las diferentes combinaciones de carga. Por ejemplo, se usa el mismo factor de seguridad para las cargas muertas y vivas.

Factores de carga y combinaciones de carga

Bases: ASCE-7 (formalmente ANSI A58.1)

Las cargas nominales que deben considerarse en el diseño de estructuras de acero son las siguientes:

D: Carga muerta debida al peso propio de los miembros estructurales y acciones permanentes en la estructura.
L: Carga viva debida a la ocupación y equipo
L_r: Carga viva de techo
W: Carga de viento
S: Carga de nieve
E: Carga sísmica determinada de acuerdo con la parte 1 del *Seismic Provisions for Structural Steel Buildings*.
R: Carga debida al agua pluvial o hielo, exclusiva de la contribución del encharcamiento.

De acuerdo con la Sección de las especificaciones *AISC-LRFD* las combinaciones de carga y cargas factorizadas son las indicadas en la siguiente tabla. El diseño de un miembro estructural o conexión, se efectuará con la combinación de carga crítica.

Tabla. Cargas y combinaciones de cargas.

Combinación de carga	Acciones de diseño (cargas factorizadas)
(CC-1)	1.4D
(CC-2)	1.2D + 1.6L + 0.5 (L_r o S o R)
(CC-3)	1.2D + 1.6L (L_r o S o R) + (0.5L o 0.8 W)
(CC-4)	1.2D + 1.6W + 0.5L + 0.5 (L_r o S o R)
(CC-5)	1.2D + 1.0E + 0.5L + 0.25
(CC-6)	0.9 + 1.6W
(CC-7)	0.9D + 1.0E

Tabla. Diversos factores de reducción de la resistencia.

Factor de resistencia ϕ	Estado límite
0.90	Flujo plástico en la sección total.
0.75	Fractura (fractura en la sección neta, ruptura por cortante y tensión, fractura de tornillos, fracturas de soldaduras, etc.).
0.85	Pandeo de columnas aisladas.
0.90	Flexión y cortante (vigas).
0.90	Miembros sujetos a compresión axial y flexión (miembros flexocomprimidos ó columnas).

Terminología LRFD

Resistencia requerida = Fuerza máxima en un miembro o conexión bajo cargas factorizadas.
Resistencia nominal = Fuerza que causa la falla del miembro o de la conexión.
Resistencia de diseño = Resistencia nominal multiplicada por un factor de resistencia.

Ecuación básica de diseño:

$$\Sigma \gamma_i Q_i \leq \phi R_n$$

Resistencia requerida ≤ Resistencia de diseño

Ecuaciones de diseño.

$T_u \leq \phi T_n$ Tensión
$P_u \leq \phi P_n$ Compresión
$M_u \leq \phi M_n$ Flexión
$V_u \leq \phi V_n$ Cortante

Estado límite = Un límite de utilidad estructural = un modo de falla.

Resistencia por estados límite (se revisa utilizando cargas factorizadas):

Un modo de falla que afecta la seguridad de la estructura.

La resistencia por estados límite en estructuras de acero, generalmente involucra uno de los tres fenómenos siguientes:

- Fractura.
- Inestabilidad (local, de miembro o de conjunto).
- Flujo plástico (generalmente tratado como un estado límite de resistencia cuando resulta en una deformación excesiva; la fluencia localizada no se considera un estado límite de resistencia).

Estados límite de servicio (se revisan con las cargas de servicio, sin factorizar).

Un modo de falla que afecta la función u operación de un edificio, pero no su seguridad estructural). Ejemplos:

- Deflexiones excesivas que causan fisuras en elementos no estructurales o inseguridad a los ocupantes.
- Vibraciones excesivas que causan molestias a los ocupantes originadas por un equipo mecánico en operación.

Contenido de las especificaciones para edificios de acero estructural *AISC 2005*

Capítulo A	Disposiciones generales
Capítulo B	Requisitos de diseño
Capítulo C	Marcos y otras estructuras
Capítulo D	Diseño de miembros en tensión
Capítulo E	Diseño de miembros en compresión
Capítulo F	Diseño de miembros en flexión
Capítulo G	Diseño de miembros en cortante
Capítulo H	Miembros flexocomprimidos
Capítulo I	Diseño de miembros compuestos
Capítulo J	Diseño de conexiones
Capítulo K	Diseño de conexiones de miembros en cajón y HSS
Capítulo L	Consideraciones de servicio
Capítulo M	Fabricación, montaje y control de calidad

En este manual se hará referencia exclusivamente a los capítulos relacionados con el diseño de miembros estructurales aislados.

II.2.2 DISEÑO POR ESFUERZOS PERMISIBLES
DISEÑO ELÁSTICO O DISEÑO POR ESFUERZO DE TRABAJO (DEP)

Este método de diseño tradicional, que se ha utilizado desde principios del siglo XIX, sigue siendo empleado en la actualidad en nuestro país para el dimensionamiento de estructuras de acero para edificios Consiste en calcular por medio de un análisis elástico, las acciones internas que producen las solicitaciones de servicio (nominales o de trabajo) en los diversos miembros estructurales, y en comparar los esfuerzos ocasionados por esas acciones, determinados también por métodos elásticos, con los permisibles o de trabajo, que se obtienen dividiendo ciertos esfuerzos característicos (de fluencia, de falla por inestabilidad, etc.) entre un coeficiente de seguridad.

El DEP es útil para predecir el comportamiento de las estructuras en condiciones de servicio, pero en muchos casos no permite calcularlas en las cercanías del colapso, ya que éste se presenta con frecuencia fuera del intervalo elástico, cuando la *Ley de Hooke* ya no rige las relaciones entre esfuerzos y deformaciones. Cuando esto ocurre no puede determinarse el coeficiente de seguridad real de la estructura respecto a la falla.

A continuación se presentan los esfuerzos permisibles estipulados en las Especificaciones del Instituto Mexicano de la Construcción en Acero (especificaciones *AISC-ASD-1989*) y que se utilizan en el diseño de miembros estructurales de acero, sujetos a tensión (placas, barras y tirantes), compresión (columna aislada), miembros en flexión y en cortante (vigas) y miembros flexocomprimidos (columnas).

II.2.2.1 Esfuerzos permisibles de miembros en tensión

Los esfuerzos permisibles son aplicables a miembros prismáticos sujetos a tensión axial producida por fuerzas que actúan a lo largo de su eje centroidal. Cuando haya excentricidades importantes en las conexiones, sus efectos deben tenerse en cuenta en el diseño del miembro.

Cuando se espere que el elemento estructural en estudio vaya a quedar sometido durante su vida útil a un número muy elevado de ciclos de carga, en el cálculo de su resistencia se tendrá en cuenta la posibilidad de una falla por fatiga.

El esfuerzo de tensión permisible, F_t, no será mayor de $0.60\,F_y$ en el área total.

$$F_t = 0.60\,F_y$$

El esfuerzo de tensión permisible no será mayor de $0.50\,F_u$ en el área neta efectiva.

$$F_t = 0.50\,F_u$$

El esfuerzo permisible en el área neta a tensión del agujero para miembros conectados con pasador es de $0.45\,F_y$.

$$F_t = 0.45\,F_y$$

Los miembros con pasadores deberán cumplir los requisitos de la Sección *D3.1* en la sección del agujero.

Las barras de ojo cumplirán los requisitos de la Sección *D3.1*.

El esfuerzo permisible en barras de ojo que cumplen con los requisitos de la sección *D3.3* es $0.60\,F_y$ en el área del cuerpo.

$$F_t = 0.60\,F_y$$

II.2.2.2 Esfuerzos permisibles miembros en compresión

La columna aislada es un miembro prismático con secciones compactas o no compactas, sometido a compresión axial producida por fuerzas que actúan a lo largo de sus ejes centroidales.

El diseño de miembros formados por elementos planos esbeltos en compresión se efectúa con las disposiciones del Apéndice *C*, Manual IMCA, última edición.

Los miembros sujetos a compresión axial y flexión combinadas se dimensionan de acuerdo con lo estipulado en el Capítulo *H*.

Los miembros de sección variable o de alma trapezoidal se dimensionarán de acuerdo con el Apéndice *D* de las Especificaciones *(IMCA-2003)*.

Longitud efectiva
La longitud efectiva de los miembros comprimidos axialmente es igual al producto del factor de longitud efectiva K, que se determinará de acuerdo con la Sección *1.8*, por la longitud libre de la columna. El factor K depende de las condiciones de apoyo de la columna.

Relaciones de esbeltez
La relación de esbeltez Kl/r de los miembros comprimidos axialmente se determina con la longitud efectiva Kl y el radio de giro r correspondiente. l es la longitud libre de la columna, entre secciones soportadas lateralmente, y K es el factor de longitud efectiva, que se calcula como se indica más adelante. Debe tenerse cuidado, en todos los casos, de utilizar la relación de esbeltez máxima del miembro, ya que K, l, y r, o cualquiera de esas cantidades, pueden tener valores diferentes en un mismo elemento, dependiendo del eje de las secciones transversales alrededor del que se presente el pandeo, de las condiciones en sus extremos y de la manera en que esté soportado lateralmente.

La relación de esbeltez l/r de miembros en tensión se determina con su longitud libre l.

Para relaciones de esbeltez máximas permisibles, ver la Sección *1.8.4 B*, Especificaciones *IMCA-2003*.

II.2.2.3 Esfuerzos permisibles

El esfuerzo permisible en la sección total de miembros comprimidos axialmente cuyas secciones transversales cumplen los requisitos de la Sección *1.9*, Especificaciones *IMCA*, cuando Kl/r, la mayor relación de esbeltez efectiva de cualquier segmento no arriostrado, es menor que C_c, es:

$$F_a = \frac{\left[1 - \frac{(Kl/r)^2}{2C_c^2}\right]F_y}{\frac{5}{3} + \frac{3(Kl/r)}{8C_c} - \frac{(KL/r)^3}{8C_c^3}} \qquad (1.5\text{-}1)$$

donde:

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{F_y}} = 126.1 \text{ (acero con } F_y = 2\,530 \text{ kg/cm}^2\text{)}$$

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{F_y}} = 107 \text{ (acero con } F_y = 3\,515 \text{ kg/cm}^2\text{)}$$

El esfuerzo permisible en la sección total de miembros comprimidos axialmente, cuando Kl/r excede de C_c, es:

$$F_a = \frac{12\pi^2 E}{23(Kl/r)^2} \qquad (1.5\text{-}2)$$

Pandeo por flexotorsión

El pandeo es un concepto teórico y está asociado a la característica que tienen los elementos esbeltos de deformarse transversalmente respecto a la línea de acción de la carga aplicada, cuando ésta excede un valor determinado denominado carga crítica.

La carga crítica que ocasiona el pandeo de la columna depende de las dimensiones de la sección transversal, de las condiciones de apoyo y de su longitud libre. Por lo tanto, las secciones muy robustas o de menor longitud incrementan el valor de la carga crítica.

El tipo de pandeo más común es el que ocurre en barras sujetas a una fuerza de compresión axial.

Otros tipos de pandeo en columnas de acero, es el pandeo por torsión o pandeo por flexotorsión. El pandeo por torsión es una característica de las columnas que tienen secciones cruciformes, formadas por placas muy delgadas. Si las cuatro placas se pandean por flexión simultáneamente y en la misma dirección, ocurre el pandeo por torsión.

El pandeo por flexotorsión, característico de las columnas con uno o ningún eje de simetría, tales como las formadas por ángulos o tes, y las doblemente simétricas, como

las de sección transversal en forma de cruz, o las columnas compuestas de paredes muy delgadas, puede originarse como resultado de la combinación de pandeo por torsión y por flexión y pueden requerir consideraciones de diseño por pandeo por flexotorsión o por torsión.

Esfuerzos cortantes en el alma de columnas
Deberá investigarse la introducción de fuerzas concentradas en las conexiones de columnas.

II.2.2.4 Esfuerzos permisibles de miembros en flexión (vigas)

Los esfuerzos permisibles son aplicables a vigas laminadas y trabes hechas con placas soldadas, de sección *I* o en cajón, con dos ejes de simetría, cargadas en uno de los planos de simetría, y a canales con las cargas situadas en un plano paralelo al alma que pasa por el centro de torsión o restringidas contra la rotación alrededor del eje longitudinal en las secciones en las que están aplicadas las cargas y en los apoyos.

También es aplicable a barras de sección transversal maciza, circular, cuadrada o rectangular, estas últimas flexionadas alrededor de su eje de menor momento de inercia, y a barras de sección transversal circular hueca.

Todos los elementos mencionados trabajan principalmente en flexión, producida por cargas transversales o por momentos aplicados en sus extremos; la flexión se presenta, casi siempre, acompañada por fuerza cortante.

Flexión alrededor del eje de mayor momento de inercia de miembros de sección transversal I y canales

1. Miembros con secciones compactas

Para miembros con secciones compactas simétricos con respecto, y cargados, en el plano de su eje de menor momento de inercia, el esfuerzo permisible es:

$$F_b = 0.66\, F_y$$

Para que una sección se califique como compacta, los patines estarán conectados en forma continua al alma o almas y la longitud no soportada lateralmente del patín en compresión L_b no exceda el valor de L_c, dado por el valor menor calculado con las siguientes fórmulas:

$$\frac{640 b_f}{\sqrt{F_y}} \text{ ó } \frac{1\,410\,000}{(d/A_f)F_y}$$

2. Miembros con secciones no compactas

Para miembros que cumplan los requisitos de la Sección *F1.1*, excepto que sus patines no sean compactos (sin incluir miembros compuestos y miembros que tengan esfuerzos de fluencia mayor de *4 570 kg/cm²*), el esfuerzo permisible es:

$$F_b = F_y \left[0.79 - 0.00024 \frac{b_f}{2t_f} \sqrt{F_y} \right] \qquad \text{(1.5-5a)}$$

Para miembros compuestos que cumplan los requisitos de la sección *F1.1*, excepto que sus patines no sean compactos y sus almas sean compactas o no, (excluyendo vigas híbridas y miembros con esfuerzos de fluencia mayores que *4 570 kg/cm²*), el esfuerzo permisible es:

$$F_b = F_y \left[0.79 - 0.00024 \frac{b_f}{2t_f} \sqrt{\frac{F_y}{k_c}} \right]$$

donde:

$$K_c = \frac{4.05}{(h/t_w)^{0.46}}$$ si $h/t_w > 70$, en caso contrario, $K_c = 1.0$

Para miembros con secciones compactas pero no incluidos anteriormente, y cargados a través del centro de cortante y arriostrados lateralmente en la región de esfuerzos de compresión a intervalos que no excedan de $76\, b_f / \sqrt{F_y}$, el esfuerzo permisible es:

$$F_b = 0.60\, F_y$$

3. Miembros con secciones compactas o no compactas con longitud no arriostrada mayor que l_c

Para miembros en flexión con secciones compactas o no compactas y con longitudes no arriostradas mayores que L_c, el esfuerzo de flexión permisible en tensión se determina con la ecuación siguiente:

$$F_b = 0.60\, F_y$$

Para miembros con un eje de simetría en, y cargados en el plano de su alma, el esfuerzo de flexión permisible en compresión se determina con el valor mayor de las ecuaciones *(1.5-6a)* o *(1.5-6b)* y *(1.5-7)*, excepto que la ecuación *(1.5-7)* es aplicable únicamente a secciones cuyo patín en compresión sea sólido y de sección transversal aproximadamente rectangular y que tenga un área no menor que la del patín en tensión.

Para canales flexionadas con respecto a su eje mayor, el esfuerzo de compresión permisible se determina con la ecuación *(F1-6)*.

Cuando:

$$\sqrt{\frac{717 \times 10^4 C_b}{F_y}} \leq \frac{l}{r_T} \leq \sqrt{\frac{3\,590 \times 10^4 C_b}{F_y}}$$

$$F_b = \left[\frac{2}{3} - \frac{F_y (l/r_T)^2}{1\,080 \times 10^5 C_b} \right] F_y \leq 0.60\, F_y \qquad \text{(1.5-6a)}$$

Cuando:

$$\frac{l}{r_T} \geq \sqrt{\frac{3\,590 \times 10^4 C_b}{F_y}}$$

$$F_b = \frac{120 \times 10^5 C_b}{(l/r_T)^2} \leq 0.60\,F_y \qquad \text{(1.5-6b)}$$

Para cualquier valor de l/r_T:

$$F_b = \frac{845 \times 10^3 C_b}{ld/A_f} \leq 0.60\,F_y \qquad \text{(1.5-7)}$$

donde :

l = distancia entre secciones transversales arriostradas contra desplazamiento lateral del patín en compresión, en cm. Para vigas en voladizo arriostradas contra giro en cualquier soporte, *l* puede tomarse conservadoramente como la longitud real.

r_T = radio de giro de una sección que comprende el patín en compresión más *1/3* del área del alma en compresión, tomado con respecto a un eje en el plano del alma, en cm.

A_f = área del patín de compresión, en cm².

$C_b = 1.75 + 1.05\,(M_1/M_2) + 0.3\,(M_1/M_2)^2$, pero no mayor que *2.3*. Es conservador tomar C_b igual a 1. Para los valores menores que *2.3*, ver la *Tabla 6*, en la sección de valores numéricos.

donde:

M_1 es el menor y M_2 el mayor de los momentos de flexión en los extremos de la longitud no arriostrada, tomada con respecto al eje de mayor resistencia del miembro, y en donde M_1/M_2, la relación de los momentos extremos, es positiva cuando M_1 y M_2 tienen el mismo signo (flexión con curvatura doble) y negativa cuando los momentos tienen signos contrarios (flexión con curvatura simple).

Cuando el momento de flexión en cualquier punto dentro de una longitud no arriostrada es mayor que en ambos extremos de esta longitud, el valor de C_b se tomará igual a la unidad. Para el uso de valores mayores que C_b, ver Galambos (1988).

Cuando se calcula F_{bx} para usarse en la ecuación *(1.6-1a)*, C_b puede calcularse por medio de la ecuación dada anteriormente para marcos sometidos a translación de juntas, y se tomará igual a la unidad para marcos arriostrados contra translación de juntas. C_b puede tomarse conservadoramente igual a la unidad para vigas en voladizo.

Esfuerzos permisibles: flexión alrededor del eje de menor resistencia de miembros de sección transversal I, barras sólidas y placas rectangulares

El contraventeo lateral no se requiere en miembros cargados en el centro de cortante

con respecto a su eje de menor momento de inercia ni en miembros de resistencia igual con respecto a los dos ejes.

Miembros con secciones compactas
Para miembros de sección transversal *I* o *H* doblemente simétricos con patines compactos conectados en forma continua al alma y flexionados con respecto a los ejes de menor momento de inercia (excepto miembros con esfuerzos de fluencia mayor que *4 570 kg/cm²*); redondos sólidos, barras cuadradas, y secciones sólidas rectangulares flexionadas con respecto a su eje de menor momento de inercia, el esfuerzo permisible es:

$$F_b = 0.75\, F_y$$

Miembros con secciones no compactas
Para miembros que no cumplen los requisitos para secciones compactas de la sección *B5* y no cubiertos en la sección *F3*, flexionados con respecto a su eje de menor momento de inercia, el esfuerzo permisible es:

$$F_b = 0.60\, F_y$$

Para miembros de sección transversal *I* o *H* doblemente simétricos flexionados con respecto a su eje de menor momento de inercia (excepto miembros que tengan un esfuerzo de fluencia mayor de *4 570 kg/cm²*) con patines no compactos conectados en forma continua al alma podrán diseñarse sobre la base de un esfuerzo permisible de:

$$F_b = F_y \left[1.075 - 0.0006 \left(\frac{b_f}{2t_f} \right) \sqrt{F_y} \right] \qquad \text{(1.5-5b)}$$

Esfuerzos permisibles: flexión de miembros en cajón, tubos circulares y rectangulares

1. Miembros con secciones compactas
Para miembros flexionados con respecto a su eje de mayor momento de inercia, miembros con secciones compactas y patines conectados en forma continua a las almas, el esfuerzo permisible es:

$$F_b = 0.66\, F_y$$

Para clasificar una sección como compacta, un miembro de sección en cajón tendrá, además de cumplir los requisitos de la Sección *1.5.1.4, Inciso 6*, un peralte no mayor que 6 veces el ancho, un espesor de patín no mayor que 2 veces el espesor del alma y una longitud sin soporte lateral L_b menor o igual a :

$$L_c = \left(137\,100 + 84\,400 \frac{M_1}{M_2} \right) \frac{b}{F_y}$$

Excepto que es necesario que no sea menor que *84 360* (b/F_y), en donde M_1 es el menor y M_2 el mayor de los momentos de flexión en los extremos de la longitud no arrios-

trada, tomada con respecto al eje de mayor momento de inercia, y en donde M_1/M_2, la relación de los momentos en los extremos, es positiva cuando M_1 y M_2 tienen el mismo signo (flexión con curvatura doble) y negativa cuando tienen signos contrarios (flexión con curvatura simple).

2. Miembros con secciones no compactas

Para miembros tipo cajón y secciones tubulares que cumplan los requisitos de secciones no compactas, de la Sección *B5*, el esfuerzo permisible es:

$$F_b = 0.60\, F_y$$

El contraventeo lateral no se requiere para secciones en cajón cuyo peralte es menor que *6* veces su ancho.

Los requisitos de soporte lateral para secciones en cajón de relaciones peralte-ancho más grandes, deben determinarse por medio de un análisis especial.

Esfuerzo cortante permisible

Para relaciones $h/t_w \leq 3\,185/\sqrt{F_y}$, el esfuerzo cortante permisible es:

$$F_v = 0.40\, F_y$$

Para relaciones $h/t_w > 3\,185/\sqrt{F_y}$, el esfuerzo cortante permisible es, en la distancia libre entre patines el espesor del alma:

$$F_v = \frac{F_y}{2.89}\,(C_v) \leq 0.40\, F_y \qquad (1.10\text{-}1)$$

donde:

$C_v = \dfrac{3\,160\,000\, k_c}{F_y\,(h/t_w)^2}$, cuando C_v es menor que *0.8*

$= \dfrac{1\,590}{h/t_w}$, cuando C_v es mayor que *0.8*

$k_v = 4.0 + \dfrac{5.34}{(a/h)^2}$, cuando a/h es menor que *1.0*

$= 5.34 + \dfrac{4.00}{(a/h)^2}$, cuando a/h es mayor que *1.0*

t_w = espesor del alma, en cm.
a = distancia libre entre atiesadores transversales, en cm.
h = distancia libre entre patines en la sección considerada, en cm.

Para la falla de ruptura por cortante en conexiones extremas de vigas en las que se haya cortado un patín, ver la Sección *1.5.1.2.2*, Especificaciones *IMCA*.

Los límites máximos de la relación h/t_w, se indican en la Sección *1.10* trabes armadas de alma llena y vigas laminadas.

En el Capítulo *G* se indica otro método de diseño para trabes armadas, que utiliza la acción del campo de tensión.

II.2.2.5 Atiesadores transversales

Se requieren atiesadores intermedios cuando la relación h/t_w es mayor que 260 y el esfuerzo cortante máximo en el alma f_v es mayor que el permitido por medio de la ecuación (1.10-1).

El espaciamiento de atiesadores intermedios, cuando se requieran, deberá ser tal que el esfuerzo cortante en el alma no exceda el valor de F_v dado por la ecuación (F4-2) o (G3-1), la que sea aplicable, y

$$\frac{a}{h} \leq \left[\frac{260}{(h/t_w)}\right]^2 \leq 3.0$$

II.2.2.6 Esfuerzos permisibles de elementos flexocomprimidos (columnas: compresión axial y flexión)

Las ecuaciones de interacción que se presentan en esta parte, basadas en el diseño por esfuerzos permisibles son aplicables a miembros de eje recto y sección transversal constante, con dos ejes de simetría, sujetos a compresión y a flexión producida por momentos que obran alrededor de uno o de los dos ejes de simetría. Se designan, indistintamente, con las palabras “columna” o “elemento flexocomprimido”.

La primera edición de las especificaciones del *AISC*, adoptada en junio de *1923*, y revisada en *1928* y *1934*, contiene el párrafo siguiente: “Los miembros sometidos a esfuerzos directos y de flexión simultáneos se dimensionarán de manera que los esfuerzos combinados máximos no excedan los límites admisibles”. Eso es todo, aparte de proporcionar fórmulas para calcular los esfuerzos permisibles en compresión y en flexión puras.

En ediciones posteriores de las especificaciones del *AISC* aparece la ecuación de interacción que sigue siendo en la actualidad, la base del diseño de los miembros flexocomprimidos o columnas. En un principio era muy sencilla, y así se conservó durante varias décadas; empezó a complicarse en las especificaciones de *1961*, al tratar de incorporar en ella un número mayor de los muchos factores que intervienen en el problema.

De acuerdo con las especificaciones de *1949* los miembros flexomprimidos o columnas, así como los que trabajan en flexotensión (tensión axial y flexión), se dimensionan como sigue:

Los miembros sujetos a esfuerzos axiales y de flexión combinados de manera que la siguiente ecuación:

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \leq 1.0$$

No exceda la unidad.

F_a = esfuerzo de compresión axial que se permitiría si la barra estuviese sometida únicamente a fuerza axial, en *kg/cm²*.

F_b = esfuerzo de compresión por flexión que se permitiría si en la barra sólo existiera momento flexionante, en *kg/cm²*.

f_a = esfuerzo axial calculado, en *kg/cm²*. Esfuerzo producido por la fuerza axial, que actúa sobre la barra (cociente de la fuerza axial entre el área de la sección transversal de la columna)

f_b = esfuerzo de compresión producido por la flexión en el punto en consideración, en *kg/cm²*. Cociente del momento flexionante máximo entre el módulo de sección de la columna.

Cuando las columnas están sujetas a flexión alrededor de los ejes centroidales y principales de sus secciones transversales, la ecuación anterior se convierte en

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \leq 1.0$$

F_{bx} = es el esfuerzo permisible por flexión para flexión alrededor del eje de mayor momento de inercia, calculado teniendo en cuenta una posible falla por pandeo lateral, y F_{by} el esfuerzo permisible básico, sin disminuir, ya que la flexión alrededor del eje de menor momento de inercia no produce inestabilidad lateral

F_{by} = es el cociente del momento flexionante máximo alrededor de y dividido entre el módulo de sección S_y.

Si solo hay flexión alrededor del eje y, además de la fuerza axial, desaparece el segundo miembro de la ecuación *(3)*.

En las especificaciones actuales en México (especificaciones *IMCA*) en vigor desde *1987*, se indica que los miembros sometidos a esfuerzos combinados de compresión axial y de flexión se dimensionarán de manera que se cumplan los requisitos siguientes:

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{C_{mx} f_{bx}}{\left(1 - \frac{f_a}{F'_{ex}}\right) F_{bx}} + \frac{C_{my} f_{by}}{\left(1 - \frac{f_a}{F'_{ey}}\right) F_{by}} \leq 1.0 \qquad \text{(1.6-1a)}$$

$$\frac{f_a}{0.60\, F_y} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \leq 1.0 \qquad \text{(1.6-1b)}$$

Cuando $f_a/F_a \leq 0.15$, se permite utilizar la ecuación *(1.6-2)* en lugar de las ecuaciones anteriores:

$$\frac{f_a}{F_a}+\frac{f_{bx}}{F_{bx}}+\frac{f_{by}}{F_{by}}\leq 1.0 \qquad \text{(1.6-2)}$$

En las ecuaciones *(1.6-1a)*, *(1.6-1b)* y *(1.6-2)*, los subíndices x y y, combinados con b, m y e, indican el eje de flexión con respecto al cual se calcula un esfuerzo o una propiedad de diseño, y

$$F'_e = \frac{12\,\pi^2 E}{23\,(K_{lb}/r_b)^2}$$

El significado de los términos f_a, f_{bx}, f_{by}, F_a, F_{bx} y F_{by} es el mismo que en la ecuación *(1.6-2)*

F'_e = esfuerzo crítico de Euler en el plano en que se considere la flexión dividido entre un factor de seguridad, en kg/cm². (En la expresión para calcular F'_e, l_b es la longitud real no arriostrada en el plano de la flexión y r_b es el radio de giro correspondiente. K es el factor de longitud efectiva en el plano de la flexión). Como F_a, F_b y $0.60\,F_y$, F'_e puede aumentarse en un 33% de acuerdo con la sección *1.5.6.*

C_m = coeficiente cuyo valor se toma como sigue:

a. Para miembros en compresión en marcos sujetos a traslación lateral de sus juntas,

$$C_m = 0.85$$

b. Para miembros en compresión con restricciones a las rotaciones de sus extremos, que forman parte de marcos contraventeados contra la traslación de las uniones, y no están sometidos a cargas entre sus apoyos en el plano de la flexión,

$$C_m = 0.60 - 0.40\,(M_1/M_2)$$

M_1/M_2 es el cociente del menor entre el mayor de los momentos en los extremos de la porción del miembro no arriostrada en el plano de la flexión que se está considerando. M_1/M_2 es positivo cuando el miembro se flexiona en curvatura doble y negativo cuando se flexiona en curvatura simple.

c. Para miembros en compresión que formen parte de marcos contraventeados contra la traslación de sus uniones en el plano de carga, que estén sometidos a cargas transversales entre sus apoyos, el valor de C_m puede determinarse por medio de un análisis racional. Sin embargo, en lugar de dicho análisis, se permiten los siguientes valores:

i. Miembros cuyos extremos están restringidos contra la rotación en el plano de la flexión

$$C_m = 0.85$$

ii. Miembros cuyos extremos no están restringidos contra la rotación en el plano de la flexión

$$C_m = 0.100$$

En las especificaciones para diseño plástico de miembros flexocomprimidos (Capitulo *N*, especificaciones *AISC-ASD-1989* y parte *2*, especificaciones *IMCA*), se proporcionan expresiones similares a las anteriores, escritas en términos de solicitaciones factorizadas y de resistencias, en vez de esfuerzos producidos por las cargas de trabajo y esfuerzos permisibles.

Con la ecuación *(1.6-1a)* se revisa la columna cuando la flexión es máxima en la zona central y con la ecuación *(1.6-1b)*, que debe aplicarse a los dos extremos, se comprueba que los esfuerzos no sean excesivos en ninguno de ellos.

La tercera ecuación tiene como único objeto simplificar los cálculos cuando la compresión directa es de poca importancia, pues en ese caso los términos $C_m\ (1\text{-}f_a/F_é)$ se reducen a un valor muy cercano a la unidad.

El empleo de las ecuaciones de interacción constituye un método muy versátil y útil para el diseño de columnas flexocomprimidas, que se recomienda en muchos reglamentos modernos; sin embargo, tiene graves inconvenientes: como es en buena parte empírico, proporciona resultados con un grado desconocido de seguridad, y aunque se revisan los estados límite de falla más importantes, la revisión se lleva a cabo de una manera poca clara, lo que propicia que se cometan errores.

Las fórmulas que propone el *IMCA* (ecuaciones *1.6-1a* y *1.6-1b*) son, en realidad, mucho más que ecuaciones de interacción para el diseño de columnas aisladas; por ejemplo, el empleo del factor de longitud efectiva, K_x ó K_y, en el cálculo del esfuerzo permisible en la columna comprimida axialmente, F_a, tiene por objeto evitar la falla por inestabilidad, bajo carga vertical, del marco del que forma parte esa columna, en su plano o fuera de él, y con los términos $C_m\ (1\text{-}f_a/F_é)$ se toman en cuenta, aproximadamente, los efectos de segundo orden producidos por la interacción carga desplazamiento. Se están, pues, revisando simultáneamente varios estados límite, pero las características de la ecuación no permiten individualizarlos.

No hay ninguna manera racional de relacionar la resistencia real de las columnas, o de la estructura completa, con los resultados que se obtienen al aplicar las ecuaciones de interacción; sin embargo, se ha demostrado que conducen a diseños aceptables, aunque a menudo excesivamente conservadores.

Aún en la forma muy elaborada que tienen en las especificaciones de *IMCA* (formulas (*1.6-1a*) y (*1.6-1b*)) , cuando las ecuaciones de interacción se aplican a cada columna por separado, en marcos en los que no están impedidos los desplazamientos laterales de entrepiso, se cometen varios errores de importancia, el mayor se debe a que no se tiene en cuenta que el pandeo de un entrepiso, con desplazamientos laterales relativos de los niveles que lo limitan, es un fenómeno de conjunto que involucra a todas las columnas; se comete otro error al utilizar el mismo factor de amplificación para los momentos por carga vertical que para los ocasionados por fuerzas horizontales (sismo principalmente), y no se amplifican los momentos en las trabes que llegan a los extre-

mos de las columnas, con lo que se viola una condición de equilibrio. Esto ha dado lugar a que se empiece a recomendar que el factor $C_m\,(1\text{-}f_a/F_é)$ de cada uno de los términos que corresponden a flexión se divida en dos, que afecten, por separado, los momentos producidos por cargas verticales y fuerzas horizontales.

Con ello, el empleo de las ecuaciones de interacción se complican más, y el objetivo múltiple que se persigue al utilizarlas se hace todavía más confuso. Además, al aplicar el concepto de longitud efectiva a estructuras que fallan por inestabilidad bajo cargas verticales y horizontales combinadas se extrapola un concepto válido para pandeo bajo carga vertical a un caso en que el mecanismo de falla es completamente diferente, y los resultados obtenidos del estudio de estructuras elásticas se han aplicado, con frecuencia, a casos en que el colapso está precedido por deformaciones inelásticas importantes.

II.2.2.7 Esfuerzos permisibles para miembros en flexotensión (tensión axial y flexión combinadas)

En esta parte se dan recomendaciones para el diseño de miembros de eje recto y sección transversal constante, con dos ejes de simetría, sometidos a la acción simultánea de una fuerza de tensión axial y flexión producida por momentos que actúan alrededor de uno o de los dos ejes de simetría.

Los miembros en flexotensión se dimensionarán de manera que en todas las secciones a lo largo de su longitud se satisfaga la siguiente ecuación.

$$\frac{f_a}{F_t}+\frac{f_{bx}}{F_{bx}}+\frac{f_{by}}{F_{by}}\leq 1.0$$

donde f_b es el esfuerzo de tensión producido por la flexión, f_a el esfuerzo de tensión producido por la fuerza axial, F_b el esfuerzo permisible en flexión y F_t el esfuerzo de tensión permisible de acuerdo con la sección *1.5*.

II.2.3.1 Miembros en tensión

II.2.3.1.1 Resistencia de diseño

a) Estado límite de flujo plástico en la sección total:

$$R_t = A_t \; F_y \, F_R \qquad (3.1)$$

donde:

F_R factor de resistencia, igual a 0.9.

b) Estado límite de fractura en la sección neta:

$$R_t = A_e \; F_u \, F_R \qquad (3.2)$$

donde:

F_R factor de resistencia, igual a 0.75.
A_t área total de la sección transversal del miembro;
A_e área neta efectiva, calculada de acuerdo con la sección 2.1.3;
F_y valor mínimo garantizado del esfuerzo correspondiente al límite inferior de fluencia del material; y
F_u esfuerzo mínimo especificado de ruptura en tensión.

II.2.3.1.2 Propiedades geométricas

Áreas de las secciones transversales

Generalidades
El área total de un miembro, A_t, es el área completa de su sección transversal, y las áreas netas, A_n, y neta efectiva, A_e, son las que se obtienen al hacer las deducciones que se especifican más adelante.

El área total A_t es igual a la suma de los productos del grueso por el ancho de todos los elementos que componen la sección, medidos en un plano perpendicular al eje del miembro.

Área neta de miembros en tensión
El área neta de un miembro en tensión, A_n, se obtiene sumando los productos del grueso de cada una de las partes que lo componen por su ancho neto, que se determina como sigue:

a) En el cálculo del área neta de barras en tensión o en cortante, el ancho de los agujeros para remaches o tornillos se toma 1.5 mm (1/16 pulg.) mayor que el diámetro nominal del agujero, medido normalmente a la dirección de los esfuerzos.

b) Cuando hay varios agujeros en una normal al eje de la pieza, el ancho neto de cada parte de la sección se obtiene restando al ancho total la suma de los anchos de los agujeros.

c) Cuando los agujeros están dispuestos en una línea diagonal respecto al eje de la pieza o en zigzag, se deben estudiar todas las trayectorias posibles para determinar a cuál de ellas le corresponde el ancho neto menor, que es el que se utiliza para calcular el área neta. El ancho neto de cada una de las partes que forman la sección, correspondiente a cada trayectoria, se obtiene restando del ancho total la suma de los anchos de todos los agujeros que se encuentran sobre la trayectoria escogida, y sumando para cada espacio entre agujeros la cantidad $s^2/4g$, donde s es la separación longitudinal centro a centro entre los dos agujeros considerados (paso) y g la separación transversal centro a centro entre ellos (gramil).

El ancho total de ángulos se toma igual a la suma de los anchos de las dos alas menos el grueso. La distancia transversal entre agujeros situados en alas opuestas es igual a la suma de los dos gramiles, medidos desde los bordes exteriores del ángulo, menos el grueso de éste.

Al determinar el área neta a través de soldadura de tapón o de ranura no debe tenerse en cuenta el metal de aportación.

Área neta efectiva de miembros en tensión
El área neta efectiva de miembros en tensión se calcula como sigue:

Cuando la carga se transmite directamente a cada una de las partes que componen la sección transversal del miembro, por medio de remaches, tornillos o soldaduras colocados en toda ellas, en proporción a sus áreas transversales, el área neta efectiva A_e es igual al área neta A_n en miembros en tensión, y el área total A_t en miembros comprimidos.

Cuando la carga se transmite por medio de tornillos o remaches colocados en algunas de las partes que componen la sección, pero no en todas, el área neta efectiva es igual a:

$$A_e = U A_n \qquad (2.1)$$

Cuando la carga se transmite por medio de soldaduras colocadas en algunas de las partes que componen la sección, pero no en todas, el área neta efectiva es igual a:

$$A_e = U A_t \qquad (2.3)$$

donde U es un coeficiente de reducción del área, cuyos valores se indican a continuación; pueden utilizarse valores más grandes cuando se justifiquen con pruebas u otros criterios reconocidos.

$U = 1 - (\bar{x}/L) \leq 0.9$, excepto en los casos indicados más adelante (2.4)

donde:

$\bar{x}$ excentricidad de la conexión (distancia del centroide del miembro al plano en el que se transmite la fuerza cortante; las secciones I o H se tratan como dos tés); y
L longitud de la conexión en la dirección de la carga.

a) Conexiones remachadas o atornilladas

En lugar de los valores de U calculados con la ecuación 2.4, pueden utilizarse los valores siguientes:

1) Secciones laminadas o soldadas H o I con patines de ancho no menor que 2/3 del peralte y tés estructurales obtenidas de ellas o formadas por dos placas soldadas, conectadas por los patines con tres o más conectores en cada línea en la dirección de los esfuerzos: $U = 0.90$.
2) Secciones laminadas o soldadas H o I que no cumplan las condiciones del inciso anterior, tés estructurales obtenidas de ellas, o formadas por dos placas soldadas, y todas las secciones restantes, incluidas las formadas por varias placas, con tres o más conectores en cada línea en la dirección de los esfuerzos: $U = 0.85$.
3) Todos los miembros que tengan sólo dos conectores en cada línea en la dirección de los esfuerzos: $U = 0.75$.
4) Ángulos conectados por una sola ala con cuatro o más conectores en la dirección de los esfuerzos: $U = 0.80$;
   – Menos de cuatro conectores en la dirección de los esfuerzos: $U = 0.60$.

b) Conexiones soldadas

Cuando la fuerza de tensión o compresión se transmite por medio de soldaduras transversales colocadas en algunas de las partes que componen la sección, pero no en todas, el área neta efectiva es igual al área de los elementos conectados directamente.

Cuando la fuerza de tensión o compresión se transmite a una placa por medio de soldaduras colocadas a lo largo de sus dos bordes longitudinales, en el extremo de la placa,

$$\begin{aligned} U &= 1.00, \quad \text{si } l \geq 2d \\ U &= 0.87, \quad \text{si } 2d > l \geq 1.5d \\ U &= 0.75, \quad \text{si } 1.5d > l \geq d \end{aligned} \qquad (2.1)$$

donde:

l longitud de la soldadura, y
d ancho de la placa (distancia entre soldaduras).

II.2.3.1.3 Relaciones de esbeltez de miembros en tensión

La relación de esbeltez L/r de miembros en tensión se determina con su longitud libre L.

La relación de esbeltez L/r de miembros en tensión puede tener cualquier valor, pero conviene que no pase de 240 en miembros principales, ni de 300 en contraventeos y otros miembros secundarios, especialmente cuando están sometidos a cargas que puedan ocasionar vibraciones.

Si el miembro en tensión es una varilla no se pone límite a su relación de esbeltez, pero se recomienda pretensionarla para evitar vibraciones o deformaciones transversales excesivas.

II.2.3.2 Miembros en compresión

II.2.3.2.1 Resistencia de diseño

II.2.3.2.1.1 Estado límite de inestabilidad por flexión

a) Miembros de sección transversal H, I o rectangular hueca

$$R_c = \frac{F_y}{\left(1+\lambda^{2n}-0.15^{2n}\right)^{1/n}} A_t F_R \leq F_y A_t F_R \qquad (3.3)$$

donde:

F_R factor de resistencia, igual a 0.9;
A_t área total de la sección transversal de la columna;
λ parámetro de esbeltez, que vale

$$\lambda = \frac{K L}{r}\sqrt{\frac{F_y}{\pi^2 E}} \qquad (3.4)$$

donde KL/r es la relación de esbeltez efectiva máxima de la columna;

En miembros comprimidos axialmente o flexocomprimidos se determina con la longitud efectiva KL y el radio de giro r correspondiente. L es la longitud libre de la columna, entre secciones soportadas lateralmente, y K es el factor de longitud efectiva, que se calcula como se indica más adelante. Debe tenerse cuidado, en todos los casos, de utilizar la relación de esbeltez máxima del miembro, ya que K, L, y r, o cualquiera de esas cantidades, pueden tener varios valores diferentes en un mismo elemento, dependiendo del eje de las secciones transversales alrededor del que se presente el pandeo, de las condiciones en sus extremos y de la manera en que esté soportado lateralmente.

n coeficiente adimensional, que tiene alguno de los valores siguientes:

1) Columnas de sección transversal H o I, laminadas y flexionadas alrededor de cualquiera de sus ejes de simetría, o hechas con tres placas soldadas obtenidas cortándolas con oxígeno de placas más anchas, flexionadas alrededor del eje de mayor momento de inercia, de acero con límite de fluencia no menor de 414 MPa (4 220 kg/cm²) y con patines de no más de 50 mm de grueso, columnas de sección transversal rectangular hueca, laminadas en caliente o formadas en frío y tratadas térmicamente, o hechas con cuatro placas soldadas, de acero con límite de fluencia no menor de 414 MPa (4 220 kg/cm²), y todos los perfiles con dos ejes de simetría relevados de esfuerzos, que cumplen con los requisitos de las secciones 1, 2 ó 3 de la sección 2.3.1: $n = 2.0$.

2) Columnas de sección transversal H o I, laminadas o hechas con tres placas soldadas obtenidas cortándolas con oxígeno de placas más anchas, y columnas de sección transversal rectangular hueca, laminadas o hechas con cuatro

placas soldadas, que cumplen con los requisitos de las secciones tipo 1, 2 ó 3 de la sección 2.3.1: $n = 1.4$.

3) Columnas de sección transversal H o I, hechas con tres placas laminadas soldadas entre sí, que cumplen con los requisitos de las secciones tipo 1, 2 ó 3 de la sección 2.3.1: $n = 1.0$.

b) Miembros cuya sección transversal tiene una forma cualquiera, no incluida en II.3.2.2.1.a:

R_C se calcula con la ecuación 3.3, con n=1.4; y
F_R factor de resistencia, igual a 0.9;

II.2.3.2.1.2 Estado límite de pandeo por torsión o por flexotorsión

Los estados límite de pandeo por torsión o por flexotorsión deben revisarse en miembros comprimidos de sección transversal con uno o ningún eje de simetría, tales como ángulos y tés, o con dos ejes de simetría pero muy baja rigidez torsional, como las secciones en forma de cruz y las hechas con placas muy delgadas.

Cuando la sección transversal de la columna es tipo 1, 2 ó 3, la resistencia de diseño, R_C, se determina con la ec. 3.3, con $n = 1.4$ y $F_R = 0.85$, sustituyendo λ por λ_e, dada por

$$\lambda_e = \sqrt{\frac{F_y}{F_e}} \qquad (3.5)$$

donde F_e es el menor de los esfuerzos críticos de pandeo elástico por torsión o flexotorsión; se determina de acuerdo con los incisos 3.2.2.2.a al 3.2.2.2.c. de las *NTC-2004*.

a) Columnas de sección transversal con dos ejes de simetría:

$$F_e = \left[\frac{\pi^2 E C_a}{(K_z L_z)^2} + G J\right]\frac{1}{I_x + I_y} \qquad (3.6)$$

b) Columnas de sección transversal con un eje de simetría:

$$F_e = \frac{F_{ey} + F_{ez}}{2H}\left[1 - \sqrt{1 - \frac{4 F_{ey} F_{ez} H}{(F_{ey} + F_{ez})^2}}\right] \qquad (3.7)$$

En esta ecuación se ha supuesto que el eje de simetría es el Y; cuando sea el X, se harán los cambios de subíndices apropiados.

c) Columnas cuyas secciones transversales no tienen ningún eje de simetría:

F_e es la menor de las raíces de la ecuación cúbica:

$$(F_e - F_{ex})(F_e - F_{ey})(F_e - F_{ez})$$

$$-F_e^2\left(F_e-F_{ey}\right)\left(\frac{x_o}{r_o}\right)^2-F_e^2\left(F_e-F_{ex}\right)\left(\frac{y_o}{r_o}\right)^2=0 \qquad (3.8)$$

donde:

$$r_o^2=x_o^2+y_o^2+\frac{I_x+I_y}{A} \qquad (3.9)$$

$$H=1-\left(\frac{x_o^2+y_o^2}{r_o^2}\right) \qquad (3.10)$$

$$F_{ex}=\frac{\pi^2 E}{\left(K_x L_x/r_x\right)^2} \qquad (3.11)$$

$$F_{ey}=\frac{\pi^2 E}{\left(K_y L_y/r_y\right)^2} \qquad (3.12)$$

$$F_{ez}=\left[G\,J+\frac{\pi^2 E\,C_a}{\left(K_z L_z\right)^2}\right]\frac{1}{A\,r_o^2} \qquad (3.13)$$

F_{ex} y F_{ey} se calculan respecto a los ejes centroidales y principales.

Las literales que aparecen en las ecuaciones 3.6 a 3.13 tienen los significados siguientes:

E módulo de elasticidad;
G módulo de elasticidad al esfuerzo cortante;
J constante de torsión de Saint Venant;
C_a constante de torsión por alabeo;
l_x, l_y momentos de inercia de la sección transversal de la columna alrededor de cada uno de sus ejes centroidales y principales X y Y;
L_x, L_y, L_z longitudes libres para pandeo por flexión alrededor de los ejes X y Y y para pandeo por torsión;
K_x, K_y, K_z factores de longitud efectiva para pandeo por flexión alrededor de los ejes X y Y y para pandeo por torsión;
x_o, y_o coordenadas del centro de torsión con respecto a un sistema de ejes centroidales y principales;
r_x, r_y radios de giro de la sección transversal de la columna respecto a los ejes centroidales y principales X y Y; y
r_o radio polar de giro de la sección transversal respecto al centro de torsión.

II.2.3.2.1.3 Estados límite de flexión, torsión o flexotorsión, y pandeo local, combinados

Cuando la sección transversal de la columna es tipo 4, la resistencia de diseño R_C se determina, cualquiera que sea la forma de la sección, pero siempre que esté formada

por elementos planos, con la ecuación 3.3, con $n = 1.4$ y $F_R = 0.85$, sustituyendo λ por λ_e (ec. 3.5), y A_t por A_e, que es el área efectiva correspondiente al esfuerzo F_n. Se determina de acuerdo con las secciones II.2.3.6.1. y II.2.3.6.2.

$$F_n = \frac{F_y}{(1+\lambda_e^{2.8} - 0.15^{2.8})^{1/1.4}} \qquad (3.14)$$

donde F_e tiene alguno de los valores siguientes:

a) Columnas de sección transversal con dos ejes de simetría, en cajón, o cualquier otra sección para la que pueda demostrarse que el pandeo por torsión o flexotorsión no es crítico:

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{(KL/r)^2} \qquad (3.15)$$

b) Columnas de sección transversal con dos ejes de simetría, sujetas a pandeo por torsión:
F_e es el menor de los valores calculados con las ecuaciones 3.6 y 3.15.

c) Columnas de sección transversal con un eje de simetría, sujetas a pandeo por flexotorsión:
F_e es el menor de los valores calculados con las ecuaciones 3.7 y 3.15.

d) Columnas cuyas secciones transversales no tienen ningún eje de simetría:
F_e se calcula con la ecuación 3.8.

En la determinación de F_e se utilizan los radios de giro de la sección transversal completa.

II.2.3.2.2 Factor de longitud efectiva y efectos de esbeltez de conjunto

a) Miembros con extremos fijos linealmente

Los efectos de esbeltez son ocasionados por las deformaciones del miembro entre sus extremos. El factor de longitud efectiva K suele tomarse igual a 1.0, pero pueden emplearse valores menores si se justifican con un estudio adecuado que tenga en cuenta las restricciones angulares en los extremos.

Los puntales de contraventeo y las barras comprimidas y flexocomprimidas que forman parte de armaduras se encuentran en este caso.

b) Miembros en los que pueden despreciarse los efectos de esbeltez debidos a desplazamientos lineales de sus extremos

Estos efectos pueden despreciarse en las columnas de entrepisos de marcos rígidos de

cualquier altura que forman parte de estructuras regulares, cuando el índice de estabilidad del entrepiso, I, no excede de 0.08.

El índice de estabilidad de un entrepiso se calcula con la expresión

$$I = \frac{\Sigma P_u \, Q \, \Delta_{OH}}{(\Sigma H) \, L} \qquad (2.6)$$

donde:

ΣP_u fuerza vertical de diseño en el entrepiso en consideración (peso de la construcción por encima de él, multiplicado por el factor de carga correspondiente); incluye cargas muertas y vivas;

Q factor de comportamiento sísmico, definido en el Capítulo 5 de las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo. En diseño por viento se toma $Q = 1.0$;

Δ_{OH} desplazamiento horizontal relativo de primer orden de los niveles que limitan el entrepiso en consideración, en la dirección que se está analizando, producido por las fuerzas de diseño;

ΣH suma de todas las fuerzas horizontales de diseño que obran encima del entrepiso en consideración. (Fuerza cortante de diseño en el entrepiso, en la dirección que se está analizando); y

L altura del entrepiso.

c) Miembros en los que no pueden despreciarse los efectos de esbeltez debidos a desplazamientos lineales de sus extremos

Estos efectos no pueden despreciarse en las columnas de marcos rígidos que forman parte de estructuras regulares, cuando el índice de estabilidad del entrepiso, I, excede el límite indicado en el inciso 2.2.2.b. de las *NTC-RCDF-2004*. Suelen estar en este caso las columnas de edificios de varios pisos cuya estabilidad lateral depende exclusivamente de la rigidez a la flexión de columnas y vigas unidas entre sí por medio de conexiones rígidas.

Los efectos de segundo orden producidos por la interacción de las cargas verticales con los desplazamientos laterales de los entrepisos se evalúan como se indica en la sección 1.5.1, y se incluyen en el diseño de columnas y vigas.

Si el índice de estabilidad I es mayor que 0.30 en alguno o algunos de los entrepisos, debe aumentarse la rigidez de la estructura completa, o de parte de ella, para disminuir los desplazamientos Δ_{OH} y reducir el valor de I, en todos los entrepisos, a no más de 0.30.

El factor de longitud efectiva K para pandeo en el plano del marco suele tomarse igual a 1.0, pero pueden emplearse valores menores si se justifican por medio de un estudio adecuado. Para pandeo fuera del plano del marco deben considerarse la longitud libre de la columna y las condiciones de apoyo de sus extremos.

II.2.3.2.3 Relaciones de esbeltez máximas

La relación de esbeltez KL/r de miembros en compresión no excederá de 200.

II.2.3.2.4 Relaciones ancho/grueso y pandeo local

II.2.3.2.4.1 Clasificación de las secciones

Las secciones estructurales se clasifican en cuatro tipos en función de las relaciones ancho/grueso máximas de sus elementos planos que trabajan en compresión axial, en compresión debida a flexión, en flexión y en flexocompresión..

Las secciones tipo 1 (secciones para diseño plástico y para diseño sísmico con factores Q de 3 ó 4) pueden alcanzar el momento plástico en vigas, y el momento plástico reducido por compresión en barras flexocomprimidas, y conservarlo durante las rotaciones inelásticas necesarias para la redistribución de momentos en la estructura, y para desarrollar las ductilidades adoptadas en el diseño de estructuras construidas en zonas sísmicas.

Las secciones tipo 2 (secciones compactas, para diseño plástico y para diseño sísmico con factores Q no mayores de 2) pueden alcanzar el momento plástico como las secciones tipo 1, pero tienen una capacidad de rotación inelástica limitada, aunque suficiente para ser utilizadas en estructuras diseñadas plásticamente, bajo cargas predominantemente estáticas, y en zonas sísmicas, con factores de comportamiento sísmico reducidos.

Las secciones tipo 3 (secciones no compactas) pueden alcanzar el momento correspondiente a la iniciación del flujo plástico en vigas, o ese momento reducido por compresión en barras flexocomprimidas, pero no tienen capacidad de rotación inelástica.

Las secciones tipo 4 (secciones esbeltas) tienen como estado límite de resistencia el pandeo local de alguno de los elementos planos que las componen.

Para que una sección sea clasificada como tipo 1 ó 2, sus patines deben estar conectados al alma o almas en forma continua; además, las secciones tipo 1 sometidas a flexión deben tener un eje de simetría en el plano del alma, y si trabajan en compresión axial o en flexocompresión han de tener dos ejes de simetría. Las tipo 2 en flexión deben tener un eje de simetría en el plano de la carga, a menos que en el análisis se incluyan los efectos producidos por la asimetría.

Tabla 2.1 Valores máximos admisibles de las relaciones ancho/grueso

Descripción del elemento	Clasificación de las secciones		
	Tipo 1 (Diseño plástico y diseño sísmico con $Q = 3$ ó 4)	Tipo 2 Compactas (Diseño plástico y diseño sísmico con $Q \leq 2$)	Tipo 3 No Compactas
Alas de ángulos sencillos y de ángulos dobles con separadores, en compresión; elementos comprimidos soportados a lo largo de uno solo de los bordes longitudinales.	- - -	- - -	$0.45\sqrt{E/F_y}$
Atiesadores de trabes armadas, soportados a lo largo de un solo borde longitudinal.	- - -	- - -	$0.56\sqrt{E/F_y}$
Almas de secciones T.	- - -	$0.38\sqrt{E/F_y}$	$0.77\sqrt{E/F_y}$
Patines de secciones I, H o T, en flexión.	$0.32\sqrt{E/F_y}$	$0.38\sqrt{E/F_y}$	$0.58\sqrt{E/F_y}$
Patines de secciones I o H, en compresión pura; placas que sobresalen de miembros comprimidos[1].	$0.58\sqrt{E/F_y}$	$0.58\sqrt{E/F_y}$	$0.58\sqrt{E/F_y}$
Patines de canales.	- - -	- - -	$0.56\sqrt{E/F_y}$
Patines de secciones en cajón, laminadas o soldadas, en flexión; cubreplacas entre líneas de remaches, tornillos o soldaduras, atiesadores soportados a lo largo de los dos bordes paralelos a la fuerza.	$1.12\sqrt{E/F_y}$	$1.12\sqrt{E/F_y}$	$1.47\sqrt{E/F_y}$
Almas de secciones I o H y placas de secciones en cajón, en compresión pura[1].	$1.47\sqrt{E/F_y}$	$1.47\sqrt{E/F_y}$	$1.47\sqrt{E/F_y}$
Almas en flexión.	$2.45\sqrt{E/F_y}$	$3.71\sqrt{E/F_y}$	$5.60\sqrt{E/F_y}$
Almas flexocomprimidas[2].	$2.45\sqrt{\frac{E}{F_y}}\left(1-0.4\frac{P_u}{P_y}\right)$	$3.75\sqrt{\frac{E}{F_y}}\left(1-0.6\frac{P_u}{P_y}\right)$	$5.6\sqrt{\frac{E}{F_y}}\left(1-0.74\frac{P_u}{P_y}\right)$
Secciones circulares huecas en compresión axial[3].	$0.065E/F_y$	$0.090E/F_y$	$0.115E/F_y$
Secciones circulares huecas en flexión.	$0.045E/F_y$	$0.071E/F_y$	$0.309E/F_y$

1 En miembros sometidos a compresión axial no existe la distinción basada en capacidad de rotación, por lo que los límites de almas y patines de perfiles comprimidos axialmente son los mismos para las secciones tipo 1 a 3;
2 P_u fuerza axial de diseño;
3 Ver sección II.2.3.5.

II.2.3.2.4.2 Ancho

II.2.3.2.4.2.1 Elementos planos no atiesados

Reciben el nombre de elementos planos no atiesados los que están soportados a lo largo de uno solo de los bordes paralelos a la dirección de la fuerza de compresión. Su ancho se toma igual a:

a) En placas, la distancia del borde libre a la primera línea de soldaduras, remaches o tornillos;

b) En alas de ángulos, patines de canales y zetas, la dimensión nominal total;

c) En almas de tés, el peralte nominal total;

d) En patines de secciones I, H y T la mitad de la dimensión nominal total; y

e) En perfiles hechos con lámina doblada, la distancia del borde libre a la iniciación de la curva que une el elemento considerado con el resto del perfil.

II.2.3.2.4.2.2 Elementos planos atiesados

Reciben el nombre de elementos planos atiesados los que están soportados a lo largo de los dos bordes paralelos a la dirección de la fuerza de compresión. Su ancho se toma igual a:

a) En almas de secciones laminadas, la distancia libre entre patines menos los radios de las curvas de unión con los patines;

b) En patines de secciones en cajón hechas con cuatro placas, la distancia entre líneas adyacentes de soldaduras, remaches o tornillos;

c) En patines de secciones laminadas en cajón, la distancia libre entre almas, menos los radios de las dos curvas de unión. Si no se conocen los radios, el ancho total de la sección menos tres veces el grueso de sus paredes;

d) En almas de secciones formadas por placas, H, I o en cajón, la distancia entre líneas adyacentes de remaches o tornillos o, en secciones soldadas, la distancia libre entre patines; y

e) En almas de secciones de lámina delgada laminadas en caliente o dobladas en frío, la distancia entre las iniciaciones de las curvas de unión con los elementos de soporte. Si no se conocen los radios de las esquinas, el peralte total de la sección menos tres veces el grueso de sus paredes.

II.2.3.2.4.3 Grueso

En elementos de grueso uniforme, se toma igual al valor nominal. En patines de espesor variable se toma el grueso nominal medido a la mitad de la distancia entre el borde y la cara del alma.

II.2.3.2.4.4 Secciones circulares huecas

En secciones circulares huecas la relación ancho/grueso se sustituye por el cociente del diámetro exterior entre el grueso de la pared.

II.2.3.2.4.5 Secciones tipo 4 (esbeltas)

En la determinación de las propiedades geométricas necesarias para calcular la resistencia de diseño de miembros estructurales que contienen elementos planos comprimidos de relación ancho/grueso mayor que el límite correspondiente a secciones tipo 3, deben utilizarse anchos efectivos reducidos b_e, que se calculan como se indica en las secciones siguientes.

II.2.3.2.4.5.1 Anchos efectivos de elementos planos atiesados comprimidos uniformemente

Los anchos efectivos, b_e, de elementos planos atiesados comprimidos uniformemente, se determinan con las expresiones:

$$b_e = b \qquad \text{si } \lambda \le 0.673 \qquad (2.7)$$

$$b_e = \rho b \qquad \text{si } \lambda > 0.673 \qquad (2.8)$$

donde:

$$\rho = (1 - 0.22/\lambda)/\lambda \qquad (2.9)$$

$$\lambda = \frac{1.052}{\sqrt{k}} \left(\frac{b}{t}\right) \sqrt{\frac{f}{E}} \qquad (2.10)$$

b ancho total del elemento plano;
t grueso del elemento plano; y
k coeficiente de pandeo de placas igual a 4.0 para elementos atiesados soportados por un alma en cada borde longitudinal.

Para placas que formen parte de miembros en compresión f se toma igual a F_n, que es el esfuerzo crítico de pandeo nominal del miembro completo (ver sección *3.2.2.3* de las *NTC-RCDF-2004*).

II.2.3.2.4.5.2 Anchos efectivos de elementos planos no atiesados comprimidos uniformemente

Los anchos efectivos, be, de elementos planos no atiesados comprimidos uniformemente se determinan con las ecuaciones 2.7 a 2.10, haciendo $k = 0.43$ en la ecuación 2.10.

II.2.3.3 Miembros en flexión (vigas y trabes armadas)

II.2.3.3.1 Estados límite

En el diseño de miembros en flexión deben considerarse los estados límite de falla siguientes:

a) Formación de un mecanismo con articulaciones plásticas;

II.2.3.3.2 Resistencia de diseño en flexión

II.2.3.3.2.1 Miembros en los que el pandeo lateral no es crítico ($L \leq L_u$)

Cuando el sistema de piso proporciona soporte lateral al patín superior de las vigas, debe tenerse en cuenta que en algunos tramos el patín comprimido es el inferior. Este punto puede ser de especial importancia en diseño sísmico.

La resistencia de diseño de miembros en flexión cuyo patín comprimido está soportado lateralmente en forma continua, o está provisto de soportes laterales con separación L no mayor que L_u, es igual a:

a) Para secciones tipo 1 ó 2

$$M_R = F_R Z F_y = F_R M_P \leq F_R\,(1.5\,M_y) \qquad (3.19)$$

donde:

Z módulo de sección plástico; y
$M_P = ZF_y$ momento plástico resistente nominal de la sección en consideración.

b) Para secciones tipo 3

$$M_R = F_R S F_y = F_R M_y \qquad (3.20)$$

donde:

S módulo de sección elástico;
$M_y = SF_y$ momento nominal correspondiente a la iniciación de la fluencia (sin considerar esfuerzos residuales), en la sección en consideración;
L distancia entre secciones de la viga soportadas lateralmente de manera adecuada; y
L_u longitud máxima no soportada lateralmente para la que el miembro puede desarrollar todavía el momento plástico M_P; no se exige capacidad de rotación.
L_u se calcula con la ecuación 3.25 ó 3.29.

En secciones I o H cuyos patines tienen relaciones ancho/grueso comprendidas entre las correspondientes a secciones tipo 2 y 3, flexionadas alrededor de cualquiera de sus ejes centroidales y principales, puede tomarse un valor de M_R comprendido entre $F_R M_p$ y $F_R M_y$ calculado por interpolación lineal, teniendo en cuenta que esos valores corresponden, respectivamente, a relaciones ancho/grueso de los patines de $0.38\sqrt{E/F_y}$ y $0.58\sqrt{E/F_y}$.

Si la flexión es alrededor del eje de mayor momento de inercia se comprobará que la relación ancho/grueso del alma no excede de la que corresponde al valor calculado de M_R, para lo que se interpolará linealmente entre las relaciones $3.71\sqrt{E/F_y}$ y $5.60\sqrt{E/F_y}$, correspondientes a $F_R M_p$ y $F_R M_y$, respectivamente.

No hay límites en la longitud sin soporte lateral, en secciones tipo 1, 2 ó 3, cuando la sección transversal es circular o cuadrada, hueca o maciza, o cuando la viga, cualquiera que sea la forma de su sección transversal, se flexiona alrededor del eje de menor momento de inercia. Por consiguiente, en estos casos la resistencia de diseño se determina con las ecuaciones 3.19 ó 3.20.

c) Para secciones tipo 4

Cuando tanto el alma como el patín comprimido corresponden al tipo 4, de acuerdo con las secciones *2.3.1* y *2.3.2*, el valor de M_R se determina con los criterios para diseño de perfiles de lámina delgada doblados en frío. No se incluyen en estas Normas.

Cuando los patines cumplen los requisitos de las secciones tipo 1, 2 ó 3 y las almas son tipo 4, el valor de M_R se obtiene de acuerdo con la sección *4.5.8* de las *NTC-RCDF-2004*.

Cuando las almas cumplen los requisitos de las secciones tipo 1, 2 ó 3, y los patines son tipo 4:

$$M_R = F_R S_e F_y \qquad (3.21)$$

donde S_e, que es el módulo de sección elástico efectivo del elemento, se calcula con el ancho efectivo del patín comprimido determinado de acuerdo con la sección 2.3.6, en vez del ancho total. El módulo de sección de perfiles simétricos respecto al eje de flexión puede calcularse, conservadoramente, utilizando el mismo ancho efectivo en el patín en tensión.

Como una alternativa, S_e puede determinarse usando un ancho efectivo de $1.47\,t\sqrt{E/F_y}$ en patines soportados a lo largo de sus dos bordes paralelos a la dirección del esfuerzo, y de $0.58\,t\sqrt{E/F_y}$ cuando sólo está apoyado uno de los bordes; en este último caso, b/t no debe exceder de 60.

En las ecuaciones 3.19 a 3.21, F_R se toma igual a 0.9.

II.2.3.3.2.2 Miembros en los que el pandeo lateral es crítico ($L > L_u$)

La resistencia de diseño de miembros en flexión cuyas secciones transversales están provistas de soportes laterales con separaciones mayores que L_u, es igual a:

a) Para secciones tipo 1 ó 2 con dos ejes de simetría, flexionadas alrededor del eje de mayor momento de inercia:

Si $M_u > \frac{2}{3} M_p$

$$M_R = 1.15\, F_R M_p \left(1 - \frac{0.28\, M_p}{M_u}\right) \leq F_R M_p \qquad (3.22)$$

Si $M_u \leq \frac{2}{3} M_p$

$$M_R = F_R M_u \qquad (3.23)$$

En vigas de sección transversal I o H, laminadas o hechas con tres placas soldadas, M_u, momento resistente nominal de la sección, cuando el pandeo lateral se inicia en el intervalo elástico, es igual a:

$$M_u = \frac{\pi}{CL}\sqrt{EI_y GJ + \left(\frac{\pi E}{L}\right)^2 I_y C_a} = \frac{\pi E}{CL}\sqrt{I_y\left[\frac{J}{2.6} + \left(\frac{\pi}{L}\right)^2 C_a\right]} \qquad (3.24)$$

donde:

F_R factor de resistencia, igual a 0.9;
l_y momento de inercia respecto al eje de simetría situado en el plano del alma;
J constante de torsión de Saint Venant; y
C_a constante de torsión por alabeo de la sección.

C, que puede tomarse conservadoramente igual a la unidad, está dado por:

$C = 0.60 + 0.40\, M_1/M_2$ para tramos que se flexionan en curvatura simple.
$C = 0.60 - 0.40\, M_1/M_2$ pero no menor que 0.4, para tramos que se flexionan en curvatura doble.
$C = 1.0$ cuando el momento flexionante en cualquier sección dentro del tramo no soportado lateralmente es mayor que M_2, o cuando el patín no está soportado lateralmente de manera efectiva en uno de los extremos del tramo.
M_1 y M_2 son, respectivamente, el menor y el mayor de los momentos en los extremos del tramo en estudio, tomados en valor absoluto.

En miembros de sección transversal en cajón (rectangular hueca) se toma $C_a = 0$.

L_u se ha definido con anterioridad, y L_r es la longitud que separa los intervalos de aplicación de las ecuaciones 3.22 y 3.23 (la ecuación 3.22 es válida para $L \leq L_r$ y la 3.23 para $L > L_r$).

L_u y L_r se calculan con las expresiones siguientes:

1) Miembros de sección transversal I

$$L_u = \frac{\sqrt{2\pi}}{X_u}\sqrt{\frac{EC_a}{GJ}}\sqrt{1+\sqrt{1+X_u^2}} \qquad (3.25)$$

$$L_r = \frac{\sqrt{2\pi}}{X_r}\sqrt{\frac{EC_a}{GJ}}\sqrt{1+\sqrt{1+X_r^2}} \qquad (3.26)$$

donde:

E módulo de elasticidad del acero, igual a 200 000 MPa (2 040 000 kg/cm²); y
G módulo de elasticidad al esfuerzo cortante, igual a 77 200 MPa (784 000 kg/cm²).

En las ecuaciones anteriores

$$X_u = 4.293\,C\frac{ZF_y}{GJ}\sqrt{\frac{C_a}{I_y}} = 3.220\,X_r \qquad (3.27)$$

$$X_r = \frac{4}{3}\,C\frac{ZF_y}{GJ}\sqrt{\frac{C_a}{I_y}} \qquad (3.28)$$

2) Miembros de sección transversal rectangular, maciza o hueca:

$$L_u = 0.91\,\frac{E}{CZF_y}\sqrt{I_y J} \qquad (3.29)$$

$$L_r = 2.92\,\frac{E}{CZF_y}\sqrt{I_y J} = 3.22\,L_u \qquad (3.30)$$

Las ecuaciones 3.22 y 3.23 pueden utilizarse sin calcular las longitudes características L_u y L_r.

b) Para secciones tipo 3 ó 4 con dos ejes de simetría y para canales en las que está impedida la rotación alrededor del eje longitudinal, flexionadas alrededor del eje de mayor momento de inercia:

Si $M_u > \frac{2}{3}M_y$

$$M_R = 1.15\,F_R M_y\left(1 - \frac{0.28\,M_y}{M_u}\right) \qquad (3.31)$$

pero no mayor que $F_R M_y$ para secciones tipo 3 ni que el valor dado por la ecuación 3.21 cuando las almas cumplen los requisitos de las secciones 1, 2 ó 3 y los patines son tipo 4.

Si $M_u \leq \frac{2}{3}M_y$

$$M_R = F_R M_u \qquad (3.32)$$

M_u se calcula con la ecuación 3.24, que es también aplicable para canales, haciendo igual a cero el segundo término contenido en el radical.

Los límites de aplicación de las diversas ecuaciones se determinan también con las ecuaciones 3.25 y 3.26, pero al calcular X_u y X_r y al aplicar las ecuaciones 3.29 y 3.30 a miembros de sección transversal rectangular hueca debe sustituirse Z por S.

Cuando los patines cumplen los requisitos de las secciones tipo 1, 2 ó 3 y las almas son tipo 4, el momento resistente de diseño no debe exceder el valor obtenido de acuerdo con la sección *4.5.8* de las *NTC-RCDF-2004*.

En miembros de sección transversal en cajón (rectangular hueca) se toma $C_a = 0$.

Puede utilizarse la teoría plástica cuando las secciones son tipo 1 ó 2 y la distancia entre secciones transversales soportadas lateralmente de manera adecuada no excede de L_p, en zonas de formación de articulaciones plásticas asociadas con el mecanismo de colapso.

L_p es la longitud máxima no soportada lateralmente para la que el miembro puede desarrollar todavía el momento plástico M_p, y conservarlo durante las rotaciones necesarias para la formación del mecanismo de colapso.

Se calcula como sigue:

Secciones I

$$L_p = \left[0.12 + 0.076\left(\frac{M_1}{M_2}\right)\right]\left(\frac{E}{F_y}\right) r_y \qquad (3.33)$$

Secciones rectangulares, macizas o en cajón

$$L_p = \left[0.17 + 0.10\left(\frac{M_1}{M_2}\right)\right]\left(\frac{E}{F_y}\right) r_y \geq 0.1\left(\frac{E}{F_y}\right) r_y \qquad (3.34)$$

En las expresiones anteriores:

M_2 mayor de los momentos en los extremos del tramo no soportado lateralmente; es con frecuencia el momento plástico resistente del miembro en estudio;
M_1 menor de los momentos en los extremos del tramo no soportado lateralmente; y
r_y radio de giro alrededor del eje de menor momento de inercia.

El cociente M_1/M_2 es positivo cuando el segmento de viga entre puntos soportados lateralmente se flexiona en curvatura doble, y negativo cuando lo hace en curvatura simple.

II.2.3.3.3 Resistencia de diseño al cortante

La resistencia de diseño al cortante, V_R, de una viga o trabe de eje recto y sección transversal constante, de sección I, C o en cajón es

$$V_R = V_N F_R \qquad (3.38)$$

donde:

F_R factor de resistencia, igual a 0.9; y
V_N es la resistencia nominal, que se determina como se indica a continuación.

Al evaluar V_N se tendrá en cuenta si la sección tiene una o más almas.

h es el peralte del alma; se toma igual a la distancia libre entre patines en secciones hechas con placas soldadas, y a la distancia entre los puntos donde comienzan las curvas de unión de alma y patines en secciones laminadas.

a) Si $\frac{h}{t} \leq 0.98\sqrt{\frac{Ek}{F_y}}$

$$V_n = 0.66 F_y A_a \qquad (3.39)$$

El alma falla por cortante en el intervalo de endurecimiento por deformación.

b) Si $0.98\sqrt{\frac{Ek}{F_y}} < \frac{h}{t} \leq 1.12\sqrt{\frac{Ek}{F_y}}$

$$V_N = \frac{0.65\sqrt{EF_y k}}{h/t} A_a \qquad (3.40)$$

La falla es por plastificación del alma por cortante.

c) Si $1.12\sqrt{\frac{Ek}{F_y}} < \frac{h}{t} \leq 1.40\sqrt{\frac{Ek}{F_y}}$ se consideran dos casos:

1) Estado límite de iniciación del pandeo del alma

$$V_N = \frac{0.65\sqrt{EF_y k}}{h/t} A_a \qquad (3.41)$$

2) Estado límite de falla por tensión diagonal

$$V_N = \left[\frac{0.65\sqrt{EF_y k}}{h/t}\left(1 - \frac{0.870}{\sqrt{1+(a/h)^2}}\right) + \frac{0.50F_y}{\sqrt{1+(a/h)^2}}\right] A_a \qquad (3.42)$$

d) Si $1.40\sqrt{\frac{Ek}{F_y}} < \frac{h}{t}$ se consideran dos casos:

1) Estado límite de iniciación del pandeo del alma

$$V_N = \frac{0.905\,Ek}{(h/t)^2} A_a \qquad (3.43)$$

2) Estado límite de falla por tensión diagonal

$$V_N = \left[\frac{0.905\,Ek}{(h/t)^2}\left(1 - \frac{0.870}{\sqrt{1+(a/h)^2}}\right) + \frac{0.50F_y}{\sqrt{1+(a/h)^2}}\right] A_a \qquad (3.44)$$

Para que pueda tomarse como estado límite la falla por tensión diagonal (ecuaciones 3.42 y 3.44) la sección debe tener una sola alma (secciones I laminadas o formadas por placas) y estar reforzada con atiesadores transversales, diseñados de acuerdo con la sección 4.5.7. Además, a/h no debe exceder de 3.0 ni de $[260/(h/t)]^2$.

En las expresiones anteriores:

A_a área del alma, igual al producto de su grueso, t, por el peralte total de la sección, d;
h peralte del alma;
t grueso del alma;
a separación entre atiesadores transversales; y
k coeficiente sin dimensiones, que se calcula con la ecuación 3.45.

$$k = 5.0 + \frac{5.0}{(a/h)^2} \qquad (3.45)$$

k se toma igual a 5.0 cuando la relación a/h es mayor que 3.0 o que $[260/(h/t)]^2$, y cuando no se emplean atiesadores. En almas no atiesadas h/t no debe exceder de 260.

En estructuras diseñadas plásticamente la resistencia de diseño al cortante de las vigas es

$$V_R = 0.55\, F_R\, A_a\, F_y \qquad (3.46)$$

donde F_R se toma igual a 0.9.

Cuando la sección tiene dos o más almas, A_a es la suma de las áreas de todas ellas.

II.2.3.4 Miembros flexocomprimidos

II.2.3.4.1 Determinación de los momentos de diseño M_{uox}, M_{uoy}, M^*_{uox} y M^*_{uoy}

En todos los casos que se describen a continuación (excepto en el análisis de primer orden de estructuras irregulares), ya sea que el diseño quede regido exclusivamente por cargas verticales, o por su combinación con acciones horizontales, producidas por viento o sismo, las estructuras, sean regulares o irregulares, deben analizarse bajo la acción combinada de las fuerzas reales que actúan sobre ellas y de fuerzas ficticias horizontales que se aplican en la misma dirección y sentido que las fuerzas de viento o sismo, o, en estructuras asimétricas bajo carga vertical, en el sentido en que sus efectos se sumen con los debidos a la asimetría, de manera que los momentos de diseño M_{uo} y M^*_{uo} incluyen contribuciones de los dos tipos de cargas, reales y ficticias.

Las fuerzas ficticias horizontales, que se aplican en cada uno de los niveles de la estructura y en todas las combinaciones de cargas, se toman iguales a 0.005 veces la carga vertical de diseño (factorizada) que actúe en el nivel, correspondiente a la combinación de cargas en estudio.

II.2.3.4.2 Dimensionamiento de columnas que forman parte de estructuras regulares

En todos los casos debe revisarse la resistencia de las dos secciones extremas y de la columna completa, incluyendo efectos de segundo orden. Las secciones extremas se revisan con las ecuaciones 3.51 ó 3.52 y 3.53, 3.54 ó 3.55, según el tipo de sección de que se trate, y la revisión de la columna completa se efectúa con la ecuación 3.56 ó 3.57. Las dimensiones de las columnas se obtienen de manera que se cumplan, simultáneamente, las condiciones de resistencia de las secciones extremas y de la columna completa.

II.2.3.4.2.1 Revisión de las secciones extremas

a) Secciones tipo 1 y 2

En cada uno de los extremos de la columna debe satisfacerse la condición:

Secciones H o I

$$\frac{P_u}{F_R\, P_y} + \frac{0.85 M_{uox}}{F_R\, M_{px}} + \frac{0.60 M_{uoy}}{F_R\, M_{py}} \leq 1.0 \qquad (3.51)$$

Secciones en cajón, cuadradas

$$\frac{P_u}{F_R\, P_y} + \frac{0.80 M_{uox}}{F_R\, M_{px}} + \frac{0.80 M_{uoy}}{F_R\, M_{py}} \leq 1.0 \qquad (3.52)$$

donde:

F_R se toma igual a 0.9;

P_u, M_{uox} y M_{uoy} fuerza axial de diseño que obra sobre la columna y momentos de diseño en el extremo considerado, calculados de acuerdo con las secciones 1.5.1 ó 3.4.2;

$M_{px} = Z_x F_y$ y $M_{py} = Z_y F_y$ momentos plásticos resistentes nominales de la sección, para flexión alrededor de los ejes X y Y, respectivamente; y

$P_y = A_t F_y$ fuerza axial nominal que, obrando por sí sola, ocasionaría la plastificación de una columna corta cuyas secciones transversales tienen un área A_t.

Cuando se emplee alguna de las dos ecuaciones anteriores para revisar columnas de sección transversal H, I o en cajón, cuadrada, ha de comprobarse que se cumpla, además, la condición.

$$\frac{M_{uox}}{F_R\, M_{px}} + \frac{M_{uoy}}{F_R\, M_{py}} \leq 1.0 \qquad (3.53)$$

Si la sección transversal de la columna no es ninguna de las mencionadas arriba, las ecuaciones 3.51 y 3.52 se sustituyen por

$$\frac{P_u}{F_R\, P_y} + \frac{M_{uox}}{F_R\, M_{px}} + \frac{M_{uoy}}{F_R\, M_{py}} \leq 1.0 \qquad (3.54)$$

b) Secciones tipo 3 y 4

En cada uno de los extremos de la columna debe satisfacerse la condición:

$$\frac{P_u}{F_R\, P_y} + \frac{M_{uox}}{M_{RX}} + \frac{M_{uoy}}{M_{RY}} \leq 1.0 \qquad (3.55)$$

donde M_{RX} y M_{RY} se calculan como se indica en los incisos 3.3.2.1.b y 3.3.2.1.c, y las otras cantidades que aparecen en la ecuación se han definido arriba.

II.2.3.4.2.2 Revisión de la columna completa

a) Secciones tipo 1 y 2

Debe satisfacerse la condición:

$$\frac{P_u}{R_C} + \frac{M^*_{uox}}{M_m} + \frac{M^*_{uoy}}{F_R\, M_{py}} \leq 1.0 \qquad (3.56)$$

donde:

F_R se toma igual a 0.9;

P_u, M^*_{uox} y M^*_{uoy} fuerza axial de diseño que obra sobre la columna y momentos de diseño, calculados de acuerdo con las secciones *1.5.1, 3.4.2* ó *3.4.3.3* de las *NTC-RCDF-2004*. En la ecuación 3.56, lo mismo que en las ecuaciones 3.58 y 3.59, se utilizan siempre los momentos de diseño máximos, alrededor de los ejes X y Y, aunque los dos no se presenten en el mismo extremo de la columna.

M_m momento resistente de diseño, para flexión alrededor del eje X; se calcula como se indica en la sección *3.3.2* de las *NTC-RCDF-2004* o, en forma aproximada, con la ecuación (válida para secciones I o H):

$$M_m = F_R\left(1.07 - \frac{(L/r_y)\sqrt{F_y/E}}{18.55}\right) M_{px} \leq F_R\, M_{px} \qquad (3.57)$$

En las ecuaciones de la sección *3.3.2* de las *NTC-RCDF-2004*, debe hacerse C=1.0.

M_m puede tomarse igual a $F_R M_{px}$ cuando la columna está soportada lateralmente en forma continua, o cuando está provista de soportes laterales con separación L no mayor que L_u, dada por alguna de las ecuaciones 3.25 ó 3.29, si no se requiere capacidad de rotación, o no mayor que L_p, ecuaciones 3.33 ó 3.34, cuando sí se requiera capacidad de rotación.

R_C, resistencia de diseño en compresión, se determina de acuerdo con la sección *3.2.2* de las *NTC-RCDF-2004*. Se calcula con K= 1.0, lo mismo que las fuerzas P_{E2} de la ecuación 1.5.

b) Secciones tipo 3 y 4

Debe cumplirse la condición:

$$\frac{P_u}{R_C} + \frac{M^*_{uox}}{M_{RX}} + \frac{M^*_{uoy}}{M_{RY}} \leq 1.0 \qquad (3.58)$$

donde:

M_{RX} y M_{RY} momentos resistentes de diseño alrededor del eje X y del Y, se calculan de acuerdo con la sección *3.3.2* de las *NTC-RCDF-2004*, haciendo C= 1.0. R_C y P_{E2}, ecuación 1.5, se calculan con K= 1.0.

En lugar de las ecuaciones 3.51, 3.52 y 3.56 pueden usarse expresiones más refinadas, que aparecen en la literatura técnica, que son aplicables a columnas de sección transversal H o en cajón.

II.2.3.4.2.3 Momentos de diseño

a) Análisis elástico de primer orden

Si las fuerzas normales y los momentos se obtienen por medio de un análisis convencional de primer orden, basado en la geometría inicial de la estructura, los momentos de diseño se determinan con las ecuaciones 1.1 y 1.2, como se indica en la sección *1.5.1.1* de las *NTC-RCDF-2004*.

Las ecuaciones 3.51 a 3.55 se aplican dos veces, a los dos extremos de la columna, con los momentos M_{uo} calculados en cada uno de ellos, y la 3.56 y 3.58 una sola, con los momentos M^*_{uox} y M^*_{uoy} máximos, aunque no se presenten en el mismo extremo.

- Entrepisos cuyo diseño queda regido por cargas verticales únicamente

  En columnas que forman parte de entrepisos cuyo diseño queda regido por cargas verticales únicamente, lo que es frecuente en edificios de poca altura y en los entrepisos superiores de edificios altos, los momentos M_{tp} suelen ser nulos en la condición de carga de diseño (la única excepción la constituyen las estructuras muy asimétricas, en geometría y/o carga, en las que las cargas verticales pueden ocasionar desplazamientos laterales de entrepiso significativos). De todos modos, los posibles efectos traslacionales debidos a asimetrías no intencionales en cargas y rigideces se tienen en cuenta por medio de las fuerzas horizontales ficticias mencionadas en la sección *3.4.2* de las *NTC-RCDF-2004*.

  Debe demostrarse que el índice de estabilidad I no es mayor que 0.30 en ningún entrepiso.

b) Análisis elástico de segundo orden

Si las fuerzas normales y los momentos se obtienen por medio de un análisis de segundo orden[1], en el que se tienen en cuenta, por lo menos, los efectos indicados en la sección *1.5.1* de las *NTC-RCDF-2004* y las fuerzas ficticias de la sección *3.4.2* de las *NTC-RCDF-2004*, o si se demuestra, de acuerdo con el inciso 2.2.2.b, que pueden despreciarse los efectos de segundo orden, los momentos de diseño se determinan como sigue:

$$M_{uo} = M_{ti} + M_{tp} \qquad (3.59)$$

$$M^*_{uo} = B_1 (M_{ti} + M_{tp}) \qquad (3.60)$$

Todas las cantidades que aparecen en estas ecuaciones tienen los mismos significados que en las ecuaciones 1.1 y 1.2.

II.2.3.4.3 Dimensionamiento de columnas que forman parte de estructuras irregulares

Los miembros flexocomprimidos que forman parte de estructuras irregulares se dimensionan de manera que se satisfagan los requisitos que se indican a continuación.

En todos los casos debe revisarse la resistencia de las dos secciones extremas y la de la columna completa, incluyendo efectos de segundo orden y las fuerzas ficticias horizontales que se describen en la sección *3.4.2* de las *NTC-RCDF-2004*. Las dimensiones de las columnas se obtienen de manera que se cumplan, simultáneamente, las condiciones de resistencia de las secciones extremas y de la columna completa.

II.2.3.4.3.1 Revisión de las secciones extremas

Se lleva a cabo como se indica en la sección *3.4.3.1* de las *NTC-RCDF-2004*.

II.2.3.4.3.2 Revisión de la columna completa

Se lleva a cabo como se indica en la sección *3.4.3.2* de las *NTC-RCDF-2004*.

II.2.3.4.3.3 Determinación de los momentos de diseño M_{uox}, M_{uoy}, M^*_{uox} y M^*_{uoy}

a) Análisis elástico de primer orden

Si las fuerzas normales y los momentos se obtienen por medio de un análisis convencional de primer orden, basado en la geometría inicial de la estructura, los momentos de diseño se determinan como sigue:

$$M_{uo} = M_{ti} + M_{tp} \qquad (3.61)$$

$$M^*_{uo} = B_1 (M_{ti} + M_{tp}) \qquad (3.62)$$

En la ecuación 3.61, M_{ti} y M_{tp} tienen el mismo significado que en la ecuación 1.1, y en la ecuación 3.62 significan lo mismo que en la ecuación 1.2. B_1 está dado por la ecuación 1.3.

---

1 En éste debe tener en cuenta que cuando los desplazamientos laterales son producidos por sismos, se determinan multiplicando por el factor Q los causados por las fuerzas sísmicas de diseño producidas.

Las literales que aparecen en la ecuación 1.3 conservan sus significados, pero los valores indicados para C sólo son aplicables a columnas que formen parte de marcos en los que puedan despreciarse los efectos de esbeltez debidos a desplazamientos lineales de sus niveles, porque estén provistos de contraventeo vertical o muros de cortante de rigidez y resistencia adecuadas o por su propia rigidez; en caso contrario se tomará $C = 1.0$. De manera análoga, en el cálculo del factor de longitud efectiva K, necesario para evaluar B_1 y R_C en las ecuaciones 3.56 y 3.58, se tendrá en cuenta si hay, o no, contraventeos verticales adecuados. Por consiguiente, K puede ser menor o mayor que 1.0.

b) Análisis elástico de segundo orden

Si las fuerzas normales y los momentos se obtienen por medio de un análisis de segundo orden en el que se tienen en cuenta, por lo menos, los efectos indicados en la sección *1.5.1* de las *NTC-RCDF-2004*, y las fuerzas ficticias horizontales de la sección *3.4.2* de las *NTC-RCDF-2004*, los momentos de diseño se determinan con las ecuaciones 3.61 y 3.62, pero ahora C tiene el valor indicado con relación a la ecuación 1.3, y P_E se determina con un factor de longitud efectiva K menor o igual que 1.0, lo mismo que R_C en las ecuaciones 3.56 y 3.58.

Se recomienda que, siempre que sea posible, el diseño de las columnas de estructuras irregulares se base en las acciones determinadas con un análisis de segundo orden.

II.2.3.5 Construcción compuesta

II.2.3.5.1 Miembros comprimidos

II.2.3.5.1.1 Limitaciones

Para que un miembro comprimido pueda considerarse una columna compuesta ha de cumplir las condiciones siguientes:

a) El área de la sección transversal del elemento de acero es, cuando menos, el cuatro por ciento del área de la sección transversal compuesta total.

b) El concreto que recubre la sección de acero está reforzado con barras longitudinales de carga, barras longitudinales para restringir el concreto, y estribos transversales. Las barras longitudinales de carga son continuas a través de los pisos; las que restringen el concreto pueden interrumpirse en ellos. La separación entre estribos no excede de 2/3 de la dimensión menor de la sección compuesta ni de 300 mm. El área de la sección transversal de cada una de las barras que forman el refuerzo, longitudinal y transversal, no es menor de 9 mm² por cada 50 mm de separación entre barras. El recubrimiento del refuerzo es, cuando menos, de 40 mm medidos al borde exterior de las barras colocadas por fuera, sean longitudinales o estribos.

c) Si el concreto es de peso volumétrico normal, su resistencia especificada en compresión, f_C', no es menor de 20 MPa (200 kg/cm²) ni mayor de 54 MPa (550 kg/cm²); si es ligero tendrá una resistencia no menor de 29 MPa (300 kg/cm²).

d) Si el límite de fluencia del acero, sea estructural o de refuerzo, es mayor de 412 MPa (4 200 kg/cm²), en el cálculo de resistencia se tomará ese valor.

e) El grueso t de las paredes de las secciones tubulares de acero estructural rellenas de concreto no es menor que $b\sqrt{F_y/3E}$ para cada cara de ancho b en secciones rectangulares o cuadradas, ni que $D\sqrt{F_y/8E}$ en secciones circulares de diámetro exterior D, ni que 3mm en cualquier caso. E es el módulo de elasticidad del acero y F_y corresponde al acero del perfil.

II.2.3.5.1.2 Resistencia de diseño

La resistencia de diseño R_C de las columnas compuestas comprimidas axialmente se determina con las ecuaciones 3.3 y 3.4 de la sección *3.2* de las *NTC-RCDF-2004*, con n = 1.4, en las que se hacen las modificaciones siguientes:

F_R se toma igual a 0.85;

a) A_t es el área total de la sección transversal del elemento de acero estructural; r es el radio de giro del elemento de acero estructural; cuando se trate de una sección ahogada en concreto, no se tomará menor que 0.3 veces la dimensión total de la sección compuesta, en el plano en que se estudie el pandeo.

b) F_y y E se sustituyen por los valores modificados F_{my} y E_m:

$$F_{my} = F_y + C_1 F_{yr} \frac{A_r}{A_t} + C_2 f_c^* \frac{A_c}{A_t} \qquad (3.64)$$

$$E_m = E + C_3 E_c \frac{A_c}{A_t} \qquad (3.65)$$

donde:

A_c área de concreto;
A_t área del elemento de acero estructural;
A_r área de las barras de refuerzo longitudinales;
E módulo de elasticidad del acero;
E_c módulo de elasticidad del concreto. Para concretos clase 1 se supondrá igual a 4 400 $\sqrt{f_c'}$, para concretos con agregado grueso calizo y 3 500 $\sqrt{f_c'}$ si el agregado grueso es basáltico; y para los clase 2, igual a 2 500 $\sqrt{f_c'}$; en cualquiera de los casos, tomando f_c' en MPa, se obtiene Ec en esas mismas unidades (14 000 $\sqrt{f_c'}$, 11 000 $\sqrt{f_c'}$ y 8 000 $\sqrt{f_c'}$, respectivamente, si se usan kg/cm²). Para concreto ligeros, se determinará de acuerdo con lo prescrito en las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto, donde también se dan las características de los concretos clase 1 y 2;
F_y esfuerzo de fluencia mínimo especificado del acero del perfil o sección tubular;
F_{yr} esfuerzo de fluencia mínimo especificado de las barras de refuerzo longitudinal;
f_c' resistencia especificada del concreto en compresión;
f_c^* resistencia nominal del concreto en compresión, igual a $0.8 f_c'$; y
C_1, C_2, C_3 coeficientes numéricos;
para secciones tubulares rellenas de concreto,
$C_1 = 1.0$, $C_2 = 0.85$, $C_3 = 0.4$;
para perfiles ahogados en concreto,
$C_1 = 0.7$, $C_2 = 0.6$, $C_3 = 0.2$.

II.2.3.5.1.3 Columnas con varios perfiles de acero

Si la sección compuesta está formada por dos o más perfiles de acero, éstos deben unirse entre sí por medio de diagonales o placas interrumpidas, que satisfagan los requisitos aplicables de la sección *4.2* de las *NTC-RCDF-2004*.

II.2.3.5.1.4 Transmisión de cargas

Las cargas aplicadas en columnas compuestas formadas por una sección de acero ahogada en concreto, en compresión axial, se transmitirán entre el acero y el concreto de acuerdo con los requisitos siguientes:

a) Cuando la fuerza exterior se aplica directamente a la sección de acero, se colocarán los conectores de cortante necesarios para transmitir la fuerza V_u' dada por

$$V_u' = V_u\left(1 - \frac{A_t F_y}{R_{nc}}\right) \qquad (3.66)$$

b) Cuando la fuerza exterior se aplica directamente al concreto, se colocarán los conectores de cortante necesarios para transmitir la fuerza V_u' dada por

$$V_u' = V_u \frac{A_t F_y}{R_{nc}} \qquad (3.67)$$

donde:

V_u fuerza que se introduce en la columna;
A_t y F_y área y esfuerzo de fluencia de la sección de acero; y
R_{nc} resistencia nominal en compresión de la columna compuesta, calculada dividiendo entre F_R = 0.85 la resistencia de diseño R_C determinada como se indica en la sección *3.6.1.2* de las *NTC-RCDF-2004*.

Los conectores de cortante que transmiten la fuerza V_u' deben distribuirse a lo largo del miembro. La separación entre ellos no será mayor de 400 mm, y se colocarán, cuando menos, en dos caras de la sección de acero, con una configuración simétrica con respecto a los ejes de esa sección.

Cuando el área del concreto de soporte en el que se apoya la carga es más ancha que la zona cargada directamente, en uno o más de sus lados, y su expansión lateral está restringida en los restantes, la resistencia máxima de diseño del concreto se toma igual a 1.7 $F_R f_C' A_B$, donde F_R = 0.65 es el factor de resistencia para aplastamiento del concreto, y A_B es el área cargada.

II.2.3.5.2 Miembros en flexión

II.2.3.5.2.1 Hipótesis de diseño y métodos de análisis

a) Distribuciones de esfuerzos en zonas donde se alcanza la resistencia última de la sección por plastificación completa de la misma

1) Cuando la losa, que está ligada a la viga, armadura o larguero de alma abierta de acero, por medio de conectores de cortante, forma parte del patín comprimido de la sección compuesta (zonas de momento positivo), se supone que el esfuerzo de compresión en el concreto tiene un valor f_c' igual a

$$0.85\, f_c^* \qquad (3.68)$$

uniforme en toda la zona comprimida, y se desprecia su resistencia a la tensión. Se considera, además, que la sección de acero completa está sometida a un esfuerzo uniforme igual a F_y, tanto en la zona que trabaja en tensión como en la zona comprimida, cuando ésta existe. La fuerza de tensión neta en la sección de acero debe ser igual a la fuerza de compresión en la losa de concreto.

2) Cuando la losa, que está ligada a la viga de acero por medio de conectores de cortante, se encuentra junto al patín en tensión (zonas de momento negativo), se supone que las barras de refuerzo paralelas a la viga contenidas en el ancho efectivo de la losa trabajan a un esfuerzo de tensión igual a F_{yr}, siempre que se satisfagan los requisitos de anclaje contenidos en las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto, y se desprecia la resistencia a la tensión del concreto. Se considera que todo el perfil de acero está sometido a un esfuerzo uniforme, igual a F_y, ya sea en tensión o en compresión. La fuerza neta de compresión en la sección de acero debe ser igual a la fuerza total de tensión en las barras de refuerzo.

b) Distribución de esfuerzos en el intervalo elástico

Para determinar la distribución de esfuerzos en el intervalo elástico se supone que las deformaciones unitarias en el acero y el concreto varían linealmente con la distancia al eje neutro. Los esfuerzos se obtienen multiplicando las deformaciones unitarias por el módulo de elasticidad del material que se esté considerando.

Los esfuerzos máximos en el acero, de tensión o compresión, y las compresiones en el concreto, correspondientes a solicitaciones de diseño, no deben exceder de F_y y f_c', respectivamente. Se desprecia la resistencia a la tensión del concreto.

c) Construcción compuesta completa

La viga trabaja en construcción compuesta completa cuando el número y la resistencia de los conectores de cortante son suficientes para desarrollar la resistencia máxima a la flexión de la sección compuesta. En este caso, al calcular distribuciones de esfuerzos en el intervalo elástico se supone que no hay deslizamiento entre la losa y el perfil de acero.

d) Construcción compuesta parcial

Si la resistencia al cortante de los conectores es menor que la necesaria para la construcción compuesta completa, son los conectores los que gobiernan la resistencia a la flexión de la viga, que en estas condiciones trabaja en construcción compuesta parcial. En el cálculo de deflexiones y vibraciones bajo cargas de trabajo, en el estudio de fenó-

menos de fatiga, y en otros cálculos que se hagan en régimen elástico, debe incluirse el efecto del deslizamiento entre la losa y el perfil de acero.

e) Vigas, armaduras y largueros de alma abierta, ahogados en concreto

Puede suponerse que las vigas, armaduras y largueros de alma abierta, ahogados por completo en concreto colado al mismo tiempo que la losa están interconectados con él por adherencia natural, de manera que trabajan en construcción compuesta sin necesidad de conectores de cortante; para que esta suposición sea correcta han de cumplirse las condiciones siguientes:

1) Las vigas, armaduras o largueros de alma abierta no están pintados;
2) El recubrimiento de concreto en los lados y en la parte inferior del elemento de acero debe ser, como mínimo, de 50 mm;
3) El borde superior del elemento de acero está, cuando menos, 40 mm debajo del borde superior y 50 mm encima del borde inferior de la losa; y
4) El concreto que rodea al elemento de acero está provisto de una malla u otro acero de refuerzo adecuado para evitar que se desconche.

f) Métodos de análisis

Al efectuar el análisis de estructuras que contengan vigas compuestas deben considerarse las propiedades efectivas de las secciones en el instante en que se aplica cada incremento de carga, las que dependerán de que el concreto haya o no fraguado en ese instante. Este aspecto se tendrá en cuenta, entre otros casos, al determinar las rigideces relativas de miembros en estructuras continuas.

g) Análisis elástico

Para realizar análisis elásticos de vigas compuestas continuas no acarteladas es aceptable suponer que la rigidez de cada tramo es constante en toda su longitud; esta rigidez puede calcularse con el promedio pesado de los momentos de inercia en las zonas de momento positivo y negativo.

Si el elemento de acero estructural es de alma abierta, deben tenerse en cuenta las recomendaciones del segundo párrafo de la sección *3.6.2* de las *NTC-RCDF-2004*.

h) Análisis plástico

Cuando se utiliza análisis plástico, la resistencia de miembros compuestos en flexión se determina tomando como base las distribuciones de esfuerzos en secciones completamente plastificadas, dadas arriba.

Si el elemento de acero estructural es de alma abierta, deben tenerse en cuenta las recomendaciones del segundo párrafo de la sección *3.6.2* de las *NTC-RCDF-2004*.

II.2.3.5.2.2 Ancho efectivo

El ancho efectivo b_e de la losa de concreto, medido a cada lado del eje del elemento de acero, se toma igual a la menor de las distancias siguientes:

a) Un octavo del claro de la viga, medido entre centros de los apoyos;
b) La mitad de la distancia al eje de la viga adyacente; o
c) La distancia al borde de la losa.

II.2.3.5.2.3 Diseño de vigas compuestas con conectores de cortante

a) Losa de concreto en compresión (zonas de momento positivo)

La viga compuesta está formada por el perfil, armadura o larguero de acero, los conectores de cortante y la losa de concreto o la lámina acanalada con el concreto colado sobre ella.

Las propiedades de la sección compuesta se determinan despreciando el concreto que trabaja en tensión.

Las armaduras y los largueros de alma abierta sólo pueden utilizarse en construcción compuesta completa; el eje neutro de la sección transformada debe estar dentro de la losa, de manera que todo el elemento de acero trabaje en tensión (caso 1); el área de la cuerda superior no se toma en cuenta al determinar las propiedades de la sección compuesta.

El momento resistente de diseño, M_{RC}, de una sección compuesta con la losa en compresión, es igual a $F_R M_n$, donde F_R se toma igual a 0.85 y M_n es el momento resistente nominal, que se calcula como se indica a continuación.

Caso 1.
Construcción compuesta completa y eje neutro plástico en la losa; $\Sigma Q_n > A_s F_y$ y $A_s F_y \leq b_e t f_c''$, donde ΣQ_n es la suma de las resistencias nominales de todos los conectores de cortante colocados entre los puntos de momento máximo y de momento nulo, b_e el ancho efectivo y t el grueso de la losa de concreto.

$$M_n = T_r\, e' = A_s F_y\, e' \qquad (3.69)$$

e', brazo del par resistente, se calcula con

$$a = \frac{A_s F_y}{b_e f_c''} \qquad (3.70)$$

Caso 2.
Construcción compuesta completa y eje neutro en la sección de acero.

$$\Sigma Q_n \geq b_e t f_c'' \text{ y } b_e t f_c'' < A_s F_y$$

$$M_n = C_r\, e + C_r\, e' \qquad (3.71)$$

$$C_r = b_e t f_c'' \qquad (3.72)$$

$$C_r = \frac{A_s F_y - C_r'}{2} \qquad (3.73)$$

Caso 3.
Construcción compuesta parcial; $\Sigma Q_n < b_e t f_c'$ y $< A_s F_y$

$$M_{RC} = C_r e + C_r' e' \qquad (3.74)$$

$$C_r = \Sigma Q_n \qquad (3.75)$$

$$C_r = \frac{A_s F_y - C_r'}{2} \qquad (3.76)$$

e', brazo del par resistente, se calcula con

$$a = \frac{C_r'}{b_e f_c''} = \frac{\Sigma Q_n}{b_e f_c''} \qquad (3.77)$$

No se considera acción compuesta en el cálculo de resistencias en flexión cuando ΣQ_n es menor que 0.4 veces el menor de los valores $0.85 b_e t f_c'$ y $A_s F_y$, ni en el cálculo de deflexiones cuando ΣQ_n es menor que 0.25 veces el menor de los valores $0.85 b_e t f_c'$ y $A_s F_y$.

En las expresiones anteriores

- A_s área de la sección transversal de la sección de acero;
- T_r resistencia en tensión de la parte del área de acero que trabaja en tensión, aplicada en el centroide de esa parte;
- C_r resistencia en compresión de la parte del área de acero que trabaja en compresión, aplicada en el centroide de esa parte;
- C_r' resistencia en compresión de la parte del área de concreto que trabaja en compresión, aplicada en el centroide de esa parte;
- a profundidad de la zona de concreto que trabaja en compresión;
- e brazo de palanca entre la resistencia en compresión del acero, C_r, y su resistencia en tensión, T_r; y
- e' brazo de palanca entre la resistencia en compresión del concreto, C_r', y la resistencia en tensión del acero, T_r.

b) Pandeo local del alma

El pandeo local del alma puede limitar la resistencia en flexión de una sección compuesta, que trabaja en flexión positiva, cuando el alma de la viga es esbelta, y una parte importante de ella trabaja en compresión.

Si $h/t_a \leq 3.71\sqrt{E/F_y}$, F_R se toma igual a 0.85, y M_n, momento resistente nominal de la sección compuesta, se determina utilizando la distribución de esfuerzos en secciones compuestas completamente plastificadas.

Si $h/t_a > 3.71\sqrt{E/F_y}$, F_R se toma igual a 0.9, y M_n se determina por superposición de esfuerzos elásticos, teniendo en cuenta, en su caso, el efecto del apuntalamiento durante la construcción.

h y t_a son el peralte y el grueso del alma de la sección.

c) Losa de concreto en tensión (zonas de momento negativo)

El momento resistente de diseño M_R de las zonas que trabajan en flexión negativa puede tomarse igual al de la sección de acero sola (sección *3.3* de las *NTC-RCDF-2004*) o, si la viga es tipo 1 ó 2 (sección *2.3* de las *NTC-RCDF-2004*), y está contraventeada adecuadamente, puede calcularse con $F_R = 0.85$ y con el momento M_n correspondiente a las hipótesis del inciso 3.6.2.1.a.2.

II.2.3.5.2.4 Losa con lámina de acero acanalada

a) Generalidades

La resistencia de diseño en flexión, $M_{RC} = F_R M_n$, de elementos compuestos formados por una losa de concreto colada sobre una lámina de acero acanalada conectada a vigas, armaduras o largueros de alma abierta (en el resto de esta sección se les da el nombre general de vigas), se determina como se indica en las secciones *3.6.2.1* a *3.6.2.3* de las *NTC-RCDF-2004*, con las modificaciones que siguen.

Esta sección se aplica a láminas acanaladas con nervaduras de altura nominal no mayor de 76 mm y ancho medio de 50 mm o más, pero en los cálculos no se tomará el ancho de las costillas de concreto mayor que la distancia libre mínima en la parte superior de la nervadura. En el inciso 3.6.2.4.c se indican restricciones adicionales.

La losa de concreto se unirá a la viga de acero por medio de conectores de cortante de barras de acero con cabeza (“headed steel studs”), de diámetro no mayor de 19 mm, que se soldarán a la viga directamente o a través de la lámina y, una vez instalados, sobresaldrán no menos de 38 mm del borde superior de la lámina.

Los conectores se pueden soldar a través de un máximo de dos láminas en contacto, cada una de ellas de no más de 1.71 mm de grueso total, incluyendo recubrimientos (1.52 mm de grueso nominal de la lámina de acero más un recubrimiento de zinc no mayor que el proporcionado por 275 g/m²). En caso contrario se utilizarán los procedimientos y se tomarán las precauciones indicadas por el fabricante de los conectores, o las láminas se perforarán previamente.

El grueso de la losa de concreto, por encima de la lámina, será, como mínimo, de 50 mm.

b) Nervaduras perpendiculares a la viga de acero

Cuando las nervaduras de la lámina acanalada son perpendiculares a la viga de acero, en la determinación de las propiedades de la sección y en el cálculo de A_C se desprecia el concreto colocado debajo de la parte superior de la lámina. A_C es el área efectiva de la losa de concreto.

La separación de los conectores de cortante colocados a lo largo de la viga no debe ser mayor de 900 mm.

La resistencia nominal de un conector de cortante de barra con cabeza se obtiene multiplicando el valor estipulado en la sección *3.6.5* de las *NTC-RCDF-2004* por el factor de reducción siguiente:

$$\frac{0.85}{\sqrt{N_r}}\,(w_r/h_r)\left[(H_s/h_r)-1.0\right]\le 1.0 \qquad (3.78)$$

donde:

h_r y w_r altura nominal y ancho medio de la nervadura, respectivamente;
H_s longitud del conector después de soldarlo (se toma igual o menor que h_r + 76 mm, aunque la altura real sea mayor); y
N_r número de conectores en una nervadura en su intersección con la viga (en los cálculos, no más de tres, aunque haya más conectores).

Cuando se coloca un solo conector en una nervadura perpendicular a la viga de acero, el factor de resistencia de la ec. 3.78 no debe ser mayor de 0.75.

Para evitar que se levante y se separe de los elementos que la soportan, la lámina debe estar anclada a ellos en puntos separados no más de 450 mm; el anclaje puede ser proporcionado por los conectores de cortante, una combinación de conectores y puntos de soldadura al arco eléctrico, u otros medios especificados por el diseñador.

c) Nervaduras paralelas a la viga de acero

Cuando las nervaduras de la lámina acanalada son paralelas a la viga de acero, en la determinación de las propiedades de la sección puede incluirse el concreto colocado debajo de la parte superior de la lámina, y en el cálculo de A_C (sección *3.6.5* de las *NTC-RCDF-2004*), debe incluirse ese concreto.

Las nervaduras de la lámina que quedan sobre la viga de soporte pueden cortarse longitudinalmente y separarse, para formar una costilla de concreto más ancha.

Cuando la altura nominal de la lámina acanalada es de 38 mm o más, el ancho promedio w_r de la costilla apoyada en la viga no será menor de 50 mm para el primer conector en una hilera transversal, más cuatro diámetros por cada conector adicional.

La resistencia nominal de un conector de cortante de barra de acero con cabeza es el valor estipulado en la sección *3.6.5* de las *NTC-RCDF-2004*, pero cuando w_r/h_r es menor que 1.5, ese valor se multiplica por el factor de reducción

$$0.6\,(w_r/h_r)\,[(H_S/h_r)\text{ - }1.0]\le 1.0 \qquad (3.79)$$

donde w_r, h_r y H_S se definieron arriba.

II.2.3.5.2.5 Resistencia de diseño de vigas ahogadas en concreto

La resistencia de diseño en flexión, $F_R M_n$, se evaluará tomando F_R igual a 0.9 y determinando M_n por superposición de esfuerzos elásticos, teniendo en cuenta, en su caso, el efecto del apuntalamiento durante la construcción.

Como una alternativa, cuando el elemento de acero es una viga de alma llena, la resistencia en flexión, $F_R M_n$, puede determinarse tomando F_R igual a 0.9 y calculando M_n con la suposición de que la sección de acero está completamente plastificada, sin considerar ninguna resistencia adicional por el recubrimiento de concreto.

Si se colocan los conectores de cortante necesarios, y el concreto satisface los requisitos aplicables del inciso 3.6.1.1.b, la resistencia de diseño en flexión, $F_R M_n$, puede considerarse igual a la que corresponde a la plastificación completa de la sección compuesta, con F_R igual a 0.85.

II.2.3.5.3 Flexocompresión

El diseño de miembros compuestos flexocomprimidos se efectuará con las ecuaciones 3.51 y 3.56, en las que se harán las modificaciones siguientes:

M_m, M_{px} y M_{py} resistencias nominales en flexión determinadas suponiendo que la sección transversal compuesta está completamente plastificada, excepto en el caso que se indica abajo;

$P_E = A_t \pi^2 E_m / (KL/r)^2$ carga crítica nominal de pandeo elástico;

R_C resistencia nominal bajo fuerza axial, calculada como se indica en la sección *3.6.1.2* de las *NTC-RCDF-2004*;

F_R factor de resistencia; en flexión se tomarán los valores dados en la sección *3.6.2.3* de las *NTC-RCDF-2004*; en compresión, F_R se toma igual a 0.85; y

λ parámetro de esbeltez de la columna definido en la sección *3.2.2* de las *NTC-RCDF-2004*, calculado teniendo en cuenta las secciones *3.6.1.1* y *3.6.1.2* de las *NTC-RCDF-2004*.

Cuando el primer término de la ecuación 3.56, que corresponde a la fuerza axial, es menor que 0.3, la resistencia nominal en flexión M_m, M_{px} o M_{py}, se determina por interpolación lineal entre los valores que corresponden a la plastificación completa de la sección transversal compuesta, con $P_u / F_R R_C = 0.3$, y los calculados de acuerdo con la sección *3.6.2* de las *NTC-RCDF-2004*, para $P_u = 0$.

Si se emplean conectores de cortante cuando $P_u = 0$, deben colocarse siempre que $P_u / F_R R_C$ sea menor que 0.3.

II.2.3.5.4 Conectores de cortante

II.2.3.5.4.1 Fuerza cortante horizontal

Cuando el concreto trabaja en compresión producida por flexión, la fuerza cortante horizontal que debe ser resistida entre el punto de momento positivo máximo y el punto donde el momento es nulo se toma igual al menor de los valores siguientes:

a) $0.85 f_c' A_C$

b) $A_s F_y$

c) ΣQ_n

donde:

f_c' resistencia especificada del concreto en compresión;
A_c área efectiva de la losa de concreto;
A_s área de la sección transversal del perfil de acero;
F_y esfuerzo de fluencia especificado del acero del perfil; y
ΣQ_n suma de las resistencias nominales de los conectores de cortante colocados entre los puntos de momento máximo positivo y de momento nulo. Este valor es aplicable sólo a vigas que trabajan en construcción compuesta parcial.

En vigas continuas compuestas en las que el acero de refuerzo longitudinal de las zonas de momento negativo trabaja junto con el perfil de acero, la fuerza cortante horizontal que debe ser resistida entre los puntos de momento negativo máximo y de momento nulo se toma igual al menor de los valores:

a) $A_r F_{yr}$

b) ΣQ_n

donde:

A_r área de las barras de refuerzo longitudinal, colocadas en el ancho efectivo de la losa, que satisfagan los requisitos de anclaje contenidos en las NTC- Concreto;
F_{yr} esfuerzo de fluencia mínimo especificado de las barras de refuerzo longitudinal; y
ΣQ_n se ha definido arriba. Este valor es aplicable sólo a vigas que trabajan en construcción compuesta parcial.

II.2.3.5.4.2 Resistencia de conectores de barra de acero con cabeza

La resistencia nominal[1] de un conector de barra de acero con cabeza, ahogado en una losa maciza de concreto, es:

$$Q_n = 0.5 A_{sc} \sqrt{f_c^* E_c} \leq A_{sc} F_u \qquad (3.80)$$

donde:

A_{sc} área de la sección transversal del vástago del conector;
f_c^* resistencia nominal del concreto en compresión = $0.8 f_c'$;
F_u esfuerzo mínimo especificado de ruptura en tensión del acero del conector (F_u = 414 MPa; 4 220 kg/cm², para los conectores que se usan generalmente; ver sección *1.3.4* de las *NTC-RCDF-2004*); y
E_c módulo de elasticidad del concreto, que puede calcularse como se indica en la sección *3.6.1.2* de las *NTC-RCDF-2004*.

Cuando los conectores están ahogados en una losa de concreto colada sobre una lámina de acero acanalada, la resistencia calculada con la ecuación 3.80 se reduce multiplicándola por el que sea aplicable de los factores dados por las ecuaciones 3.78 y 3.79. Los factores de reducción se aplican sólo al término $0.5 A_{sc} \sqrt{f_c^* E_c}$ de la ecuación 3.80.

II.2.3.5.4.3 Resistencia de conectores de canal

La resistencia nominal de una canal embebida en una losa maciza de concreto, utilizada como conector de cortante, es:

$$Q_n = 0.3\,(t_p + 0.5t_a)\,L_c\sqrt{f_c^* E_c} \qquad (3.81)$$

donde:

t_p grueso del patín;
t_a grueso del alma; y
L_c longitud de la canal.

La resistencia de la soldadura que une los conectores con el patín de la viga será, cuando menos, igual a la resistencia del conector.

II.2.3.5.4.4 Número de conectores

El número de conectores de cortante que se colocarán entre la sección de momento máximo, positivo o negativo, y la sección adyacente de momento nulo, será igual a la fuerza cortante horizontal calculada de acuerdo con la sección *3.6.5.2* de las *NTC-RCDF-2004* dividida entre la resistencia nominal de cada conector, determinada como se indica en la sección *3.6.5.3* ó *3.6.5.4* de las *NTC-RCDF-2004*, o en los incisos 3.6.2.4.b y 3.6.2.4.c.

Cuando el elemento de acero es una armadura o larguero, deben colocarse los conectores de cortante necesarios para obtener un trabajo en construcción compuesta completa, de acuerdo con la ecuación

$$\Sigma Q_n = N\,Q_n = 1.3A_{ci}\,F_y \qquad (3.82)$$

donde:

N número de conectores colocados entre el punto de momento máximo y el punto más cercano de momento nulo;
Q_n resistencia al corte de un conector; y
A_{ci} área de la sección transversal de la cuerda inferior de la armadura o larguero.

II.2.3.5.4.5 Colocación y espaciamiento de los conectores

Los conectores de cortante que se necesitan a cada lado del punto de momento flexionante máximo, positivo o negativo, $M_{máx}$, pueden distribuirse uniformemente entre ese punto y el punto adyacente de momento nulo, con la salvedad de que el número de conectores requeridos entre cualquier carga concentrada aplicada en esa zona y el punto más cercano de momento nulo no será menor que el calculado con la expresión

$$N\left(\frac{M - M_r}{M_{máx} - M_r}\right) \qquad (3.83)$$

donde:

M momento flexionante de diseño en el punto de aplicación de la carga concentrada;
M_r momento resistente de diseño de la sección de acero; y
N se ha definido arriba.

Los conectores colocados en losas macizas de concreto deben tener, como mínimo, 25 mm de recubrimiento lateral de concreto. El diámetro del vástago de los conectores de barra con cabeza no excederá de 2.5 veces el grueso de la parte a la que se suelden, excepto en los casos en que se coloquen en el patín de una sección I o H, exactamente sobre el alma.

Cuando el elemento de acero es una armadura o larguero, el cociente τ del diámetro del conector entre el grueso del material al que se suelda no debe ser mayor de 4.0. Si $4.0 \geq \tau > 2.5$, la resistencia del conector se multiplica por un factor de reducción $R_f = 2.67 - 0.67\tau \leq 1.0$.

La separación mínima centro a centro de los conectores de barra con cabeza será de seis diámetros a lo largo del eje longitudinal de la viga de apoyo y de cuatro diámetros en la dirección perpendicular a ese eje, pero cuando se coloquen en costillas de láminas acanaladas perpendiculares a la viga, esas separaciones serán de cuatro diámetros en cualquier dirección. La separación máxima entre centros de conectores de cortante no excederá de ocho veces el grueso total de la losa, ni de 900 mm. En losas coladas sobre una lámina acanalada, en el grueso total se incluye el peralte de las nervaduras.

II.2.3.5.5 Refuerzo de la losa

Las losas deben reforzarse adecuadamente para soportar todas las cargas y para controlar tanto las grietas normales al eje de la viga compuesta como las longitudinales sobre el elemento de acero.

b) Losas sobre lámina acanalada

Cuando las nervaduras son paralelas al eje de la viga, el área del refuerzo transversal no será menor que 0.002 veces el área de concreto sobre la lámina; se colocará uniformemente distribuido.

Cuando las nervaduras son perpendiculares al eje de la viga, el área del refuerzo transversal no será menor que 0.001 veces el área de concreto sobre la lámina; se colocará uniformemente distribuido.

II.2.3.5.6 Propiedades elásticas aproximadas de vigas en construcción compuesta parcial

En el cálculo de esfuerzos y deformaciones en régimen elástico de vigas de alma llena en construcción compuesta parcial deben incluirse los efectos del deslizamiento entre la losa y el perfil de acero.

El momento de inercia efectivo I_{ef} de una viga parcialmente compuesta, con la losa de concreto apoyada y conectada directamente al perfil de acero, o colada sobre una lámina acanalada y conectada a la viga a través de ella, se calcula aproximadamente con la ecuación

$$I_{ef} = I_a + \sqrt{(\Sigma Q_n / C_f)}\ (I_{tr} - I_a) \qquad (3.84)$$

donde:

I_a momento de inercia de la sección de acero;
I_{tr} momento de inercia de la sección compuesta transformada no agrietada completa;
ΣQ_n suma de resistencia de todos los conectores de cortante colocados entre los puntos de momento máximo y momento nulo; y
C_f fuerza de compresión en la losa de concreto correspondiente a trabajo compuesto completo, o sea el menor de los valores $0.85 f_c' A_c$ y $A_s F_y$ (sección *3.6.5.2* de las *NTC-RCDF-2004*).

El módulo de sección efectivo S_{ef}, referido al patín de tensión de la viga en construcción compuesta parcial, con o sin lámina acanalada, es aproximadamente igual a

$$S_{ef} = S_a + \sqrt{(\Sigma Q_n / C_f)}\ (S_{tr} - S_a) \qquad (3.85)$$

donde S_a y S_{tr} son los módulos de sección del perfil de acero estructural y de la sección compuesta no agrietada transformada, ambos referidos al patín en tensión de la sección de acero.

Las fórmulas anteriores no son aplicables cuando la relación $\Sigma Q_n / C_f$ es menor que 0.25; la relación mencionada no debe ser menor que ese límite, pues en caso contrario pueden presentarse deslizamientos excesivos, acompañados por disminuciones importantes de la rigidez de la viga compuesta.

II.2.3.5.7 Deflexiones

II.2.3.5.7.1 Vigas de acero de alma llena

$$\Delta_s = \frac{\varepsilon_f A_c L^2 y}{8 n I_{tr}} \qquad (3.86)$$

donde:

ε_f deformación unitaria del concreto producida por la contracción libre (varía entre 400×10^{-6} y $1{,}100\times10^{-6}$, con un promedio de alrededor de 800×10^{-6});
A_c área efectiva de la losa de concreto;
L claro de la viga;
n relación modular, E/E_c;
y distancia del centroide del área efectiva de la losa de concreto al eje neutro elástico de la sección compuesta; y
I_{tr} momento de inercia de la sección compuesta transformada no agrietada.

II.2.3.5.7.2 Armaduras y largueros de alma abierta

a) Por carga viva. Las deflexiones por carga viva de las armaduras compuestas pueden determinarse utilizando el momento de inercia efectivo

$$I_{ef} = I_a' + 0.77(I_t' - I_a') \qquad (3.87)$$

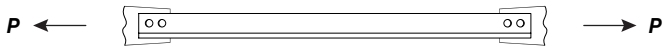
con lo que se tiene en cuenta la flexibilidad de los conectores y el deslizamiento entre el concreto y el acero.

I_a' e I_t' son los momentos de inercia de la armadura de acero y de la armadura compuesta, basados en el área de las cuerdas de la armadura y en la sección transformada de concreto, divididos entre 1.10, para incluir el efecto de la flexibilidad de los elementos del alma de la armadura.

Definición
Son secciones laminadas o formadas por placas, o barras (redondas, cuadradas o planas), de eje longitudinal recto y sección transversal constante (miembros prismáticos), sujetos a cargas que actúan a lo largo de sus ejes centroidales, que producen en cualquier sección, perpendicular a su eje longitudinal fuerzas axiales de tensión.

Un miembro sometido a tensión representa el elemento más simple de un arreglo estructural, por lo que su diseño es muy sencillo pues no involucra problemas de pandeo o inestabilidad. La magnitud del esfuerzo de tensión en cualquier sección es uniforme y en miembros perfectos no hay flexión, cortante ni torsión.

Son elementos muy eficientes, de tal manera que sería ideal tener en una estructura de acero muchos miembros sometidos a tensión. Esto es lo que ha favorecido la práctica actual de emplear cubiertas colgantes cuya característica es salvar grandes claros en forma económica.

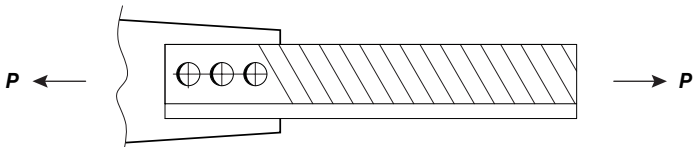


Ángulo en tensión.

Modos de falla y estados limite de miembros en tensión
Los estados límite que deberán investigarse son los siguientes:

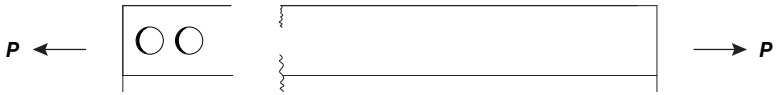
1. Flujo plástico en el área total
2. Fractura en la sección neta
3. Ruptura por cortante y tensión combinadas (block shear)

1. Flujo plástico en el área total
En este modo de falla, se presenta la fluencia en el área total, el material se plastifica y la falla es por deformación permanente.



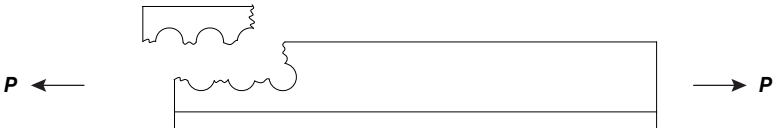
Flujo plástico en la sección total.
(Yield of gross section)

2. Fractura en la sección neta
El miembro falla en una trayectoria normal a la fuerza de tensión que atraviesa los agujeros para tornillos.



Fractura en la sección neta.
(Fracture of Net Section)

3. Ruptura por cortante y tensión combinadas
El miembro en tensión falla por arrancamiento o desprendimiento de material en la conexión atornillada extrema. La ruptura ocurre en dos superficies de falla como se muestra en la figura: superficie de falla por tensión y por cortante.



Ruptura por cortante y tensión combinadas.
(Block shear rupture)

Especificaciones AISC 2005

Referencias
- Capítulo *D*. Miembros en tensión
- Capítulo *D*. Sección *D3*
  (Reglas para calcular el área total, área neta y el área neta efectiva).
- Capítulo *J* Sección *J4.3*
  (Reglas para revisar el estado límite de ruptura por cortante y tensión combinadas (*"Block shear strenght"*).

Las Especificaciones *2005* definen la resistencia de diseño con base a dos posibles estados límites: *flujo plástico en la sección total y fractura en el área neta efectiva*. En el método *LRFD* se define la resistencia de diseño multiplicando la resistencia nominal por un factor, normalmente de reducción de la resistencia de tensión (ϕ_t). En el método *ASD* se define la resistencia admisible en tensión dividiendo la resistencia nominal entre un factor de seguridad Ω_t. Las resistencias correspondientes están dadas por las ecuaciones *(D2-1)* y *(D2-2)* de las especificaciones *AISC-2005*.

Estado límite flujo plástico en la sección total

$$P_n = F_y A_g$$

$\phi_t = 0.90$ *(LRFD)* $\Omega_t = 1.67$ *(ASD)*

Estado Límite fractura sección neta

$$P_n = F_u A_e$$

$\Omega_t = 0.75$ *(LRFD)* $\Omega_t = 2.00$ *(ASD)*

En ambos métodos, la resistencia del elemento es el menor valor obtenido al considerar los dos estados límites.

Se puede comprobar que el formato de resistencias permisibles es absolutamente coherente con el formato anterior de diseño basado en esfuerzos permisibles. En efecto, al asociar el factor de seguridad Ω_t con el término de resistencia en las ecuaciones anteriores, resulta para el estado límite de flujo plástico en la sección total, el esfuerzo permisible $F_t = F_y/\Omega_t = 0.6\ F_y$, lo cual resulta en una resistencia admisible a tensión $P_a = 0.6\ F_y A_g$. Para el estado límite de fractura en la sección neta el esfuerzo permisible que debe aplicarse es $F_t = F_u/\Omega_t = 0.5\ F_u$, lo cual resulta en la siguiente resistencia admisible a tensión $P_a = 0.5\ F_u A_e$. Estas disposiciones corresponden a las mismas que están en las especificaciones *AISC- ASD 1989*. Las resistencias nominales son las mismas de las especificaciones *LRFD 1999*.

Determinación del área neta efectiva

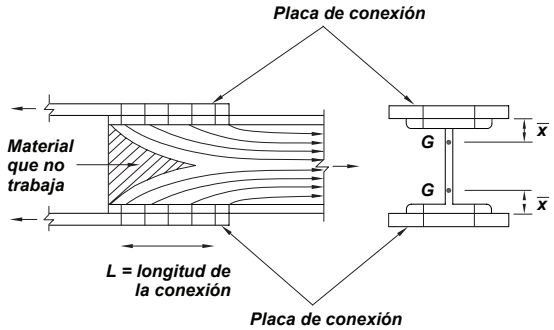
Sección D3, especificaciones AISC-LRFD-2005

$$A_e = A_n\ U \qquad \text{(D3-1)}$$

donde:

A_e área neta efectiva, en cm²
A_n área neta, en cm²
U coeficiente de reducción del área que toma en cuenta el *"rezago por cortante" "shear lag"* ($U \leq 1.0$).

Rezago por cortante *("shear lag")*



Distribución de esfuerzos en un perfil IPR o W conectado por los patines.

El perfil *IPR*, o *W* está conectado al resto de la estructura a través de los patines.

En el área neta crítica del perfil (zona donde puede ocurrir la fractura del área neta), una porción del alma no es efectiva para soportar esfuerzos.

Los esfuerzos se transmiten en la sección a través de los patines y posteriormente se

transmiten gradualmente al alma del perfil. Sin embargo, en la sección neta crítica, los esfuerzos todavía no se extienden totalmente en el alma. Esta distribución no uniforme de esfuerzos puede ocasionar una disminución en la eficiencia de la sección neta, ya que algunas partes que componen el elemento (las conectadas directamente) tienden a alcanzar su resistencia última antes de que se desarrolle la de la sección completa.

Como una porción de la sección transversal no es efectiva para soportar esfuerzos, debe deducirse cierta área. El factor *"U"* toma en cuenta esta reducción de área.

La importancia de este fenómeno depende de la geometría de la conexión y de las características del material.

Cálculo de *"U"*

- Si la fuerza de tensión se transmite por medio de tornillos o soldaduras directamente a todos los elementos de la sección transversal:

$$U = 1.0$$

Si la fuerza de tensión se transmite por medio de tornillos o soldaduras directamente a uno o a más elementos de la sección transversal

$$U = 1 - \bar{x}/l \leq 0.9$$

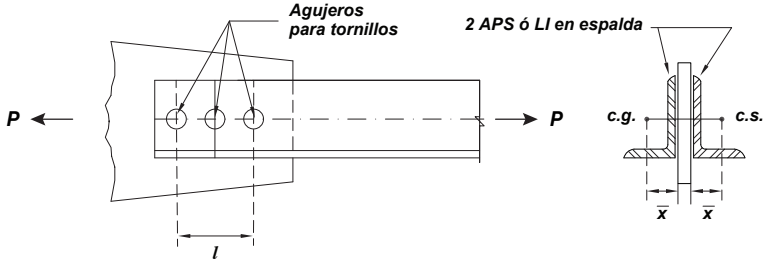
donde:

$\bar{x}$ distancia de la cara de la placa de conexión al centro de gravedad de la parte de la sección transversal tributaria a la placa de conexión (excentricidad de la conexión), en cm.

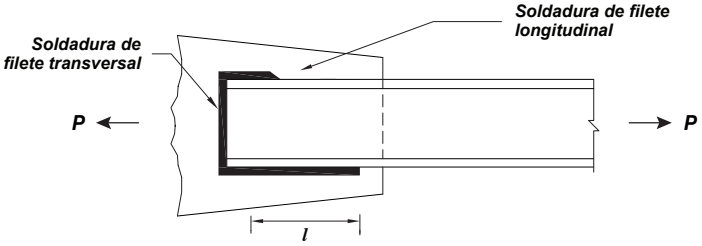
l longitud de la junta, en cm. Distancia del primer al último tornillo en dirección de la carga, o distancia a lo largo de la porción soldada de la conexión en dirección de la carga, cm

Ejemplos de $\bar{x}$ y l

A continuación, para ilustrar la excentricidad $\bar{x}$ y longitud de la junta, L se presentan varias conexiones típicas de miembros estructurales en tensión, formados por dos ángulos de lados iguales en espalda, dos canales en espalda y un perfil laminado IR o, W. La eficiencia aumenta cuando disminuye la excentricidad $\bar{x}$ o crece la longitud de la conexión l.

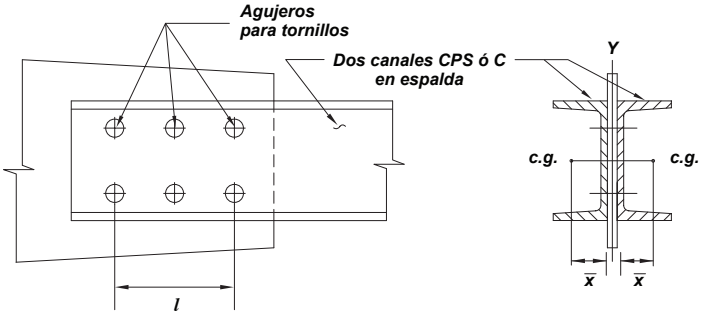


Conexión atornillada.

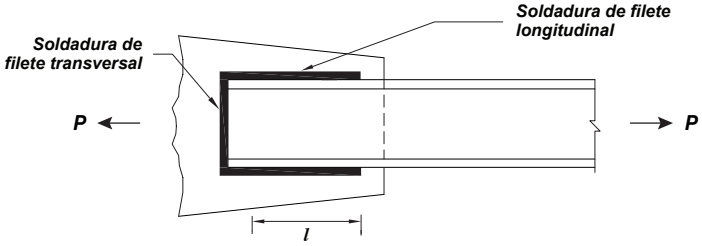


Conexión soldada

Dos canales.

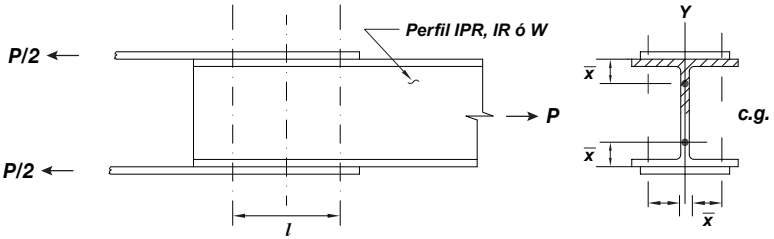


Conexión atornillada.

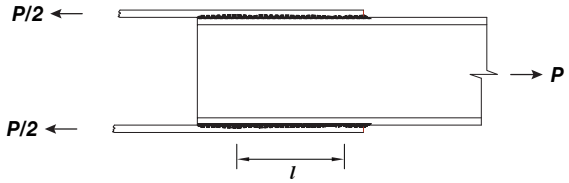


Conexión soldada

Dos canales CPS ó CE en espalda.



Conexión atornillada.



Conexión soldada

Perfil laminado IPR, IR ó W.

Para conexiones atornilladas o soldadas podrán usarse los siguientes valores de U

a) Perfiles laminados *W, M, S o HP (IR o IE)* con patines de ancho no menor que dos terceras partes del peralte y tés estructurales obtenidas de estas secciones, siempre que la conexión sea a los patines y que no tengan menos de tres sujetadores por línea en la dirección de los esfuerzos.

$U = 0.90$

Perfiles *W ó S (IR o IE)* que no cumplan las condiciones del párrafo anterior, Tés estructurales cortadas de los mismos, y cualquier otro perfil, incluyendo los miembros armados, siempre que la conexión no tenga menos de tres sujetadores por línea en la dirección de los esfuerzos.

$U = 0.85$

c) Todos los miembros cuyas conexiones tengan únicamente dos sujetadores por línea en la dirección de los esfuerzos.

$U = 0.75$

Ángulos solos con 4 o más conectores en cada línea en la dirección de los esfuerzos.

$U = 0.75$

Ángulos solos con 2 o 3 conectores en cada línea en la dirección de los esfuerzos.

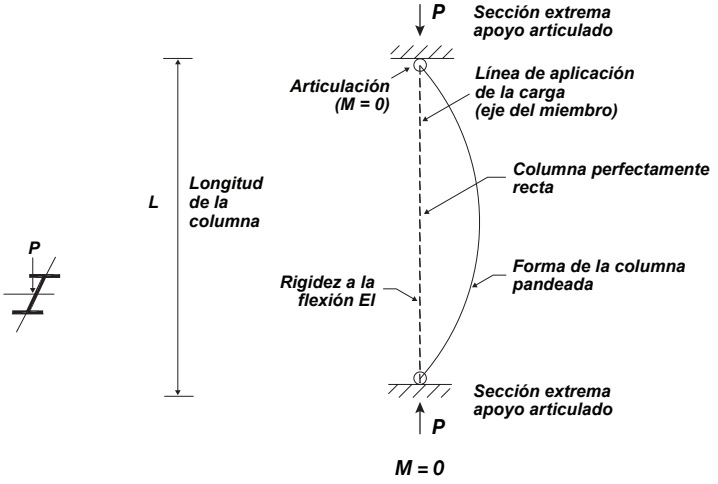
$U = 0.60$

Para otros valores de *"U"*, véase la tabla *D3.1* de las especificaciones *AISC-LRFD-2005*.

Definición
Pieza recta en la que actúa una fuerza axial que produce compresión pura.

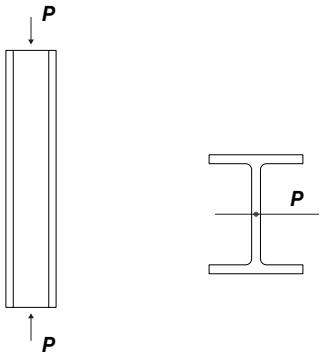
La columna aislada no está sometida a momentos flexionantes alrededor de sus ejes principales y centroidales, excepto los debidos a pequeñas excentricidades en la carga o imperfecciones geométricas en el perfil utilizado como columna. Para que un miembro trabaje en compresión pura, se requiere:

- Ser perfectamente recto
- Las fuerzas que obran en la columna deben estar aplicadas en los centros de gravedad de las secciones extremas
- Las líneas de acción de las carga de compresión axial deben coincidir con el eje del miembro.



Condiciones generales de una columna aislada.

Como se mencionó anteriormente, no hay flexión de ningún tipo. Las columnas reales de marcos rígidos nunca están aisladas y su comportamiento estructural depende del de la estructura en conjunto. Tampoco las columnas están sometidas a compresión pura. Sin embargo, la columna aislada cargada axialmente constituye la base del diseño de estructuras modernas.

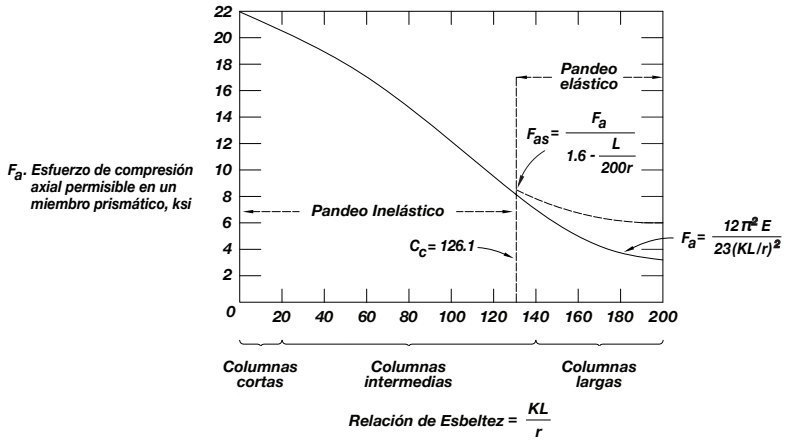


Columna aislada.

Las excentricidades en la aplicación de las cargas y los inevitables defectos geométricos, no se incluyen de manera explícita en el diseño, sino se toman en cuenta en los factores de seguridad asociados a ellas.

Tipos de columnas

- Columnas cortas
- Columnas Intermedias
- Columnas largas



Esfuerzo de compresión axial permisible para acero NOM-B-254 (ASTM A36), F_y= 2 530 kg/cm² en función del tipo de columna

Tipos de columnas de acuerdo con su relación de esbeltez.

Columnas cortas
Resisten la fuerza que ocasiona su plastificación completa $P_y = A_t F_y$. Su capacidad de carga no es afectada por ninguna forma de inestabilidad; la resistencia máxima depende solamente del área total, de sus secciones transversales y del esfuerzo de fluencia del acero F_y. Su falla es por aplastamiento.

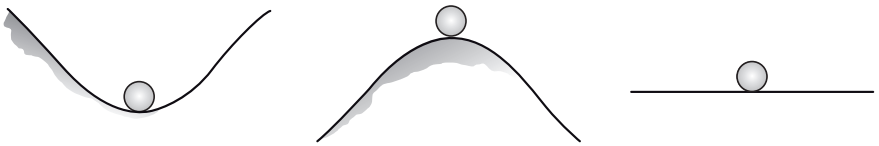
Columnas intermedias
Son las más comunes en estructuras y su falla es por inestabilidad inelástica, pero su rigidez es suficiente para posponer la iniciación del fenómeno hasta que parte del material está plastificado. Su resistencia depende tanto de la rigidez del miembro, esfuerzo de fluencia, forma y dimensiones de sus secciones transversales y distribución de los esfuerzos residuales.

Columnas largas
Las columnas largas se pandean en el intervalo elástico; el fenómeno inicia bajo esfuerzos menores que el límite de proporcionalidad, y la carga crítica es menor que la fuerza P_y. Si la columna es demasiado larga, la carga crítica de pandeo puede ser una fracción reducida de la fuerza que ocasionaría su plastificación total.

Tipos de equilibrio
El equilibrio se define como un estado de balance entre todas las cargas que actúan en una estructura o parte de ella. Las condiciones de equilibrio pueden clasificarse en tres formas: estable, inestable e indiferente.

Se reconoce el tipo de equilibrio a que está sometido un cuerpo aplicándole una fuerza de poca intensidad, retirándola posteriormente y observando la nueva posición de equilibrio del cuerpo. Si la nueva posición de equilibrio es la misma que la inicial, se dice que el cuerpo está en equilibrio estable; si la nueva posición de equilibrio está muy lejos de la inicial, se dice que el cuerpo está en equilibrio inestable, y si la distancia entre la nueva posición de equilibrio del cuerpo y la inicial es proporcional a la intensidad de la fuerza aplicada, se dice que el cuerpo está en situación de equilibrio indiferente.

Las estructuras requieren una situación de equilibrio estable, distinguiéndose las estructuras isostáticas y las hiperestáticas.

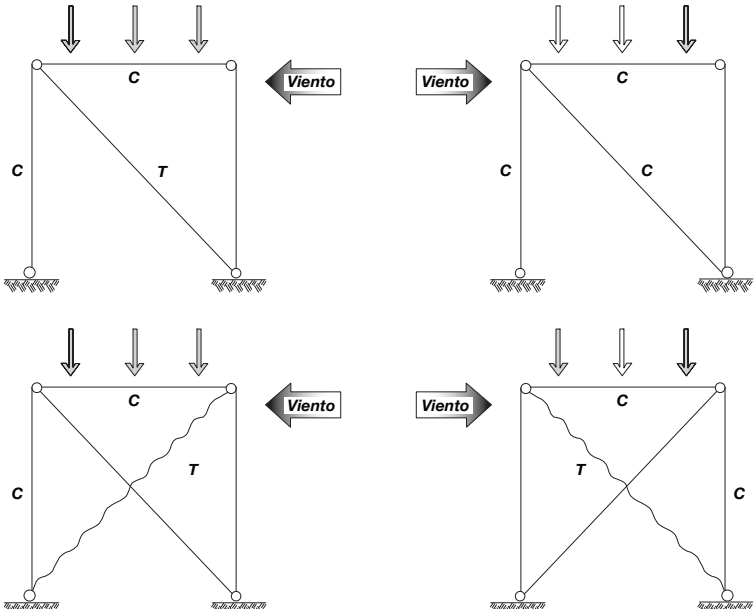


Tipos de equilibrio.

Usos de miembros en compresión
Los miembros en compresión se utilizan en bodegas y estructuras industriales como parte del contraventeo de las trabes, vigas y columnas de cubierta y las paredes con el doble objeto de dar soporte lateral a secciones transversales seleccionadas y de soportar las fuerzas producidas por viento o sismo.

Marcos contraventeados
En estructuras de acero para edificios urbanos se emplean también´, con mucha frecuencia, contraventeos verticales, para evitar posibles problemas de pandeo de entrepiso o de la estructura completa, y para resistir fuerzas horizontales (sismo o viento principalmente).

Si el edificio tiene cierta altura y, sobre todo, si está ubicado en una zona de alta sismicidad, no conviene que solo trabajen las diagonales que están en tensión, por lo que, si el contraventeo es de *X* o en *V*, los dos elementos que lo componen se diseñan para que resistan, entre los dos, la fuerza horizontal. Es decir, trabajan en tensión y compresión alternadas.

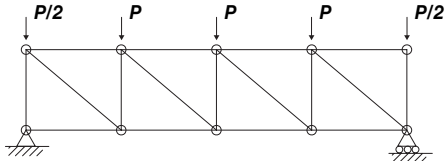


Forma de trabajo de un contraventeo.

En estas condiciones las diagonales resultan bastante robustas, y su diseño queda regido por la fuerza de compresión. Lo mismo ocurre cuando se utilizan diagonales sencillas.

Armaduras

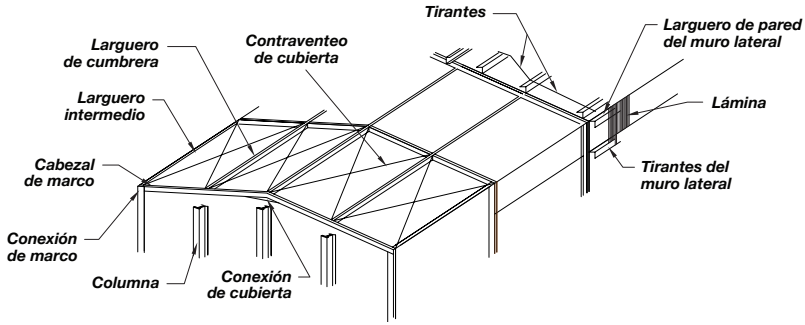
Las barras en compresión se utilizan también en cuerdas superiores, diagonales y montantes de armaduras o vigas de alma abierta de sistemas de piso en edificios urbanos, puentes techos de bodegas y fábricas. En armaduras ligeras es común el empleo de ángulos de lados iguales *APS*, generalmente en pares, pero en estructuras robustas se utilizan barras de cualquier sección transversal.



Armadura típica.

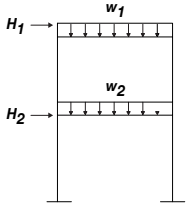
Edificios industriales y bodegas

Puntales de contraventeo de techos y bodegas.



Edificio industrial convencional.

Marcos rígidos sin contraventeo



Marco rígido simple.

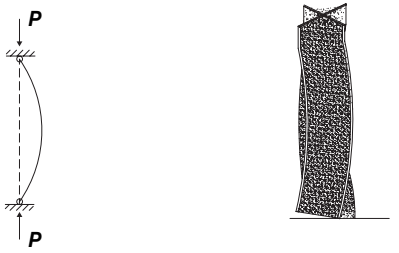
Algunas columnas de edificios se diseñan para soportar solamente carga vertical, son menos rígidas que el resto de las columnas y están ligadas la estructura mediante conexiones que no transmiten momento flexionante.

Otros ejemplos de miembros en compresión, son las estructuras especiales, que se diseñan con especificaciones diferentes a las de estructuras para edificios convencionales.

- Plumas de grúas
- Torres atirantadas para transmisión de energía eléctrica
- Torres de transmisión autosoportadas

Estados límite de interés
El principal estado límite de resistencia de un miembro en compresión es el pandeo (que puede ocasionar problemas de inestabilidad).

El pandeo puede ser por *flexión* o por *flexotorsión*.



Pandeo por flexión ***Pandeo por flexotorsión***

Tipos de pandeo.

Definición de pandeo
Pérdida repentina y total de rigidez de un miembro, de una parte de una estructura o de una estructura completa, que acompaña el paso del equilibrio estable al inestable; se caracteriza por la pérdida de capacidad de carga para soportar compresión y la aparición de grandes deformaciones, de naturaleza diferente de las que existían antes de que se iniciase el fenómeno, que resulta en un cambio en la geometría del miembro.

El problema de pandeo es un problema de estabilidad y no de resistencia.

Se analizará a continuación el caso de columnas sometidas a carga axial de compresión, en las que el pandeo es la condición que define su comportamiento.

El estudio del pandeo data de hace muchos años pero fue hasta el siglo *XVIII* cuando *Euler* finalmente obtuvo la solución al problema.

El fenómeno de pandeo está asociado con elementos esbeltos, los que al estar sometidos a una carga de compresión, fallan por inestabilidad cuando la carga alcanza un

determinado valor crítico. A esta carga se le denomina *carga de Euler* o *carga crítica*. La deducción de la *carga de Euler* es relativamente sencilla y se basa en la condición de equilibrio que existe en una columna recta sometida a carga axial de compresión.

$M_E = P_y$ Momento exterior

$EI \dfrac{d^2y}{dx^2} + P_y = 0$ Momento interior

EI módulo de elasticidad y momento de inercia de la sección en la dirección en que se considera la deformación.

$M_E = M_I$

$P_y = -EI \dfrac{d^2y}{dx^2}$

$EI \dfrac{d^2y}{dx^2} + P_y = 0$

La solución de la ecuación diferencial anterior conduce a la carga crítica

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{l^2}$$

ó bien

$$\frac{P_{cr}}{A} = F_{cr} = \frac{\pi^2 E}{(l/r)^2} \qquad \text{(Esfuerzo crítico)}$$

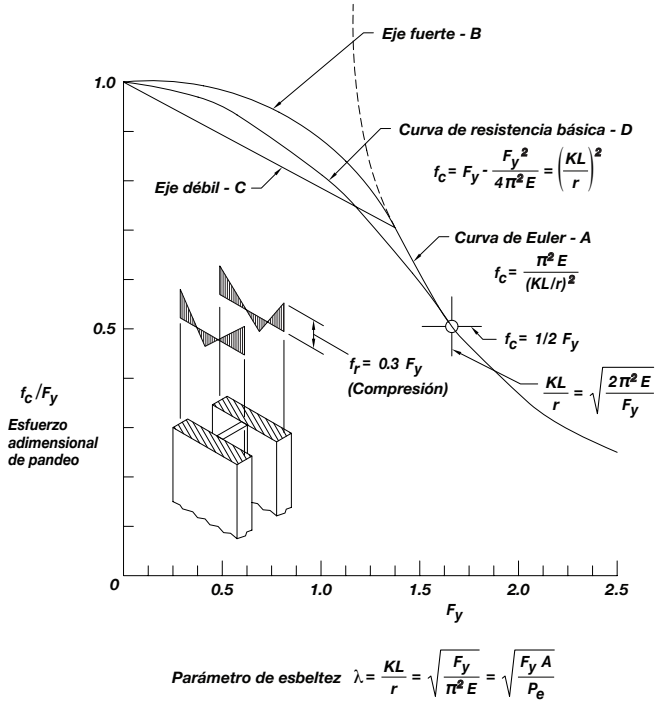
donde:

A área de la sección transversal
r radio de giro de la sección transversal ($r = \sqrt{I/A}$)

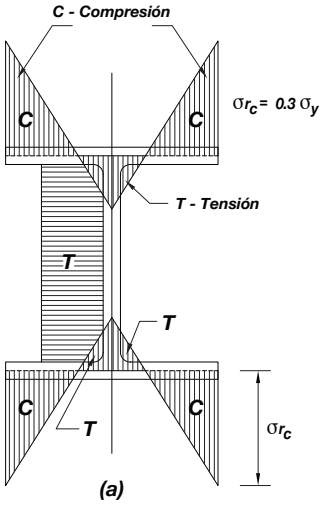
La validez de la fórmula de *Euler* exige las siguientes hipótesis:

1) El material es elástico y en ningún caso se excede el esfuerzo correspondiente al límite de proporcionalidad.
2) El módulo de elasticidad del material es el mismo a tensión y a compresión.
3) El material es isotropo y homogéneo.
4) El miembro es perfectamente recto inicialmente y la carga se aplica concéntricamente con el eje.
5) Los extremos del miembro son articulaciones perfectas, sin fricción y no está restringido al acotamiento.
6) No existe torcimiento o albeo en la sección ni pandeo local.
7) El miembro se encuentra libre de esfuerzos residuales.
8) Se considera que las deformaciones son suficientemente pequeñas, con lo que la expresión aproximada para definir la curvatura del eje deformado de la columna es adecuada.

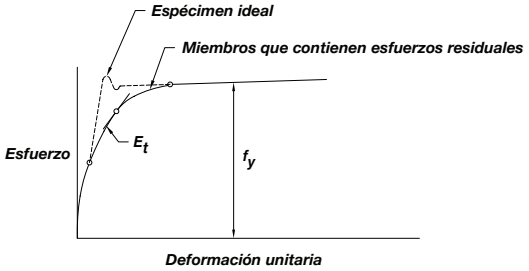
La expresión gráfica de la *fórmula de Euler* se muestra en la siguiente figura. De esta curva se infiere que una columna con relación de esbeltez igual a cero tendría una carga crítica infinita, sin embargo en la realidad las columnas que se ven afectadas por diversos factores que invalidan algunas de la hipótesis planeadas. Quizá el aspecto más importante se refiere a la presencia de esfuerzos residuales en los perfiles de acero, provocados por el procedimiento de fabricación y enfriamiento. Estos esfuerzos pueden ser de tensión o de compresión y llegan a alcanzar valores cercanos al *50%* del esfuerzo de fluencia del material ocasionando una modificación a la curva esfuerzo deformación del acero, es decir reduciendo el límite de proporcionalidad entre esfuerzos y deformaciones, con lo que la curva de *Euler* tendría validez únicamente para valores de $F_{CR} \leq f_{LP}$.



Efecto de los esfuerzos residuales en la resistencia de columnas de patines anchos.



Distribución supuesta de esfuerzos residuales en perfiles laminados.

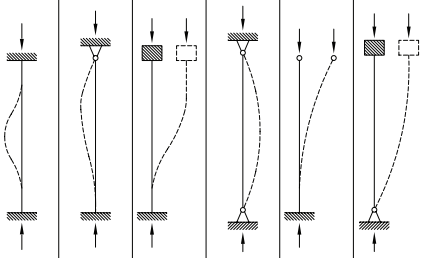
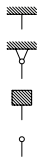


Influencia de los esfuerzos residuales en el diagrama esfuerzo deformación unitaria.

A partir de este valor, el problema de pandeo se identifica como inelástico y se ha estudiado en diversas formas, lo que da lugar a una serie de resultados que se expresan en fórmulas o curvas.

La deducción de la fórmula de *Euler* para una columna articulada en sus extremos se puede extrapolar a otras condiciones de apoyo, introduciendo un factor de corrección *(K)* a la longitud de la columna para obtener lo que se conoce como longitud efectiva de pandeo.

Algunos de los valores del factor *K* se muestran en la siguiente tabla para ciertas condiciones particulares de los apoyos. Para el caso más general se emplean nomogramas que permiten obtener el valor de *K* en función de las condiciones de restricción de los apoyos.

	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(d)
La configuración de la columna pandeada se muestra con línea punteada						
Valor teórico de K	***0.5***	***0.7***	***1.0***	***1.0***	***2.0***	***2.0***
Valor de diseño recomendado para K, cuando las condiciones reales de apoyo se aproximan a las ideales	***0.65***	***0.80***	***1.2***	***1.0***	***2.1***	***2.0***
Representación esquemática de las condiciones de apoyo		***Rotación impedida y traslación impedida***				
		Rotación libre y traslación impedida				
		Rotación impedida y traslación libre				
		Rotación libre y traslación libre				

Factores de longitud efectiva para diversas condiciones de apoyo.

Las secciones más apropiadas para resistir el pandeo, que es lo que va regir el diseño de los miembros en compresión, son aquellos que tienen el máximo radio de giro con la menor área. Desde el punto de vista, las secciones tubulares ya sean circulares o cuadradas son las más apropiadas para este fin.

En la práctica es raro encontrar una columna sometida a carga axial pura. Generalmente ésta se acompaña de flexión, por lo que las columnas normalmente se diseñan para flexocompresión.

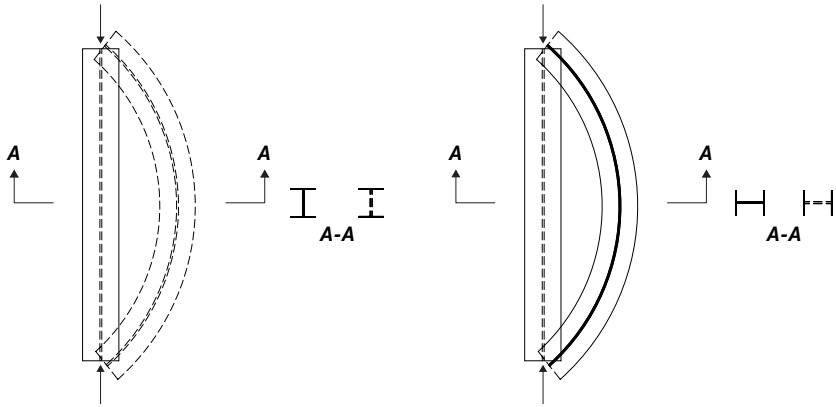
Los momentos flexionantes se generan por la continuidad que tienen las columnas cuando están ligadas con trabes o armaduras formando marco. Es usual sin embargo estudiar por separado la flexión pura y la compresión sola, para después incorporar el efecto combinado de las dos acciones por medio de fórmulas de interacción. En algunos casos la flexión se presenta alrededor de los dos ejes principales de la sección, siendo en este caso las secciones en cajón cuadradas o rectangulares las más apropiadas para este propósito aunque también se emplean las secciones *I* de patín ancho debido a que facilitan la conexión entre vigas y columnas.

Modos de pandeo

El pandeo de una columna biarticulada y sujeta a una carga de compresión axial puede ser de dos formas diferentes:

- Pandeo alrededor del eje de menor resistencia (eje débil)
- Pandeo alrededor del eje de mayor resistencia (eje fuerte)

En la figura siguiente se ilustran las dos formas de pandeo.



Pandeo alrededor del eje débil
(Eje de menor momento de inercia)

Pandeo alrededor del eje fuerte
(Eje de mayor momento de inercia)

Pandeo de una columna de sección transversal I.

Longitud efectiva
En general, para una columna con cualquier condición de apoyo en sus secciones extremas, la carga de pandeo elástico (o esfuerzo) se puede escribir como sigue:

$$P_e = \frac{\pi^2 EI}{(KL)^2} \qquad F_e = \frac{\pi^2 E}{(KL/r)^2}$$

donde:

KL Longitud efectiva, en cm
K Factor de longitud efectiva (adimensional)

La longitud efectiva (KL) de una columna aislada con extremos fijos es igual a la longitud de una columna biarticulada con la misma carga de pandeo elástico.

La longitud efectiva de una columna aislada también es igual a la distancia libre entre puntos de inflexión de la forma de la columna pandeada (deformada). De esta manera, con base en la deformada, se puede estimar su longitud efectiva.

Diseño de miembros en compresión conforme *AISC 2005*

Referencia principal:
Capítulo E, especificaciones AISC-LRFD-2005, M-AISC-2005

El dimensionamiento de los miembros en compresión consiste en comparar que la resistencia de diseño no sea menor que las acciones factorizadas *(Diseño por factores de carga y resistencia, LRFD)* o que los esfuerzos actuantes máximos no sobrepasen los permisibles indicados en las especificaciones *(Diseño de esfuerzos permisibles, ASD)*.

El diseño de secciones simétricas en compresión axial requiere algunas consideraciones del estado límite de pandeo por flexión, asociado a la carga crítica de pandeo correspondiente. En ambos métodos, las columnas, han sido diseñadas tradicionalmente tomando como límite la carga crítica de pandeo elástico o inelástico. En la Especificaciones *AISC 2005*, la resistencia nominal de un elemento en compresión está dada por:

$$P_n = F_{cr} A_g \qquad \text{(E3-1)}$$

donde

A_g área de sección transversal, en cm²
F_{cr} esfuerzo de pandeo por flexión, en kg/cm²

$$\phi_c = 0.90 \quad \textit{(LRFD)} \qquad \Omega_c = 1.67 \quad \textit{(ASD)}$$

El esfuerzo de pandeo por flexión, F_{cr} se determina como sigue:

1. Rango de comportamiento inelástico.

$$\frac{KL}{r} \leq 4.71\sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad \left(\text{o } F_e \geq 0.44\, F_y\right)$$

$$F_{cr} = \left[0.658^{\frac{F_y}{F_e}}\right] F_y \qquad \text{(E3-2)}$$

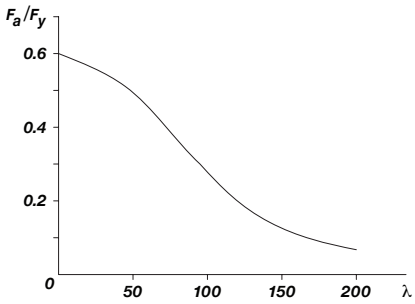
2. Rango de comportamiento elástico.

$$\frac{KL}{r} \leq 4.71\sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad \left(\text{o } F_e \geq 0.44\, F_y\right)$$

$$F_{cr} = 0.877 F_e \qquad \text{(E3-3)}$$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} \qquad \text{E3-4)}$$

Estas ecuaciones son las mismas de las Especificaciones *LRFD 1999*. Si se desea expresarlas en el formato de esfuerzos permisibles deben dividirse entre el factor de seguridad.



Relación de esfuerzos F_a/F_y en función de λ.

Las disposiciones de las Especificaciones *ASD 1989* fueron simplificadas para la comparación, reemplazando el factor de seguridad variable por un factor constante en el rango de comportamiento inelástico. El esfuerzo permisible es esencialmente el mismo en ambas normas. Un cambio ocurrido desde las disposiciones *LRFD 1999* es el aumento en el factor de resistencia ϕ_C de *0.85* a *0.90*. Este aumento del factor de reducción de resistencia reconoce los cambios ocurridos en las últimas décadas en la producción de acero, que se traducen en una menor variabilidad en las características de placas y en la calidad de los aceros estructurales laminados.

Valores de F_{cr}
Valor de la relación de esbeltez que separa el pandeo inelástico del elástico:

Para acero F_y *= 2 530 kg/cm², 250 MPa* o *36 ksi* (acero *ASTM A36* o *NOM-B-254*).

$$1.5\pi\sqrt{\frac{E}{F_y}} = 4.71\pi\sqrt{\frac{2.039 \text{ x } 10^6}{2\,530}} = 133.7$$

Para acero F_y *= 3 515 kg/cm², 345 MPa* o *50 ksi* (acero *NOM-B-282* o *ASTM A242*, *NOM-B-284* o *ASTM A572*, *Grados 50, A992, A 588* y *A913*).

$$\frac{KL}{r} = 1.5\pi\sqrt{\frac{E}{F_y}} = \frac{KL}{r} = 4.71\sqrt{\frac{2.039 \text{ x } 10^6}{3\,515}} = 113.4$$

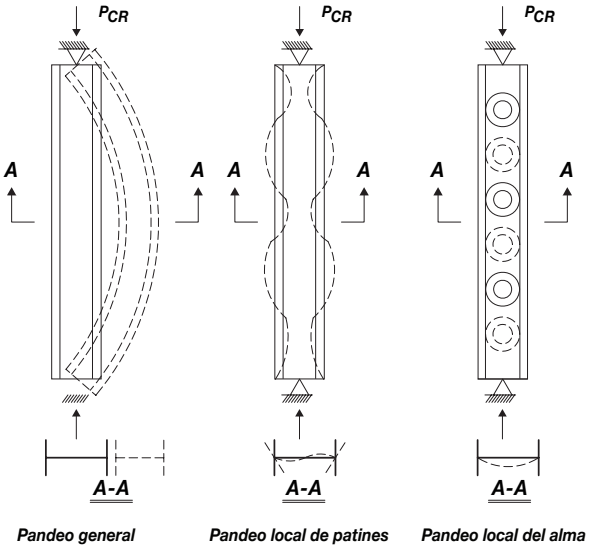
Pandeo local de columnas
Referencia:
Especificaciones *AISC-LRFD-2005*.

Clasificación de las secciones de acero para pandeo local.

Se considera que la falla de una columna ocurre por pandeo por flexión del miembro (pandeo general). Sin embargo, también es posible que la columna falle por pandeo local de los elementos planos que componen la sección transversal del miembro. Ver tabla *B4.1*, *M-AISC-2005*.

En las siguientes figuras se ilustra los modos típicos de pandeo en miembros en compresión axial:

- *Pandeo general del miembro*
- *Pandeo local de los patines*
- *Pandeo local del alma*



Diferentes formas de pandeo de columnas.

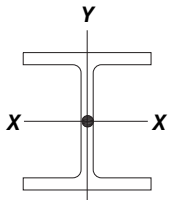
Las ecuaciones para el diseño de columnas se indican en el *Capítulo E* de las especificaciones *AISC-LRFD-2005* y se basan en el modo de falla supuesto de pandeo de miembros comprimidos axialmente. Para utilizar las ecuaciones del *Capítulo E*, primero es necesario verificar que no ocurra el pandeo local de algún elemento de la sección transversal de la columna. En algunos casos este tipo de pandeo puede regir el diseño del miembro.

Secuela de diseño de miembros en compresión según *AISC 2005*

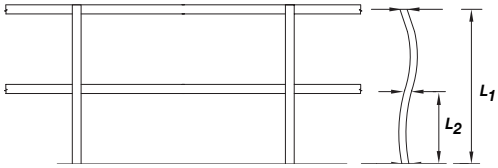
Determinación de la resistencia de diseño

Dados:

- Columna fabricada con un perfil estructural laminado *IR* ó *W*.
- Longitudes efectivas: $(KL)_x$ y $(KL)_y$.
- Esfuerzos de fluencia: F_y.



Sección laminada IPR o W con dos ejes de simetría.



Longitudes efectivas de la columna.

El esfuerzo de pandeo F_{cr} depende de la relación de esbeltez KL/r y del esfuerzo de fluencia F_y. ¿Cuál radio de giro debe utilizarse?: el mínimo, para obtener la mayor relación de esbeltez.

Nótese que F_{cr} disminuye conforme aumenta la relación de esbeltez KL/r, entonces $(KL)_{máx}$ controla el pandeo

Sí $(KL)_x = (KL)_y$, entonces $r_{mín}$ controla el pandeo.

Sí $(KL)_x \neq (KL)_y$, entonces debe determinarse $(KL)_x$ y $(KL)_y$.

La mayor relación de esbeltez rige el diseño de la columna.

Referencias de las Especificaciones *AISC-2005*

Capítulo *F*	Diseño de miembros en flexión (vigas)
Capítulo *G*	Diseño de vigas por cortante
Sección *B4*	Clasificación de las secciones de acero

Esta parte es aplicable a vigas laminadas y trabes hechas con placas soldadas, de sección transversal I o en cajón, con dos ejes de simetría, cargadas en uno de los planos de simetría, y a canales.

También es aplicable a barras de sección transversal maciza, circular, cuadrada o rectangular, estas últimas flexionadas alrededor de su eje de menor momento de inercia, y a barras de sección transversal circular hueca.

Requisitos de resistencia

- **Flexión**
  - *LRFD* $M_u \leq \phi M_n$
  - *ASD* $M_a \leq M_n/\Omega$
- **Cortante**
  - *LRFD* $V_u \leq \phi V_n$
  - *ASD* $V_a \leq V_n/\Omega$

Factor de reducción de resistencia en flexión y coeficiente de seguridad

$\phi_b = 0.90$ *(LRFD)* $\Omega_b = 1.67$ *(ASD)*

Factor de reducción de resistencia en cortante y coeficiente de seguridad

$\phi_b = 1.00$ *(LRFD)* $\Omega_b = 1.50$ *ASD)*

Estados límite

- **Flexión**

En el diseño de miembros en flexión deben considerarse los estados límite de falla siguientes:

1. Formación de un mecanismo con articulaciones plásticas
2. Agotamiento de la resistencia a la flexión en la sección crítica, en miembros que no admiten redistribución de momentos
3. Iniciación del flujo plástico en la sección crítica
4. Pandeo lateral por flexotorsión
5. Pandeo local del patín comprimido
6. Pandeo local del alma, producido por flexión

- **Cortante**

Plastificación del alma.
Pandeo del alma.

La resistencia de diseño en flexión depende de las longitudes L_b, L_p y L_r, de la forma de la sección transversal del perfil y de la dirección en que esté aplicada la carga.

Miembros de sección transversal I compactos con dos ejes de simetría y canales flexionados alrededor del eje de mayor momento de inercia.

Resistencia nominal, M_n

M_n es igual al menor valor de los estados límite siguientes

M_p *Flujo plástico.*
M_n *con base en el pandeo local de los patines.*
M_n *con base en el pandeo lateral por flexotorsión.*

1. $L_b \leq L_p$

$$M_n = M_p = F_y Z_x \qquad \text{(F2-1)}$$

2. Sí $L_p < L_b \leq L_r$

$$M_n = C_b \left[M_p - (M_p - 0.7 F_y S_x) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_p \qquad \text{(F2-2)}$$

3. $L_b > L_r$

$$M_n = F_{cr} S_x \leq M_p = Z_x F_y \qquad \text{(F2-3)}$$

$$F_{cr} = \frac{C_b \pi^2 E}{\left(\frac{L_b}{r_{ts}} \right)} \sqrt{1 + 0.078 \frac{J_c}{S_x h_o} \left(\frac{L_b}{r_{ts}} \right)^2} \qquad \text{(F2-4)}$$

L_p y L_r se calculan con las ecuaciones siguientes:

$$L_p = 1.76 r_y \sqrt{\frac{E}{F_y}} \qquad \text{(F2-5)}$$

$$L_r = 1.95 r_{ts} \frac{E}{0.75 F_y} \sqrt{\frac{J_c}{S_x h_o}} \sqrt{1 + \sqrt{1 + 6.76 \left(\frac{0.7 F_y}{E} \frac{S_x h_o}{J_c} \right)^2}} \qquad \text{(F2-6)}$$

donde:

Perfiles I $\qquad c = 1.0 \qquad$ (F2-8a)

Canales $\qquad c = \frac{h_o}{2} \sqrt{\frac{I_y}{C_w}} \qquad$ (F2-8b)

$$r_{ts}^2 = \frac{\sqrt{I_y C_w}}{S_x} \qquad \text{(F2-7)}$$

Coeficiente de flexión C_b

$$C_b = \frac{12.5 M_{máx}}{2.5 M_{máx} + 3 M_A + 4 M_B + M_C} R_m \leq 3.0 \qquad \text{(F1-1)}$$

$M_{máx}$ = valor absoluto del momento flexionante máximo en la viga, en $T\text{-}m$.

M_A, M_B y M_C = valores absolutos de los momentos flexionante en el primer cuarto, el centro y el tercer cuarto de la viga, en $T\text{-}m$.

R_m parámetro monosimétrico de la sección transversal, adimensional
R_m = 1.0 para miembros con dos ejes de simetría y para miembros con un eje de simetría que se flexionan en curvatura doble.

Miembros de sección transversal I con dos ejes de simetría con almas compactas y no compactas, o patines esbeltos flexionados alrededor del eje de mayor momento de inercia

M_n es igual al menor valor de los estados límite siguientes:

M_n Pandeo lateral por flexotorsión.
M_n Pandeo local de los patines.

$$M_n = \left[M_p - \left(M_p - 0.7 F_y S_x \right) \left(\frac{\lambda - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}} \right) \right] \qquad \text{(F3-1)}$$

$$M_n = \frac{0.9 E k_c S_x}{\lambda^2} \qquad \text{(F3-2)}$$

Miembros de sección transversal I con almas compactas y no compactas flexionados alrededor del eje de mayor momento de inercia

M_n es igual al menor valor de los estados límite siguientes:

M Flujo plástico del patín en compresión.
M_n Pandeo lateral por flexotorsión.
M_n Pandeo local del patín en compresión.
M_n Flujo plástico del patín en tensión.

$$M_n = R_{pc} M_{yc} = R_{pc} F_y S_{xc} \qquad \text{(F4-1)}$$

$$L_p < L_b \leq L_r$$

$$M_n = C_b \left[R_{pc} M_{yc} - \left(R_{pc} M_{yc} - F_L S_{xc} \right) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq R_{pc} M_{yc} \qquad \text{(F4-2)}$$

$$L_b > L_r$$

$$M_n = F_{cr}\, S_{xc} \leq R_{pc}\, M_{yc} \qquad \text{(F4-3)}$$

$$M_{yc} = F_{cr}\, S_{xc} \qquad \text{(F4-4)}$$

$$F_{cr} = \frac{C_b\, \pi^2 E}{\left(\frac{L_b}{r_t}\right)} \sqrt{1 + 0.078\, \frac{J_c}{S_{xc} h_o} \left(\frac{L_b}{r_t}\right)^2} \qquad \text{(F4-5)}$$

Si $\frac{I_{yc}}{I_y} \leq 0.23,\ J = 0$

Valores de F_L

Si $\frac{S_{xt}}{S_{xc}} \geq 0.7$

$$F_L = 0.7\, F_y \qquad \text{(F4-6a)}$$

Si $\frac{S_{xt}}{S_{xc}} < 0.7$

$$F_L = F_y\, \frac{S_{xt}}{S_{xc}} \geq 0.5\, F_y \qquad \text{(F4-6b)}$$

$$L_p = 1.1\, r_t \sqrt{\frac{E}{F_y}} \qquad \text{(F4-7)}$$

Longitud L_r para el estado límite de pandeo lateral por flexotorsión

$$L_r = 1.95\, r_t\, \frac{E}{F_L} \sqrt{\frac{J}{S_{xc} h_o}} \sqrt{1 + \sqrt{1 + 6.76 \left(\frac{F_L}{E}\, \frac{S_{xc} h_o}{J}\right)^2}} \qquad \text{(F4-8)}$$

El factor R_{pc} está dado por la siguiente ecuación:

$$R_{pc} = \frac{M_p}{M_{yc}} \qquad \text{Si } \frac{h_c}{t_w} \leq \lambda_{pw} \qquad \text{(F4-9a)}$$

$$R_{pc} = \left[\frac{M_p}{M_{yc}} - \left(\frac{M_p}{M_{yc}} - 1\right)\left(\frac{\lambda - \lambda_{pw}}{\lambda_{rw} - \lambda_{pw}}\right)\right] \leq \frac{M_p}{M_{yc}} \qquad \text{Si } \frac{h_c}{t_w} > \lambda_{pw} \qquad \text{(F4-9a)}$$

Perfiles *I*

$$r_t = \frac{b_{fc}}{\sqrt{12\left(\frac{h_o}{d} + \frac{1}{6}\, a_w \frac{h^2}{h_o d}\right)}} \qquad \text{(F4-10)}$$

$$a_w = \frac{h_c\, t_w}{b_{fc}\, t_{fc}} \qquad \text{(F4-11)}$$

Pandeo local del patín en compresión
Para secciones con patines no compactos

$$M_n = \left[R_{pc}\, M_{yc} - \left(R_{pc}\, M_{yc} - F_L\, S_{xc}\right)\left(\frac{\lambda - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}}\right)\right] \qquad \text{(F4-12)}$$

Para secciones con patines esbeltos

$$k_v = 4.0 + \frac{5.34}{(a/h)^2} \qquad \text{(F4-13)}$$

Flujo plástico del patín en tensión

$$M_n = R_{pt}\, M_{yt} \qquad \text{(F4-14)}$$
$$M_{yt} = F_y\, S_{xt}$$

Factor de plastificación del alma

$$R_{pt} = \frac{M_p}{M_{yt}} \quad \text{Si} \quad \frac{h_c}{t_w} \le \lambda_{pw}$$

$$R_{pt} = \left[\frac{M_p}{M_{yt}}\left(\frac{M_p}{M_{yt}} - 1\right)\left(\frac{\lambda - \lambda_{pw}}{\lambda_{rw} - \lambda_{pw}}\right)\right] \le \frac{M_p}{M_{yt}} \quad \text{Si} \quad \frac{h_c}{t_w} > \lambda_{pw}$$

donde:

$$\lambda = \frac{h_c}{t_w} \qquad \lambda_{pw} = \lambda_p \qquad \lambda_{rw} = \lambda_r$$

Miembros I con dos ejes de simetría y con un solo eje de simetría con alma esbelta flexionados alrededor del eje de mayor momento de inercia

Flujo plástico del patín en compresión

$$M_n = R_{pg}\, F_y\, S_{xc} \qquad \text{(F5-1)}$$

Pandeo por flexotorsión

$$M_n = R_{pg}\, F_{cr}\, S_{xc} \qquad \text{(F5-2)}$$

$$L_p < L_b \leq L_r$$

$$F_{cr} = C_b \left[F_y - (0.3 F_y) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq F_y \qquad \text{(F5-3)}$$

$$F_{cr} = \frac{C_b \pi^2 E}{\left(\frac{L_b}{r_t} \right)^2} \leq F_y \qquad \text{(F5-4)}$$

$$L_r = \pi r_t \sqrt{\frac{E}{0.7 F_y}} \qquad \text{(F5-5)}$$

$$R_{pg} = 1 - \frac{a_w}{1{,}200 + 300\, a_w} \left(\frac{h_c}{t_w} - 5.7 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \right) \leq 1.0 \qquad \text{(F5-6)}$$

$$a_w \leq 10$$

r_t se define en la sección *F4*.

Pandeo local del patín en compresión

$$M_n = R_{pg}\, F_{cr}\, S_{xc} \qquad \text{(F5-7)}$$

Patines no compactos

$$F_{cr} = \left[F_y - (0.3 F_y) \left(\frac{\lambda - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}} \right) \right] \qquad \text{(F5-8)}$$

Patines esbeltos

$$F_{cr} = \frac{0.9 E k_c}{\left(\frac{b_f}{2t_f} \right)} \qquad \text{(F5-9)}$$

$$0.35 \leq k_c < 0.76$$

$$\lambda = \frac{b_{fc}}{2t_{fc}} \qquad \lambda_{pf} = \lambda_p \qquad \lambda_{rf} = \lambda_r$$

Miembros de sección transversal I con dos ejes de simetría y canales flexionados alrededor del eje de menor momento de inercia

$$M_n = M_p = F_y\, Z_y \leq 1.6\, F_y\, S_y \qquad \text{(F6-1)}$$

Patines no compactos

$$M_n = \left[M_p - (M_p - 0.7 F_y\, S_y) \left(\frac{\lambda - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}} \right) \right] \qquad \text{(F6-2)}$$

Patines esbeltos

$$M_n = F_{cr}\, S_y \qquad \text{(F6-3)}$$

$$F_{cr} = \frac{0.69E}{\left(\frac{b_f}{2t_f}\right)^2} \qquad \text{(F6-4)}$$

$$\lambda = \frac{b}{t} \qquad \lambda_{pf} = \lambda_p \qquad \lambda_{rf} = \lambda_r$$

Secciones estructurales huecas HSS cuadradas y rectangulares y miembros en cajón

Flujo plástico

$$M_n = M_p = F_y\, Z \qquad \text{(F7-1)}$$

Pandeo local de los patines

$$M_n = M_p - \left(M_p - F_y S\right)\left(3.57\,\frac{b}{t}\sqrt{\frac{F_y}{E}} - 4.0\right) \le M_p \qquad \text{(F7-2)}$$

Patines esbeltos

$$M_n = F_y\, S_{eff} \qquad \text{(F7-3)}$$

$$b_e = 1.92\, t\sqrt{\frac{E}{F_y}}\left[1 - \frac{0.38}{b/t}\sqrt{\frac{E}{F_y}}\right] \le b \qquad \text{(F7-4)}$$

Pandeo local del alma
Almas no compactas

$$M_n = M_p - \left(M_p - F_y S\right)\left(0.305\,\frac{h}{t_w}\sqrt{\frac{F_y}{E}} - 0.738\right) \le M_p \qquad \text{(F7-5)}$$

Secciones circulares huecas HSS
Flujo plástico

$$M_n = M_p = F_y\, Z \qquad \text{(F8-1)}$$

Pandeo local

$$M_n = \left[\frac{0.021E}{\frac{D}{t}} + F_y\right] S \qquad \text{(F8-2)}$$

Paredes delgadas

$$M_n = F_{cr}\, S \qquad \text{(F8-3)}$$

$$F_{cr} = \frac{0.33E}{\frac{D}{t}} \qquad \text{(F8-4)}$$

Perfiles Tes y ángulos dobles cargados en el plano de simetría

Flujo plástico (plastificación de la sección

$$M_n = M_p \qquad \text{(F9-1)}$$

Alma en tensión

$$M_n = M_p = F_y\, Z_x \leq 1.6\, M_y \qquad \text{(F9-2)}$$

Alma en compresión

$$\leq M_y \qquad \text{(F9-3)}$$

Pandeo lateral por flexotorsión

$$M_n = M_{cr} = \frac{\pi\sqrt{EI_y\, G}}{L_b}\left[B + \sqrt{1 + B^2}\right] \qquad \text{(F9-4)}$$

$$B = \pm 2.3\left(\frac{d}{L_b}\right)\sqrt{\frac{I_y}{J}} \qquad \text{(F9-5)}$$

El signo + se aplica cuando el alma está en tensión y el – cuando está en compresión

Pandeo local del patín de perfiles Tes

$$M_n = F_{cr}\, S_{xc} \qquad \text{(F9-6)}$$

Secciones no compactas

$$F_{cr} = F_y\left(1.19 - 0.50\left(\frac{b_f}{2t_f}\right)\sqrt{\frac{F_y}{E}}\right) \qquad \text{(F9-7)}$$

Secciones esbeltos

$$F_{cr} = \frac{0.69E}{\left(\frac{b_f}{2t_f}\right)^2} \qquad \text{(F9-8)}$$

Ángulos solos
Fluencia (plastificación) de la sección

$$M_n = 1.5\, M_y \qquad \text{(F10-1)}$$

$$M_n \le M_y \qquad M_n = \left(0.92 - \frac{0.17 M_e}{M_y}\right) M_e \qquad \text{(F10-2)}$$

$$M_e > M_y \qquad M_n = \left(0.92 - 1.17\sqrt{\frac{M_y}{M_e}}\right) M_y \le 1.5 M_y \qquad \text{(F10-3)}$$

donde:

M_e es el momento elástico de pandeo lateral por flexotorsión

$$M_e = \frac{0.66 E b^4 t C_b}{L^2}\left(\sqrt{1 + 0.78\left(\frac{Lt}{b^2}\right)^2} - 1\right) \qquad \text{(F10-4a)}$$

$$M_e = \frac{0.66 E b^4 t C_b}{L^2}\left(\sqrt{1 + 0.78\left(\frac{Lt}{b^2}\right)^2} + 1\right) \qquad \text{(F10-4b)}$$

Ángulo de lados iguales
Flexión alrededor del eje de mayor momento de inercia de ángulos de lados iguales

$$M_e = \frac{0.46 E b^2 t^2 C_b}{L} \qquad \text{(F10-5)}$$

Flexión alrededor del eje de mayor momento de inercia de ángulos de lados desiguales

$$M_e = \frac{4.9 E I_z C_b}{L^2}\left(\sqrt{\beta_w^2 + 0.052\left(\frac{L_t}{r_z}\right)^2} + \beta_w\right) \qquad \text{(F10-6)}$$

Pandeo local de las alas

$$M_n = F_y S_c \left(2.43 - 1.72\left(\frac{b}{t}\right)\sqrt{\frac{F_y}{E}}\right) \qquad \text{(F10-7)}$$

Alas esbeltas

$$M_n\, F_{cr}\, S_c \qquad \text{(F10-8)}$$

$$F_{cr} = \frac{0.71 E}{\left(\frac{b}{t}\right)^2} \qquad \text{(F10-9)}$$

Barras rectangulares y redondas
Flujo plástico
Pandeo lateral por flexotorsión

$$\frac{L_b d}{t^2} \leq \frac{0.08E}{F_y}$$

$$M_n = M_p = F_y Z \leq 1.6\, M_y \qquad \text{(F11-1)}$$

Pandeo por flexotorsión

$$\frac{0.08E}{F_y} \leq \frac{L_b d}{t^2} \leq \frac{1.9E}{F_y}$$

$$M_n = C_b \left[1.52 - 0.274 \left(\frac{L_b d}{t^2} \right) \frac{F_y}{E} \right] M_y \leq M_p \qquad \text{(F11-2)}$$

$$\frac{L_b d}{t^2} > \frac{1.9E}{F_y}$$

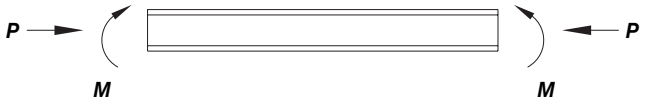
$$M_n = F_{cr} S_x \leq M_p \qquad \text{(F11-3)}$$

donde:

$$F_{cr} = \frac{1.9EC_b}{\frac{L_b d}{t^2}} \qquad \text{(F11-4)}$$

Introducción

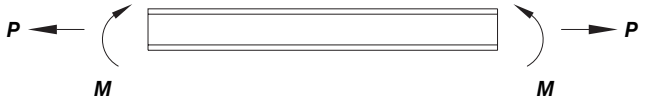
Flexocompresión. Acción simultánea de compresión axial y flexión (momentos flexionantes) que obran alrededor de uno o de los dos ejes de simetría de la sección transversal de un miembro de eje recto.



Flexocompresión = Compresión axial + flexión = Columna

El diseño es más difícil debido a que se requiere efectuar un **análisis de segundo orden**.

Elemento flexocomprimido.

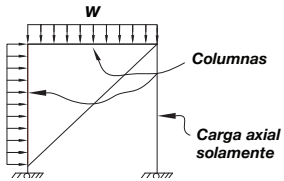


Flexotensión = Tensión axial + flexión

El diseño es sencillo, no se necesita realizar un **análisis de segundo orden**.

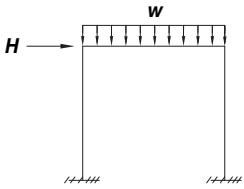
Miembro en flexotensión.

Ejemplos de columnas o miembros flexocomprimidos.



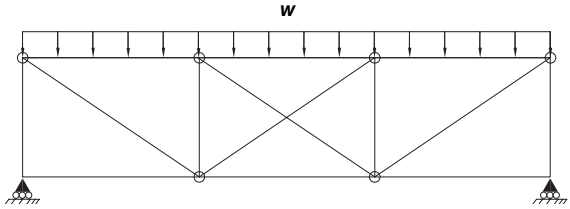
Marco contraventeado.

Todos los miembros del marco trabajan como miembros flexocomprimidos.



Marco sin contraventeo.

La cuerda superior de la armadura es un miembro flexocomprimido.



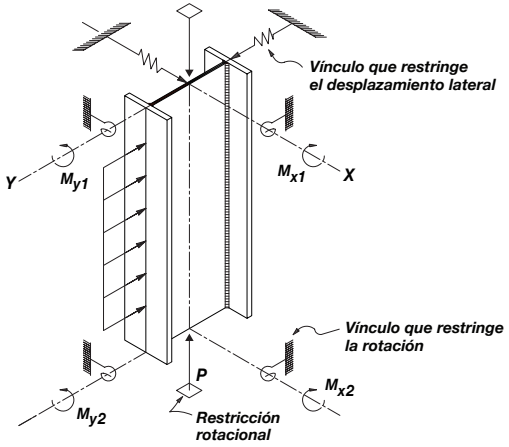
Armadura con carga aplicada entre los tableros.

La flexión se origina por cargas excéntricas paralelas al eje del miembro, por momentos aplicados en el miembro, o por fuerzas normales aplicadas al eje del miembro. En las columnas de edificios no suele haber cargas trasversales intermedias, por lo que la flexión se debe a los momentos flexionantes aplicados en las secciones extremas de la columna.

- Las columnas de eje recto constituyen la mayor parte de las estructuras de edificios.
- Debido a la continuidad entre los diversos miembros que forman la estructura, la compresión se presenta acompañada por flexión.
- El elemento está restringido contra desplazamiento lateral y giro alrededor de sus ejes centroidales y contra torsión en las secciones extremas.

Como las columnas reales forman parte, casi siempre, de estructuras reticulares compuestas por un número más o menos grande de barras unidas entre sí, su comportamiento no depende sólo de sus características, sino también de las propiedades del resto de los elementos que forman la estructura.

La figura siguiente representa el caso general de un miembro flexocomprimido cuando se toma en cuenta la estabilidad contra desplazamiento lateral de la estructura de la que forma parte. El miembro está sometido asimétricamente por momentos flexionantes alrededor de los ejes centroidales y principales de la sección y por cargas laterales entre sus apoyos, está restringido contra desplazamiento lateral e impedido de girar respecto a los ejes centroidales; también está restringido torsionalmente en sus extremos.



Caso general de un miembro flexocomprimido o columna.

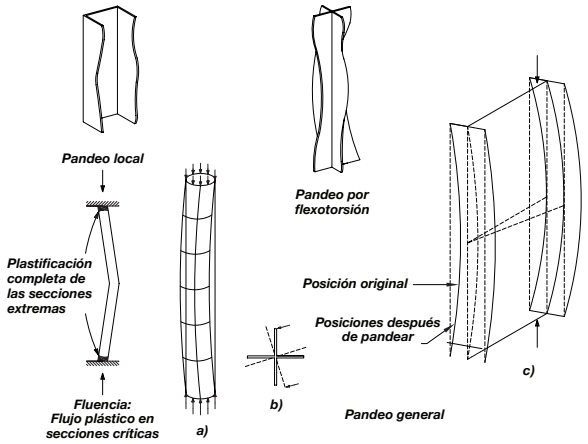
Miembros bajo la combinación de flexión y compresión axial

Miembros flexocomprimidos o columnas

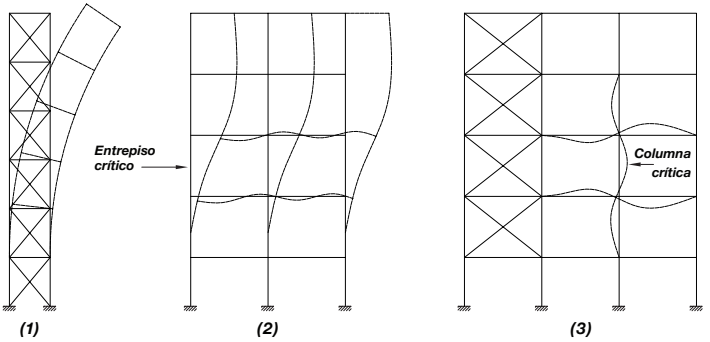
Estados límite
En el diseño de *miembros flexocomprimidos* deben investigarse los estados límite de falla siguientes:

Flexión
Plástificación de la sección transversal
Pandeo por flexión
Pandeo lateral por flexotorsión
Pandeo local

Cortante
Plastificación del alma de la viga
Pandeo local del alma por cortante

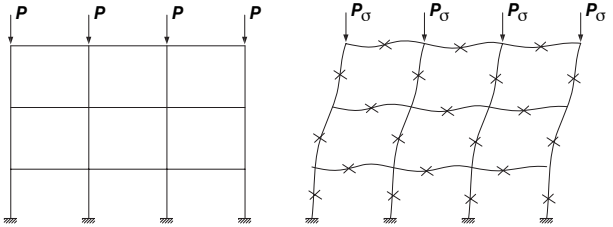


Posibles modos de falla de un miembro flexocomprimido.



1. *Pandeo del conjunto*
2. *Pandeo lateral de un entrepiso*
3. *Pandeo de una columna individual*

Posibles modos de falla de un marco rígido.

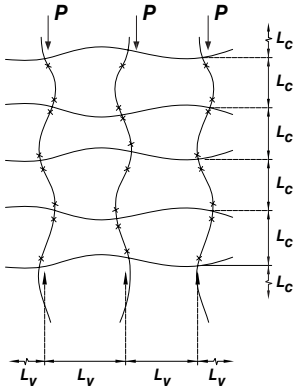


Pandeo lateral de los entrepisos de un marco sin contraventeo.

Tabla 1. Posibles modos de falla en miembros flexocomprimidos

Modo de falla	Clasificación de las secciones
Por fluencia	Se forman articulaciones plásticas en las secciones donde el momento flexionante es máximo.
Por inestabilidad en el plano de los momentos	Puede presentarse en barras flexionadas alrededor de su eje de menor momento de inercia y en el plano de mayor resistencia, pero el pandeo lateral está impedido por las características geométricas de las secciones transversales o por la presencia de elementos exteriores de contraventeo.
Por pandeo lateral por flexotorsión	Se presenta en miembros que carecen de soportes laterales. La falla se caracteriza por deformación lateral en un plano perpendicular al de aplicación de la carga, acompañada por torsión alrededor de su eje longitudinal.
Por pandeo debido a compresión axial, alrededor de los ejes de menor momento de inercia	Ocurre cuando la fuerza axial es mucho más importante que la flexión.
Por pandeo local	Ocurre cuando los elementos planos que constituyen la sección transversal del miembro tienen relaciones ancho/grueso mayores que las admisibles estipuladas en las normas de diseño.

Nota:
Los modos de falla indican que el comportamiento de un ***elemento flexocomprimido*** o columna incluye el comportamiento de vigas y columnas, de ahí que en la literatura se denominen también como ***"vigas-columnas"***.



Forma de pandeo de un marco con contraventeo.

II.2.8 *DISEÑO DE MIEMBROS FLEXOCOMPRIMIDOS*
(Compresión axial y flexión)

En el diseño de miembros deben investigarse los estados límite de falla siguientes:

Son los correspondientes a miembros en tensión, a miembros en flexión o a la combinación de las dos solicitaciones.

Tensión
1. *Estados límite de flujo plástico en la sección total*
2. *Fractura en el área neta*

Flexión
1. *Formación de un mecanismo con articulaciones plásticas*
2. *Agotamiento de la resistencia a la flexión en la sección crítica, en miembros que no admiten redistribución de momentos*
3. *Iniciación del flujo plástico en la sección crítica*
4. *Pandeo lateral por flexotorsión*
5. *Pandeo local del patín comprimido*
6. *Pandeo local del alma, producido por flexión*
7. *Plastificación del alma por cortante*
8. *Pandeo local del alma por cortante*
9. *Tensión diagonal en el alma*
10. *Flexión y fuerza cortante combinadas*
11. *Otras formas de pandeo del alma, producidas por fuerzas transversales*
12. *Fatiga*

Requisitos de diseño de columnas conforme a especificaciones *AISC-2005*

Son elementos estructurales de eje recto, sección prismática, y con dos ejes de simetría, que se colocan normalmente en posición vertical o en diagonal y que soportan las cargas verticales y accidentales (sismo, principalmente) en una estructura de un edificio, constituida por una familia de marcos rígidos ortogonales.

El diseño de miembros (elementos sujetos a flexión y compresión axial) se trata en terminos de ecuaciones de interacción de acuerdo a un procedimiento de diseño establecido durante varias ediciones del *AISC*.

En las especificaciones del *AISC-ASD 1989* las ecuaciones de interacción eran simplemente líneas rectas mientras que en las Especificaciones del *AISC-2005* se utilizan dos líneas rectas que dan una mejor aproximación de la resistencia.

El diseño de miembros de sección transversal con uno o dos ejes de simetría, sometidos a biaxial, de acuerdo con las especificaciones *AISC-2005*, se efectúa de manera que se satisfagan las ecuaciones de interacción siguientes:

Para:

$$\frac{P_r}{P_c} \geq 0.2 \qquad \frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} + \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}}\right) \leq 1.0 \qquad \text{(H1-1a)}$$

Para:

$$\frac{P_r}{P_c} < 0.2 \qquad \frac{P_r}{2P_c} + \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}}\right) \leq 1.0 \qquad \text{(H1-1b)}$$

donde:

P_r = resistencia requerida en compresión, en kg (N)
P_C = resistencia disponible en compresión, en kg (N)
M_r = resistencia requerida en flexión, en kg-m (N-mm)
M_C = resistencia disponible en flexión, en kg-m (N-mm)

En la fig. 1 se muestra el diagrama de interacción de flexión y esfuerzo axial de acuerdo con las ecuaciones (H1-1a) y (H1-1b), que aplican a *ASD* como a *LRFD*, las resistencias disponibles a compresión y a flexión se determinan considerando que la solicitación actúa por separado.

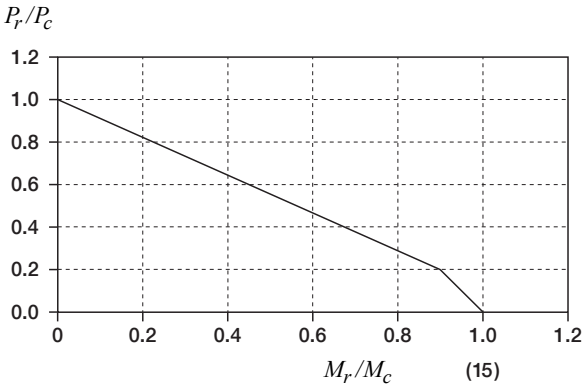


Fig. 11. Curva interacción carga axial-resistencia.

Las resistencias requeridas pueden determinarse alternativamente mediante un análisi de segundo orden, a cuyo resultado se le aplica un factor de amplificación.

En el análisis usual de primer orden, las ecuaciones de equilibrio se expresan en la geometría inicial de la estructura no deformada, la cual se supone se comporta elásticamente; de esta manera las fuerzas internas están asociadas a los desplazamientos resultantes.

En casos reales, cuando una estructura se deforma, las fuerzas internas cambian con la deformación, planteamiento que requiere la incorporación de la geometría deformada de la estructura, formulación que se denomina análisis de segundo orden.

Los efectos de segundo orden se han incluido en las Especificaciones *AISC* desde 1961. El procedimiento seguido en las especificaciones *ASD 1989* fue amplificar los esfuerzos de flexión en el diagrama de interacción por el siguiente término:

$$B_1 = \frac{C_m}{1 - \frac{P_u}{P_{e1}}}$$

Las versiones anteriores *LRFD* también permitían efectuar en análisis de segundo orden o un análisis simplificado combinado con el uso de factores de amplificación B1 y B2.

Las Especificaciones *AISC-2005* permite el uso alterno de los factores expresados con la ecuación siguiente:

$$B_2 = \frac{1}{1 - \frac{\Sigma P_u}{\Sigma P_{E2}/Q}}$$

Estos factores de amplificación relacionan el esfuerzo y la carga aplicada f_a o P_u y el esfuerzo de pandeo $F_é$ o P_e . En este sentido puede decirse que las especificaciones *2005* han aumentado las opciones para tomar en cuenta los efectos de segundo orden. Tal vez lo más significativo de las nuevas disposiciones se encuentran en el *Apéndice 7*.; Método de análisis directo, que contiene un método para la determinación directa de los efectos de segundo orden. También permite el diseño de todas las columnas utilizando la longitud real de las columnas y un factor de longitud efectiva *K = 1.0* cuando se cumplen las otras disposiciones.

Las nuevas especificaciones mantienen el uso de los factores de amplificación B1 y B2, aún cuando se ha establecido algunos límites a su aplicación.

Lo anterior está directamente relacionado con la rigidez lateral de la estructura. Las nuevas disposiciones simplifican los efectos de segundo orden o bien los desprecian.

Cargas nocionales

Este requisito es nuevo en las Especificaciones *AISC-2005*, no aparecía en las ediciones anteriores de las normas *ASD* o *LRFD*.

Con las fuerzas nocionales se toman en cuenta imperfecciones de la estructura, principalmente la falta de verticalidad de las columnas, que ocasionan flexiones adicionales, producidas por las cargas gravitacionales; los efectos y los esfuerzos residuales de los miembros individuales se toman en cuenta utilizando formulas convencionales para la resistencia en compresión de las columnas, utilizando su longitud real.

Las fuerzas ficticias horizontales, que se aplican en cada uno de los niveles de la estructura y en todas las combinaciones de cargas, se toman iguales a 0.005 veces la carga vertical de diseño (factorizada) que actúe en el nivel, correspondiente a la combinación de cargas en estudio.

El diseño de las columnas de marcos con desplazamientos laterales permitidos puede hacerse empleando sus longitudes reales, y utilizando los resultados de un análisis elástico de segundo orden de la estructura geométricamente perfecta, bajo la acción de las fuerzas que obran sobre ella combinadas con fuerzas laterales nocionales, que se aplican en todos los niveles.

Se incluyen de esta manera, en el diseño la estabilidad de los marcos, sin necesidad de calcular longitudes efectivas. Este es el método que se ha recomendado en varias normas de diseño de estructuras de acero

CAPITULO

III

Práctica y tolerancias de laminación

- III.1 **PRÁCTICA DE LAMINACIÓN**
- III.2 **TOLERANCIAS DE LAMINACIÓN**

CAPITULO

III

III.1 PRÁCTICA DE LAMINACIÓN

Método para incrementar área y pesos

Perfiles IPR (IR)
Para modificar el área y el peso dentro de un mismo peralte nominal, se varían el ancho y espesor del patín; y el espesor del alma como se muestra en la siguiente figura:

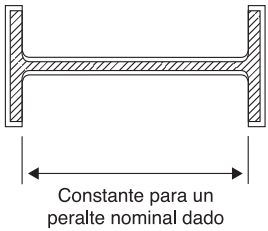


Fig. 1.

Perfiles IPS y CPS (IE y CE)
Para modificar el área y el peso dentro de un peralte nominal dado, el espesor del alma y el ancho del patín, se cambian como se muestra en las figuras siguientes:

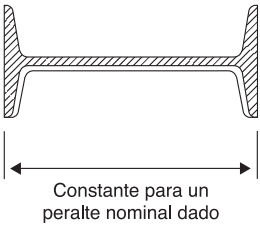


Fig. 2.

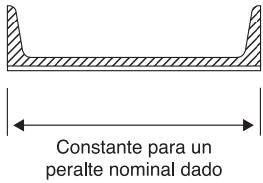


Fig. 3.

Perfiles Angulares
Para modificar el área y el peso de un perfil nominal dado, se verán las dimensiones según se muestra en la figura siguiente:

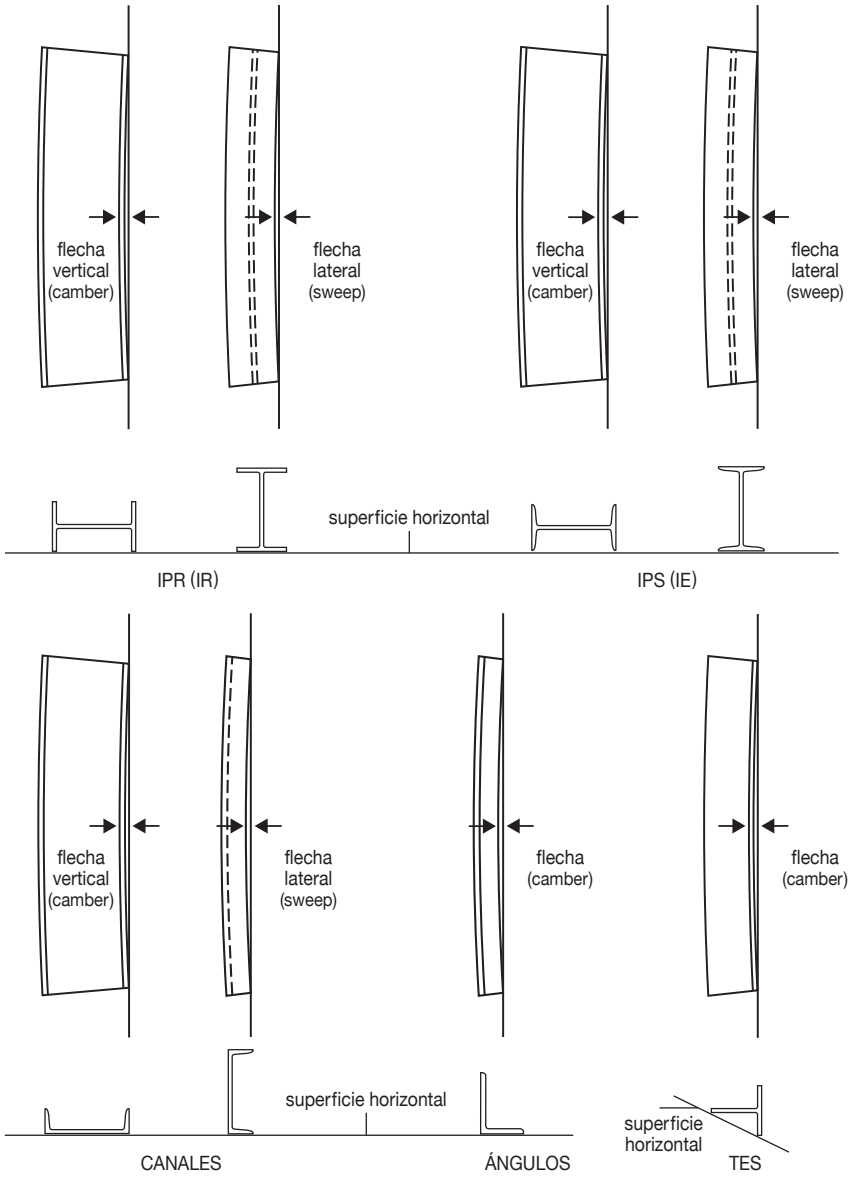
Fig. 4.

CAPITULO

III

III.2 TOLERANCIAS DE LAMINACIÓN

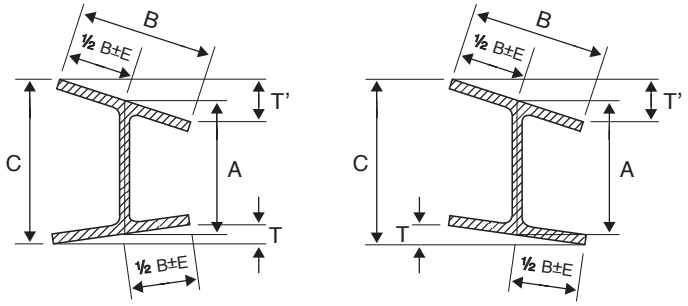
Posiciones de los perfiles para medición de flechas verticales y laterales



Las tolerancias dimensionales de laminación están establecidas en la norma NOM-B-252 (ASTM A6). Las variaciones en geometría de la sección transversal de perfiles laminados deben ser reconocidas por el ingeniero, fabricante y montador.

Estas tolerancias son indispensables debido a las deformaciones que se producen por el desgaste de los rodillos de laminación, a las distorsiones térmicas de la sección transversal al salir el material del tren de laminación, y a las distorsiones que se presentan por el enfriamiento diferencial que tiene lugar en las camas de enfriamiento. La perfección absoluta de la geometría de la sección transversal no tienen significación estructural y, si las tolerancias son reconocidas y previstas, tampoco tiene significado arquitectónico. La norma NOM-B-252, (ASTM A6) también estipula las tolerancias para la rectitud y las flechas que son adecuadas para la mayoría de las construcciones convencionales, sin embargo, estas características se pueden controlar, o corregir a tolerancias más estrictas, durante un proceso de fabricación, cuando las exigencias especiales de un proyecto particular justifica el costo adicional de este concepto.

Tolerancias en vigas



Peralte nominal A	Tolerancias de laminación				Patines fuera de escuadra (T + T') máx.	Alma fuera del cento	(C-A) máx en cualquier sección transversal
	Peralte A		Ancho de Patín B				
	más	menos	más	menos			
Hasta 12"	1/8	1/8	1/4	3/16	1/4	3/16	1/4
305 mm	3.2	3.2	6.3	4.8	6.3	4.8	6.3
Más de	1/8	1/8	1/4	3/16	5/16	3/16	1/4
12"	3.2	3.2	6.3	4.8	8	4.8	6.3

Tolerancias en flechas

a) Secciones con ancho de patín menor de 152.4 mm (6"):

$$\text{Flecha lateral máxima en cm} = \frac{\text{longitud (m)}}{10}$$

$$\text{Flecha vertical máxima en cm} = \frac{\text{longitud (m)}}{5}$$

b) Columnas, o secciones de peralte aproximado al ancho del patín (secciones H):

Longitudes menores de 14 m

$$\text{Flecha vertical y lateral máxima en cm} = \frac{\text{longitud (m)}}{10} \leq 9.6 \text{ mm}$$

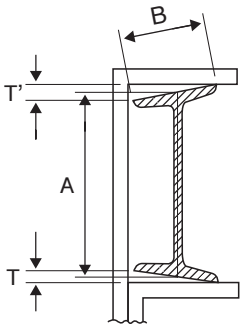
Longitudes mayores de 14 m

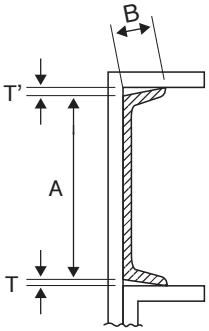
$$\text{Flecha vertical y lateral máxima en cm} = 9.6 + \frac{\text{longitud (m)} - 14}{10}$$

Extremos fuera de escuadra:
1.6 mm por cada 10 cm de peralte o de patín, si este es mayor que el peralte.

Variaciones en peso y área: ± 2.5% sobre el valor teórico.

Tolerancias en vigas IPS y CPS





Sección	Peralte Nominal	Tolerancias de laminación				T+T' fuera de escuadras por pulg. de ancho B
		Peralte A		Ancho de Patín B		
		más	menos	más	menos	
Vigas I Estandard	De 3" a 7"	3/32	1/16	1/8	1/8	1/32" 0.79 mm
	76 mm a 178 mm	2.4	1.6	3.2	3.2	
	De 8" a 14"	1/8	3/32	5/32	5/32	
	203 mm a 356 mm	3.2	2.4	4.0	4.0	
	De 15" a 24"	3/16	1/8	3/16	3/16	
	381 mm a 610 mm	4.8	3.2	4.8	4.8	
Canales	De 3" a 7"	3/32	1/16	1/8	1/8	1/32" 0.79 mm
	76 mm a 178 mm	2.4	1.6	3.2	3.2	
	De 8" a 14"	1/8	3/32	1/8	5/32	
	203 mm a 356 mm	3.2	2.4	3.2	4.0	
	De 15" en adelante	3/16	1/8	1/8	3/16	
	381 mm y mayores	4.8	3.2	3.2	4.8	

Tolerancias en flechas

Flecha vertical máxima en cm = $\frac{\text{longitud (m)}}{5}$

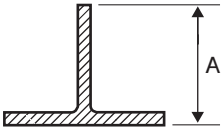
Flecha lateral máxima en cm = Consultar con el área de Comercialización.

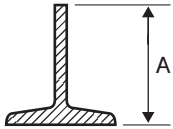
Extremos fuera de escuadra = 1.6 mm por cada 10 cm de peralte.

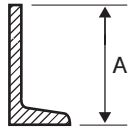
Variaciones en peso y área: ± 2.5% sobre el valor teórico.

Tolerancias en perfiles TPR y TPS (semi vigas) y ángulos obtenidos de Canales (medias canales)

Tolerancias en peralte







El peralte A puede ser aproximadamente la mitad del peralte de las vigas o de las canales o cualquier otra medida especificada en el pedido.

Peralte de la sección de la que se obtiene el ángulo o la T		Variaciones del peralte A en más y en menos			
		Sección T		Angulos	
		Pulgadas	mm	Pulgadas	mm
0" a 5"	0 a 127 mm	1/8	3.2	1/8	3.2
6" a 15"	152 a 381 mm	3/16	4.8	3/16	4.8
16" a 19"	406 a 483 mm	1/4	6.3	1/4	6.3
20" a 23"	508 a 584 mm	5/16	8.0	-	-
24"	610 mm en adelante	3/8	10.0	-	-

Nota: Las tolerancias anteriores para el peralte de ángulos y Tes, incluyen la de las vigas y canales antes del corte.

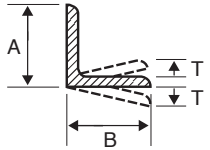
Otras tolerancias

Las tolerancias de extremos fuera de escuadra, descentramiento del alma, variación de área y peso etc., corresponden a las tolerancias de la sección antes del corte, exceptuando:

$$\text{Flecha lateral máxima en cm} = \frac{\text{longitud (m)}}{5}$$

$$\text{Flecha vertical máxima en cm} = \frac{\text{longitud (m)}}{5}$$

Ángulos perfiles estandard



a) Ángulos menores de 76 mm, 3”

Longitud teórica del lado	Variación en el espesor (+)								T fuera de escuadra por pulg. de B	
	5 mm 3/16 y menos		Más de 5 mm 3/16 y menos de 10 mm 3/8		Más de 10 mm 3/8		Lado B (+)			
	pulg	mm	pulg	mm	pulg	mm	pulg	mm	pulg	mm
25 mm y menores	0.008	0.20	0.010	0.25	-	-	1/32	0.8	3/128	0.6
Más de 25 mm hasta 51 mm	0.010	0.25	0.010	0.25	0.012	0.30	3/64	1.2	3/128	0.6
Más de 51 mm hasta 76 mm (excluido)	0.012	0.30	0.015	0.38	0.015	0.38	1/16	1.6	3/128	0.6

$$\text{Flecha máxima en cm} = \frac{\text{longitud (m)}}{2.5}$$

b) Ángulos de 76 mm, 3” y más

Longitud teórica del lado	Variación permisible en B				T fuera de escuadra por pulg. de B	
	En más		En menos			
	pulg	mm	pulg	mm	pulg	mm
De 76 mm (3”) a 102 mm (4”)	1/8	3.2	3/32	2.4	3/128	0.6
De más de 102 mm (4”) a 152 mm (6”)	1/8	3.2	1/8	3.2	3/128	0.6
Más de 152 mm (6”)	3/16	4.8	1/8	3.2	3/128	0.6

$$\text{Flecha máxima en cm} = \frac{\text{longitud (m)}}{5}$$

Variaciones en peso y área: ± 2.5% sobre el valor teórico.

Nota: Para ángulos de lados desiguales, tomar el lado mayor para efectos de la clasificación.

CAPITULO

IV

Lista general de productos

IV.1 DIMENSIONES Y PESOS

CAPITULO

IV

IV.1 DIMENSIONES Y PESOS

La mayor parte de las estructuras de acero utilizadas en la construcción de edificios urbanos e industriales se fabrica a partir de perfiles estructurales laminados ordinarios y con secciones compuestas o miembros armados.

En México, los perfiles laminados no se disponen en extensa variedad como en otros países, en virtud de que las necesidades del mercado son diferentes a los de otros países en los que se proyectan edificios altos o rascacielos con mayor frecuencia.

Los criterios que determinan la elección de un perfil estructural son la magnitud de las cargas que ha de soportar y la mayor o menor facilidad con que se pueda unir al resto de una estructura.

La elección adecuada de los perfiles estructurales en cada caso particular representa el uso racional del acero que reditúa en la economía, rapidez y facilidad constructiva, limpieza y apariencia arquitectónica.

Los perfiles mexicanos se denominan de acuerdo con la designación del Instituto Mexicano de la Construcción en Acero, A.C. *(IMCA)* en: ángulos de lados iguales *(LI)*, ángulos de lados desiguales *(LD)*, perfil *C* estándar *(CE)*, perfil *I* estándar *(IE)*, perfil *I* rectangular *(IR)*, perfil *T* rectangular *(TR)*, perfil *I* soldado *(IS)*, redondo sólido liso *(OS)*, tubo circular *(OC)*, tubo cuadrado o rectangular *(OR)*, perfil *C* formado en frío *(CF)*, perfil *Z* formado en frío *(ZF)*.

En la siguiente figura se muestran los perfiles estructurales básicos; cada uno de ellos tiene características geométricas que los hace adecuados para usos específicos como se menciona más adelante.

Las normas de la Dirección General de Normas *(DGN)* determinan los requisitos químicos y mecánicos para aceros estructurales en forma de perfiles, placas y barras. En general se hace referencia al tipo de acero de acuerdo con la designación de la Norma Oficial Mexicana *(NMX)* correspondiente.

Ángulos LI y LD
Sección que consta de dos lados perpendiculares entre sí que tienen el mismo espesor; se distingue por su forma en *L* mayúscula. Las caras de sus lados son paralelas y tienen las esquinas redondeadas. Pueden ser de lados iguales o desiguales.

Estos perfiles se emplean con mucha frecuencia en cuerdas, diagonales y montantes de armaduras para puentes, techos, bodegas y fábricas y vigas de alma abierta en edificios urbanos, así como en torres de transmisión de energía eléctrica. También se usan como tirantes, contraventeos verticales de edificios urbanos y como puntales de contraventeo en techos y paredes de estructuras industriales.

Los ángulos de lados iguales varían desde un *LI 19 x 3* (*3/4"* de tamaño y *1/8"* de espesor) hasta un *LI 152 x 25 (6" x 1")*. Los perfiles menos pesados disponibles son los: *LI 25 x 3, LI 25 x 5, LI 25 x 6*. Los más pesados disponibles son los: *LI 152 x 10, LI 152 x 11, LI 152 x 13, LI 152 x 14, LI 152 x 16* y *LI 152 x 19*.

Los ángulos de lados desiguales varían desde un *LD 102 x 76 x 6 (4" x 3" x 1/4")* hasta un *LD 152 x 102 x 25*. El perfil menos pesado disponible es el *LD 102 x 76 x 6 (4" x 3" x 1/4")* y el más pesado es de *LD 152 x 102 x 25 (6" x 4" x 1")*.

Canal CE
Se denomina así porque adopta la forma de una *C* mayúscula. Es una sección que tiene un solo eje de simetría (eje horizontal X-X). La pendiente de las caras interiores de los patines es la misma que la de los perfiles *IE*. Anteriormente se denominaba canal estándar. Su peralte teórico es el mismo que el nominal. La serie de perfiles *CE* va desde una *CE 76 x 6.10* (3" de peralte y 6.10 kg/m), siendo el más ligero disponible el *CE de 6.10 kg/m* y la más pesada disponible la *CE 305 x 44.64* (12 kg/m x 30).

Las canales eran frecuentes en estructuras remachadas; se utilizaban como largueros de techos y paredes de edificios fabriles, y para formar secciones armadas, pues sus patines facilitan la colocación de los remaches; también se usaba como columna en cajón, soldando dos canales frente a frente o en espalda. En la actualidad se utiliza principalmente en secciones armadas. Como viga es inconveniente

También se usa como patín de las trabes carril para grúas viajeras de poca capacidad de carga; la canal en posición horizontal incrementa la resistencia ante cargas verticales y capacita a la viga para resistir las fuerzas horizontales transversales que aparecen durante la operación de la grúa.

Perfil IE
Sección con dos ejes de simetría, que se utiliza con frecuencia y particularmente en el Estado de Jalisco como viga de sistemas de piso. Difiere de los perfiles *IR* por las siguientes características: el ancho de los patines es menor que el de los *IR*, las caras interiores de los patines tienen una pendiente de aproximadamente 17°, el peralte nominal es igual al real. La forma variable de las caras interiores de los patines dificulta las conexiones con el resto de la estructura.

En general, las vigas *IE* no son estructuralmente eficientes como las *IR* y, consecuentemente, no son ampliamente utilizadas en estructuras modernas.

Perfil IR
Sección estructural con dos ejes de simetría, tiene dos patines rectangulares unidos por el alma que también es rectangular y es perpendicular a los patines. Las caras interiores de los patines son paralelas a las exteriores. Se caracteriza por tener una alta proporción del área de la sección transversal en los patines y, consecuentemente resulta conveniente para utilizarse como viga o columna.

Cuando se utilizan como vigas de los marcos rígidos ortogonales, forman parte del esqueleto principal de la construcción. También se usan como vigas secundarias, y en este caso no existen cargas de sismo.

Su eficiencia como viga se debe a que tiene un momento de inercia alrededor del eje de flexión mayor que respecto al normal a él, por lo que es necesario utilizar restricciones exteriores para evitar el pandeo lateral por flexotorsión.

Es uno de los perfiles que se usan con mayor frecuencia en el diseño de estructuras de acero para edificios.

Perfil IS
Sección estructural fabricada con tres placas soldadas. Tiene dos ejes de simetría. Las secciones *H*, de patines de ancho semejante al peralte de la sección, suelen ser la mejor solución en columnas de edificios urbanos o industriales convencionales.

También se utilizan como trabes carril para grúas viajeras de poca capacidad de carga.

Perfil Te
Se obtiene cortando un perfil *IR* a la mitad de su peralte. Generalmente se hace el corte de manera que se obtiene un perfil *TR* con área equivalente a la mitad del área de la sección original. Se utiliza en cuerdas de armaduras de techo, pues se facilita la unión de diagonales y montantes, soldándolos al alma.

Tubos
Los tubos son de sección circular, cuadrada o rectangular con dos ejes de simetría. Son muy eficientes y efectivos como elementos estructurales para soportar cualquier tipo de solicitación debido a que el material está distribuido uniformemente en la sección

Las secciones tubulares tienen el inconveniente de que las conexiones estructurales, soldadas o atornilladas, son difíciles de realizar, por lo que su uso no era frecuente hasta hace pocos años.

Sin embargo, gracias a los métodos de diseño modernos, en la actualidad se utilizan cada vez más, tanto en estructuras especiales, como las plataformas marinas para explotación petrolera como en otras más comunes, torres de transmisión y armaduras para cubiertas, muchas veces tridimensionales, en las que se obtienen ventajas adicionales, estéticas, de poca resistencia al flujo de agua o el aire, y facilidad para pintarlas y mantenerlas limpias.

En las *Normas Técnicas Complementarias* del *RCDF-2004* y en el *M-AISC-2005*, se han incluido, en diferentes capítulos, recomendaciones para el diseño de estructuras formadas por elementos huecos, de sección transversal cuadrada, rectangular o circular; su uso es muy frecuente en la actualidad, por sus propiedades estructurales y su apariencia arquitectónica.

El *AISC* tiene una especificación de diseño particular para este tipo de perfiles.

Los tubos circulares varían desde un *OR 21.3 x 2.77 mm (0.84" x 0.109")* hasta un *OC 1 524 x 25.40 mm (60" x 1.0")*. El primer número es el diámetro del tubo, y el segundo su espesor de pared.

Los tubos cuadrados y rectangulares tienen una rigidez elevada a la torsión, lo que los hace más resistentes al pandeo lateral por flexotorsión.

Los tubos cuadrados están disponibles en México desde un *OR* de *25 x 25 x 2.4 mm (1" x 1" x 0.095")* hasta un *102 x 102 x 4.8 mm (4" x 4" x 0.188")*.

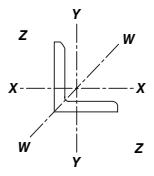
Los tubos rectangulares comprenden desde un *OR 76 x 51 x 3.2 mm (3" x 2" x 0.125")* hasta un *OR 102 x 76 x 6.4 mm (4" x 3" x 0.25").*

Perfiles formados en frío
Son secciones hechas con lámina delgada, doblada en frío y en este grupo se incluyen los perfiles *CF* y *ZF*.

La canal *CF* se usa con mucha frecuencia como larguero para soportar la lámina de techos y paredes de bodegas y estructuras industriales. También se usan como vigas principales en estructuras ligeras, de uno o dos niveles.

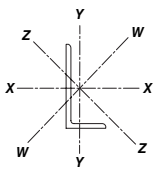
El empleo de los perfiles *ZF* se ha restringido mucho en la actualidad.

El Instituto Mexicano de la Construcción en Acero *(IMCA)* presenta tablas de dimensiones y propiedades geométricas de los perfiles estructurales mexicanos con la designación indicada anteriormente.



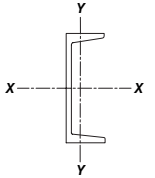
Ángulo de lados iguales LI

Perfiles LI



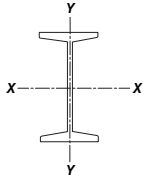
Ángulo de lados iguales o desiguales

Perfiles LI y LD



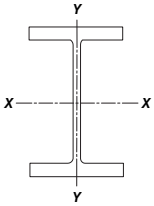
Canal estandard

Perfiles CE



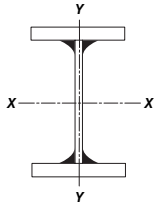
Vigas I estandard

Perfiles IE



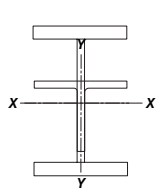
Vigas I rectangular

Perfiles IPR



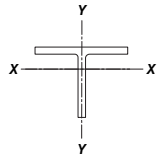
Perfil I compuesto (hecho con tres placas soldadas)

Perfiles IS



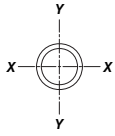
T estructural

Perfiles TR

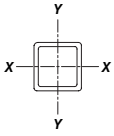


T estructural

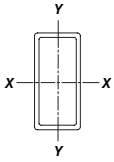
Perfiles TE



Tubos de sección circular OC

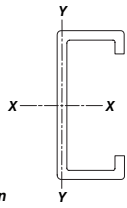


Tubos de sección cuadrada OR

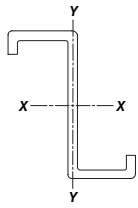


Tubos de sección rectangular OR

Tubos estructurales



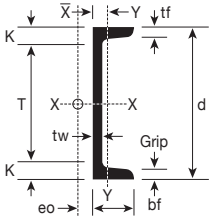
Canal CF



Perfil ZF

Perfiles formados en frío

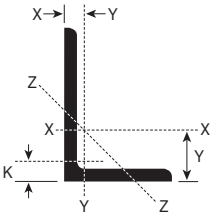
Canal Perfil Estandard CE



Dimensiones teóricas y propiedades de diseño

Canal Perfil Estandard (CE)	Peso kg/m	Área A mm^2	Peralte d mm	Patín b_f mm	Esp/Patín t_f mm	Esp/Alma t_w mm	K diseño mm	K detalle mm	Distancia X mm	Distancia e_0 mm	X_p mm	I_x $mm^4/10^6$	Z_x $mm^3/10^3$	S_x $mm^3/10^3$	r_x mm	I_y $mm^4/10^6$	Z_y $mm^3/10^3$	S_y $mm^3/10^3$	r_y mm
C 150 x 12.2	12.201	1540	152	48.80	8.71	5.08	20.7	20.6	13.0	15.2	5.05	5.45	84.6	71.3	59.4	0.286	16.2	8.0	13.6
C 150 x 15.6	15.624	1990	152	51.60	8.71	7.98	20.7	20.6	12.7	12.3	6.50	6.29	101.0	82.6	56.4	0.358	18.7	9.2	13.4
C 150 x 19.3	19.344	2460	152	54.90	9.91	11.10	20.7	20.6	13.1	9.65	8.08	7.20	119.0	94.7	54.1	0.437	22.1	10.5	13.3
C 200 x 17.1	17.112	2170	203	57.40	9.91	5.59	23.8	23.8	14.5	17.7	5.36	13.50	158.0	133.0	79.0	0.545	25.7	12.7	15.8
C 200 x 20.5	20.460	2610	203	59.40	9.91	7.70	23.8	23.8	14.1	15.3	6.40	15.00	180.0	148.0	75.9	0.633	28.3	13.9	15.6
C 200 x 27.9	27.900	3550	203	64.30	11.10	12.40	23.8	23.8	14.4	10.90	8.74	18.30	228.0	180.0	71.6	0.820	35.6	16.6	15.2
C 250 x 22.8	22.766	2890	254	66.00	11.10	6.10	25.4	25.4	16.1	20.2	5.69	28.00	261.0	221.0	98.3	0.945	38.3	18.8	18.1
C 250 x 30	29.760	3790	254	69.60	11.10	9.63	25.4	25.4	15.4	16.2	7.47	32.80	318.0	259.0	93.0	1.170	44.2	21.5	17.5
C 250 x 37	37.200	4740	254	73.40	11.10	13.40	25.4	25.4	15.7	12.5	9.32	37.90	379.0	298.0	89.4	1.390	52.1	24.1	17.1
C 250 x 45	44.640	5680	254	77.00	11.10	17.10	25.4	25.4	16.5	9.35	11.2	42.90	438.0	339.0	86.9	1.640	61.9	27.0	17.0
C 310 x 30.8	30.802	3920	305	74.70	12.70	7.16	28.7	28.6	17.7	22.1	6.43	53.70	420.0	352.0	117.0	1.610	56.9	28.2	20.2
C 310 x 37	37.200	4740	305	77.50	12.70	9.83	28.7	28.6	17.1	18.9	7.77	59.90	482.0	393.0	113.0	1.850	62.6	30.6	19.8
C 310 x 45	44.640	5680	305	80.50	12.70	13.00	28.7	28.6	17.1	15.7	9.32	67.40	554.0	442.0	109.0	2.130	70.8	33.6	19.4

Ángulo Perfil Estandard LD, LI



Dimensiones teóricas y propiedades de diseño

Canal Perfil Estandard (LD, LI)	Peso kg/m	Área A mm^2	Lado 1 d mm	Lado 2 b mm	T	K diseño mm	K detalle mm	Distancia X mm	Distancia Y mm	Distancia e_o mm	X_p mm	Y_p mm	Propiedades de Sección								
													I_x $mm^4/10^4$	Z_x $mm^3/10^3$	S_x $mm^3/10^3$	r_x mm	I_y $mm^4/10^4$	Z_y $mm^3/10^3$	S_y $mm^3/10^3$	r_y mm	r_z mm
L 152 x 102 x 9.5	18.302	2330	152	102	9.53	22.2	22.2	23.70	49.00	7.65	7.65	30.20	5.58	96.50	54.10	49.00	2.02	45.70	25.90	29.50	22.10
L 152 x 102 x 11.1	21.278	2700	152	102	11.10	23.8	23.8	24.30	49.50	8.86	8.86	31.00	6.41	112.00	62.40	48.80	2.31	53.10	30.00	29.20	22.00
L 152 x 102 x 12.7	24.106	3060	152	102	12.70	25.4	25.4	24.90	50.30	10.10	10.10	31.80	7.20	126.00	70.60	48.50	2.59	60.50	33.80	29.00	21.90
L 152 x 102 x 14.3	26.933	3430	152	102	14.30	26.9	27.0	25.40	50.80	11.20	11.20	32.50	7.99	141.00	78.80	48.30	2.86	67.70	37.50	29.00	21.90
L 152 x 102 x 15.9	29.760	3780	152	102	15.90	28.7	28.6	26.20	51.60	12.40	12.40	33.30	8.74	155.00	86.70	48.00	3.11	74.70	41.30	28.70	21.80
L 152 x 102 x 19	35.117	4480	152	102	19.10	31.8	31.8	27.20	52.60	14.70	14.70	35.10	10.20	182.00	102.00	47.80	3.59	88.80	48.30	28.40	21.70
L 152 x 152 x 9.53	22.171	2830	152	152	9.53	22.2	22.2	41.10	41.10	9.27	9.27	9.27	6.41	103.00	57.50	47.50	6.41	103.00	57.50	47.50	30.20
L 152 x 152 x 11.1	25.594	3280	152	152	11.10	23.8	23.8	41.90	41.90	10.70	10.70	10.70	7.33	119.00	66.50	47.20	7.33	119.00	66.50	47.20	30.00
L 152 x 152 x 12.7	29.165	3720	152	152	12.70	25.4	25.4	42.40	42.40	12.20	12.20	12.20	8.28	135.00	75.20	47.20	8.28	135.00	75.20	47.20	30.00
L 152 x 152 x 14.3	32.587	4160	152	152	14.30	26.9	27.0	43.20	43.20	13.70	13.70	13.70	9.16	150.00	83.90	47.00	9.16	150.00	83.90	47.00	30.00
L 152 x 152 x 15.9	36.010	4600	152	152	15.90	28.7	28.6	43.70	43.70	15.10	15.10	15.10	10.00	166.00	92.40	46.70	10.00	166.00	92.40	46.70	29.70
L 152 x 152 x 19	42.706	5460	152	152	19.10	31.8	31.8	45.00	45.00	17.90	17.90	17.90	11.70	195.00	109.00	46.20	11.70	195.00	109.00	46.20	29.70
L 152 x 152 x 22.2	49.258	6290	152	152	22.20	35.1	34.9	46.00	46.00	20.70	20.70	20.70	13.30	225.00	125.00	46.00	13.30	225.00	125.00	46.00	29.70

Tabla 1 Especificaciones

Los perfiles estructurales son producidos conforme a las siguientes normas y especificaciones ASTM:	
ASTM A-6	Especificación general para dimensiones y tolerancias.
ASTM A-36	Acero estructural de 36 KSI mínimo de límite elástico y de 58-80 KSI de resistencia a la tensión.
ASTM A-572-50	Acero calidad estructural de alta resistencia y baja aleación de 50 KSI mínimo de límite elástico y 65 KSI mínimo de resistencia a la tensión.
ASTM A-992	Acero calidad estructural, cuya relación límite elástico / última tensión, debera ser menor o igual que 0.85 y el carbón equivalente de 0.45 máx.
Grado Dual A-36/A-572-50	Acero calidad estructural de alta resistencia y baja aleación de 50 KSI mínimo de límite elástico y 65-80 KSI de resistencia a la tensión.

Composición química y propiedades mecánicas

Propiedades	ASTM A-992	ASTM A-36	ASTM A-36 / A-572-50	Grado dual ASTM A-572-50
Límite elástico (KSI)	50 - 65	36 (mín)	50 (mín)	50 (mín)
Res. a la tensión (KSI)	65 (mín)	58 - 80	65 - 80	65 (mín)
% elongación en 8”	18 (mín)	20 (mín)	20 (mín)	18 (mín)
% elongación en 2”	21 (mín)	23 (mín)	23 (mín)	21 (mín)
% Carbono	0.23 (máx)	0.26 (máx)	0.22 (máx)	0.23 (máx)
% Manganeso	0.50 - 1.60	-	0.50 - 1.20	1.35 (máx)
% Fósforo	0.035 (máx)	0.04 (máx)	0.035 (máx)	0.04 (máx)
% Azufre	0.045 (máx)	0.05 (máx)	0.04 (máx)	0.05 (máx)
% Silicio	0.40 (máx)	0.40 (máx)	0.40 (máx)	0.40 (máx)
% Niobio o Columbio	0.05 (máx)	-	0.005 - 0.05	0.005 - 0.05
% Vanadio	-	-	0.005 - 0.05	0.005 - 0.05

Nota: Cobre = 0.20% mínimo, cuando sea requerido.

Dimensiones teóricas y propiedades de diseño (milímetros)

Vigas Perfil Rectangular (IR)		Peso		Área	Alma		Patín		Distancia			Eje X-X			Eje Y-Y			Módulos Secc. Plásticos	
Pulgadas	mm	lb/ft	kg/m	A mm^2	A d mm	Esp/Alma t_w mm	Patín b_f mm	Esp/Patín b_f mm	K Diseño mm	K Detalle mm	K_1 mm	I_x $mm^4/10^6$	S_x $mm^3/10^3$	r_x mm	I_y $mm^4/10^6$	S_y $mm^3/10^3$	r_x mm	Z_x $mm^3/10^3$	Z_y $mm^3/10^3$
W 6 (6 x 4)	150 x 102	9	13.392	1730	150	4.32	100	5.46	11.80	17.50	12.700	6.83	91.1	62.7	0.92	18.2	23.0	102.0	28.2
		12	17.856	2290	153	5.84	102	7.11	13.50	19.10	14.288	9.20	120.0	63.2	1.24	24.6	23.3	136.0	38.0
		16	23.808	3060	160	6.60	102	10.30	16.60	22.20	14.288	13.40	167.0	66.0	1.84	36.1	24.6	192.0	55.6
W 6 (6 x 6)	150 x 152	15	22.320	2860	152	5.84	152	6.60	13.00	19.10	14.288	12.10	159.0	65.0	3.88	51.0	36.8	177.0	77.8
		20	29.760	3790	157	6.60	153	9.27	15.60	22.20	14.288	17.20	220.0	67.6	5.54	72.3	38.1	246.0	110.0
		25	37.200	4740	162	8.13	154	11.60	17.90	23.80	14.288	22.20	274.0	68.6	7.12	91.9	38.6	310.0	140.0
W 8 (8 x 4)	200 x 102	10	14.880	1910	200	4.32	100	5.21	12.80	17.50	12.700	12.80	128.0	81.8	0.87	17.4	21.4	145.0	27.2
		13	19.344	2480	203	5.84	102	6.48	14.10	19.10	14.288	16.50	162.0	81.5	1.14	22.5	21.4	187.0	35.2
		15	22.320	2860	206	6.22	102	8.00	15.60	20.60	14.288	20.00	193.0	83.6	1.42	27.9	22.3	223.0	43.8
W 8 (8 x 5 1/4)	200 x 133	18	26.784	3390	207	5.84	133	8.38	16.00	20.60	14.288	25.80	249.0	87.1	3.32	49.8	31.2	279.0	76.4
		21	31.248	3970	210	6.35	134	10.20	17.80	22.20	14.288	31.30	298.0	88.6	4.07	60.8	32.0	334.0	93.2
W 10 (10 x 4)	250 x 102	12	17.856	2280	251	4.83	101	5.33	13.00	19.10	14.288	22.40	179.0	99.1	0.91	18.0	19.9	206.0	28.5
		15	22.320	2850	254	5.84	102	6.86	14.50	20.60	14.288	28.70	226.0	100.0	1.20	23.8	20.6	262.0	37.7
		17	25.296	3220	257	6.10	102	8.38	16.00	22.20	14.288	34.10	265.0	103.0	1.48	29.2	21.5	306.0	45.9
		19	28.272	3630	259	6.35	102	10.00	17.70	23.80	15.875	40.10	308.0	105.0	1.79	35.1	22.2	354.0	54.9
W 10 (10 x 5 3/4)	250 x 146	22	32.736	4190	259	6.10	146	9.14	16.80	23.80	15.875	49.10	380.0	108.0	4.75	65.1	33.8	426.0	100.0
		26	38.688	4910	262	6.60	147	11.20	18.80	27.00	17.463	59.90	457.0	110.0	5.87	80.1	34.5	513.0	123.0
		30	44.640	5700	267	7.62	148	13.00	20.60	28.60	17.463	70.80	531.0	111.0	6.95	94.2	34.8	600.0	145.0
W 12 (12 x 4)	310 x 102	14	20.832	2680	302	5.08	101	5.72	13.30	19.10	14.288	36.90	244.0	117.0	0.98	19.5	19.1	285.0	31.1
		16	23.808	3040	305	5.59	101	6.73	14.40	20.60	14.288	42.90	280.0	119.0	1.17	23.1	19.6	329.0	37.0
		19	28.272	3590	310	5.97	102	8.89	16.50	22.20	14.288	54.10	349.0	122.0	1.57	30.8	20.9	405.0	48.8
		22	32.736	4180	312	6.60	102	10.80	18.40	23.80	15.875	64.90	416.0	125.0	1.94	37.9	21.5	480.0	60.0
W 12 (12 x 6 1/2)	310 x 165	26	38.688	4940	310	5.84	165	9.65	17.30	27.00	19.050	84.90	547.0	131.0	7.20	87.5	38.4	610.0	134.0
		30	44.640	5670	312	6.60	166	11.20	18.80	28.60	19.050	99.10	633.0	132.0	8.45	102.0	38.6	706.0	157.0
		35	52.080	6650	318	7.62	167	13.20	20.80	30.20	19.050	119.00	747.0	133.0	10.20	122.0	39.1	839.0	188.0
W 12 (12 x 8)	310 x 203	40	59.520	7550	302	7.49	203	13.10	25.90	34.90	22.225	128.00	844.0	130.0	18.40	180.0	49.3	934.0	275.0
		45	66.960	8450	307	8.51	204	14.60	27.40	34.90	23.8125	145.00	946.0	131.0	20.80	203.0	49.5	1050.0	311.0
		50	74.400	9420	310	9.40	205	16.30	29.00	38.10	23.813	163.00	1050.0	132.0	23.40	228.0	49.8	1180.0	348.0

Dimensiones teóricas y propiedades de diseño (milímetros)

Vigas Perfil Rectangular (IR)		Peso		Área	Alma		Patín		Distancia			Eje X-X			Eje Y-Y			Módulos Secc. Plásticos	
Pulgadas	mm	lb/ft	kg/m	A mm^2	A d mm	Esp/Alma t_w mm	Patín b_f mm	Esp/Patín b_f mm	K Diseño mm	K Detalle mm	K_1 mm	I_x $mm^4/10^6$	S_x $mm^3/10^3$	r_x mm	I_y $mm^4/10^6$	S_y $mm^3/10^3$	r_x mm	Z_x $mm^3/10^3$	Z_y $mm^3/10^3$
W 14 (14 x 5)	360 x 127	22	32.736	4190	348	5.84	127	8.51	18.70	27.00	19.050	82.80	475.0	141.0	2.91	45.9	26.4	544.0	71.9
		26	38.688	4960	353	6.48	128	10.70	20.80	28.60	19.050	102.00	578.0	144.0	3.71	58.2	27.4	659.0	90.8
W 14 (14 x 6 3/4)	360 x 171	30	44.640	5710	351	6.86	171	9.78	19.90	28.60	19.05	121.00	688.0	146.0	8.16	95.4	37.8	775.0	147.0
		34	50.592	6450	356	7.24	171	11.60	21.70	30.20	19.05	142.00	796.0	148.0	9.70	113.0	38.9	895.0	174.0
		38	56.544	7230	358	7.87	172	13.10	23.20	31.80	20.6375	160.0	895.0	149.0	11.10	129.0	39.4	1010.0	198.0
W 14 (14 x 8)	360 x 203	43	63.984	8130	348	7.75	203	13.50	28.40	34.90	25.400	178.00	1030.0	148.0	18.80	185.0	48.0	1140.0	283.0
		48	71.424	9100	351	8.64	204	15.10	30.20	36.50	25.400	201.00	1150.0	149.0	21.40	210.0	48.5	1280.0	321.0
		53	78.864	10100	353	9.40	205	16.80	31.80	38.10	25.400	225.00	1270.0	150.0	24.00	234.0	48.8	1430.0	361.0
W 16 (16 x 5 1/2)	410 x 140	26	38.688	4950	399	6.35	140	8.76	19.00	27.00	19.050	125.00	629.0	159.0	3.99	57.2	28.4	724.0	89.8
		31	46.128	5890	404	6.99	140	11.20	21.40	28.60	19.050	156.00	773.0	163.0	5.16	73.6	29.7	885.0	115.0
W 16 (16 x 7)	410 x 178	36	53.568	6840	404	7.49	178	10.90	21.10	28.60	19.050	186.00	926.0	165.0	10.20	115.0	38.6	1050.0	177.0
		40	59.520	7610	406	7.75	178	12.80	23.00	30.20	20.638	216.00	1060.0	168.0	12.00	135.0	39.9	1200.0	208.0
		45	66.960	8580	409	8.76	179	14.40	24.60	31.80	20.638	244.00	1190.0	169.0	13.70	153.0	39.9	1350.0	238.0
		50	74.400	9480	414	9.65	180	16.00	26.20	33.30	20.638	274.00	1330.0	170.0	15.50	172.0	40.4	1510.0	267.0
		57	84.816	10800	417	10.90	181	18.20	28.40	34.90	22.225	316.00	1510.0	171.0	17.90	198.0	40.6	1720.0	310.0
W 18 (18 x 6)	460 x 152	35	52.080	6650	450	7.62	152	10.80	21.00	28.60	19.050	212.00	944.0	179.0	6.37	83.9	31.0	1090.0	132.0
		40	59.520	7610	455	8.00	153	13.30	23.50	30.20	20.638	255.00	1120.0	183.0	7.95	104.0	32.3	1280.0	164.0
		46	68.448	8710	460	9.14	154	15.40	25.70	31.80	20.638	296.00	1290.0	184.0	9.37	122.0	32.8	1490.0	192.0
W 18 (18 x 7 1/2)	460 x 190	50	74.400	9480	457	9.02	191	14.50	24.70	31.80	20.638	333.00	1460.0	187.0	16.70	175.0	41.9	1660.0	272.0
		55	81.840	10500	460	9.91	191	16.00	26.20	33.30	20.638	370.00	1610.0	188.0	18.70	195.0	42.4	1840.0	303.0
		60	89.280	11400	462	10.50	192	17.70	27.90	34.90	20.638	410.00	1770.0	190.0	20.90	218.0	42.7	2020.0	338.0
		65	96.720	12300	467	11.40	193	19.10	29.20	36.50	22.225	445.00	1920.0	190.0	22.80	236.0	42.9	2180.0	368.0
		71	105.648	13400	470	12.60	194	20.60	30.70	38.10	22.225	487.00	2080.0	191.0	25.10	259.0	43.2	2390.0	405.0

CAPITULO

V

Regionalización de riesgos naturales en la república mexicana para el diseño de estructuras

- V.1 **REGIONALIZACIÓN SÍSMICA DE LA REPÚBLICA MEXICANA**
- V.2 **REGIONALIZACIÓN EÓLICA DE LA REPÚBLICA MEXICANA**

CAPITULO

V.1 REGIONALIZACIÓN SÍSMICA DE LA REPÚBLICA MEXICANA

- V.1.1 REGIONALIZACIÓN SÍSMICA (2009)
- V.1.2 ESPECTROS DE DISEÑO / PARAMETROS DE ESPECTROS SÍSMICOS
- V.1.3 ANTECEDENTES / VARIACIÓN DE LOS ESPECTROS CON Ts
- V.1.4 ZONAS SISMOGÉNICAS
- V.1.5 ACELERACION MÁXIMA DEL TERRENO (ROCA)
- V.1.6 MAPA DE REGIONALIZACIÓN SÍSMICA
- V.1.7 ACELERACIÓN MÁXIMA DEL TERRENO (ROCA) / DISEÑO ÓPTIMO
- V.1.8 PELIGRO SÍSMICO / C ÓPTIMOS, T= 0.3 seg GRUPO A
- V.1.9 PELIGRO SÍSMICO / C (GRUPO A) / C (GRUPO B)

Introducción
Debido a las características geomorfológicas e historia de desastres naturales, así como de la prospectiva, nuestro país está expuesto a las siguientes contingencias:

- Sismos o terremotos
- Fallas geológicas
- Hundimientos, fracturas y colapsos de suelos
- Deslizamientos de taludes inestables
- Derrumbes de túneles
- Agrietamiento del suelo
- Actividad volcánica
- Lluvias torrenciales, deslizamientos de tierra, inundaciones
- Fugas, incendios y explosiones
- Contaminación ambiental
- Derrames de sustancias tóxicas y radioactivas
- Epidemias
- Cambios climáticos, entre otros

La incidencia sísmica a nivel mundial ha aumentado dramáticamente en los últimos años.

México se localiza en una de las zonas de mayor actividad sísmica a nivel mundial. Probablemente en nuestro país ocurre alrededor del 4% de los temblores que se presentan en el mundo entero.

Aproximadamente dos terceras partes del territorio nacional están expuestas a riesgo símico apreciable. Los reportes disponibles sobre temblores, señalan que anualmente ocurren en México aproximadamente 1 240 sismos de intensidad menor y que la mayoría de los epicentros se ubican en la brecha sísmica de Guerrero. Durante el pasado siglo han ocurrido un poco más de 30 temblores de magnitud superior a siete grados en la escala de Richter.

La historia de los temblores mexicanos ha demostrado que en un lapso promedio de quince años ocurre un sismo de gran magnitud que ocasiona grandes pérdidas de vidas humanas, daños materiales cuantiosos y el colapso de numerosos edificios e instalaciones estratégicas en la ciudad de México (1957, 1979 y 1985)

Varias ciudades de nuestro país: Guadalajara Acapulco, Colima y una gran multitud de poblaciones de los estados de Guerrero, Michoacán, Oaxaca, Jalisco y Colima, están propensas a los embates de sismos fuertes. La probabilidad de que en los próximos años ocurra un sismo de características similares a los de 1985, no es remota.

A lo largo de la zona de subducción se establecen segmentos denominados “Brechas sísmicas” que se definen por la recurrencia de grandes temblores, que representan un proceso de acumulación de energía que súbitamente se libera.

La relativa cercanía de la ciudad de México con la Brecha de Guerrero, aunado a las características especiales del subsuelo de la zona lacustre, que se encuentra en condiciones de sobresaturación, funciona como un amplificador de las aceleraciones de las ondas sísmicas en algunas zonas de la ciudad. Esta es una de las principales causas de los daños observados durante temblores fuertes.

En la zona costera del Océano Pacífico se acumulan grandes cantidades de energía que viajan y afectan principalmente a la ciudad de México. De ello se desprende que el conocimiento de esta zona de subducción es fundamental para determinar la frecuencia de sismos en la ciudad de México.

Las placas que afectan al país son: la Placa Continental o de Norteamérica, la Placa del Pacifico, la Placa de Cocos, la Placa de la Rivera y la Placa del Caribe. Entre los límites de las placas se generan fuerzas de fricción, que mantienen inmovilizadas las placas adyacentes, produciendo grandes esfuerzos en los materiales, cuando sobrepasan la resistencia de la roca, o cuando vence la fuerza de fricción, se produce una ruptura violenta y liberación repentina de la energía acumulada, la que se propaga desde el epicentro en forma de ondas, en todas direcciones, a través del medio sólido de la tierra, que son conocidas como ondas sísmicas.

El riesgo sísmico de un asentamiento humano depende de varios factores: concentración de la población, uso del suelo, tipo de subsuelo y del tipo de construcción

Actualmente, la zona con mayor potencial sísmico en nuestro país es la Brecha de Guerrero, donde la placa de Cocos se desliza por debajo de la placa de Norteamérica, en un movimiento de subducción, lo que afecta la mayor parte del litoral del pacífico, sitio donde se pueden producir uno o más sismos mayores en un futuro cercano.

Los sismos son una amenaza para las personas y bienes mucho más grave de lo que se piensa. A través de los siglos, las pérdidas de vidas humanas y los daños originados por esta causa han sido incalculables.

De acuerdo con lo anterior, el territorio mexicano se encuentra clasificado según el peligro sísmico a que están sujetas las edificaciones y, en general, las construcciones que se planee realizar.

Se han establecido cuatro zonas: A, B, C y D, las que representan zonas de menor a mayor peligro. Estas se han definido, básicamente, en función de la sismicidad propia de cada región.

A esta clasificación se le conoce como regionalización sísmica y tiene como principal objetivo, junto con Manuales de Obras Civiles de la Comisión Federal de Electricidad al 2008, proporcionar la información necesaria de los parámetros de análisis sísmico de los valores con que se deben diseñar cualquier obra, de tal manera que ésta resulte razonablemente segura y su costo no sea excesivo.

Cabe señalar que la regionalización indicada es aplicable a estructuras construidas en terreno firme y toma en cuenta el fenómeno de amplificación del movimiento sísmico por efecto de suelos blandos. Este fenómeno puede ser decisivo para el peligro sísmico de algunos puntos, como la ciudad de México.

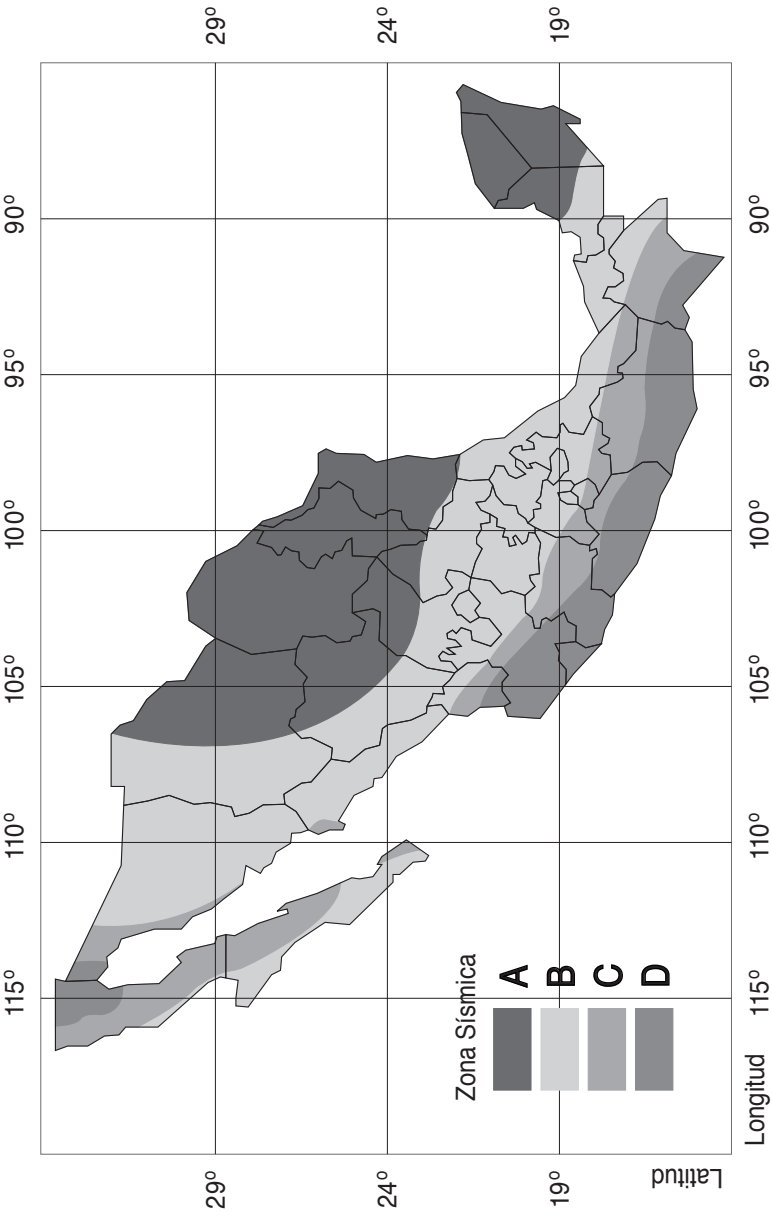
La mayor parte de los sismos de grandes magnitudes y que son los que ocasionan grandes daños a las edificaciones, tienen epicentros en la costa del Pacifico, a lo largo de Jalisco, Colima, Michoacán, Guerrero, y Oaxaca.

Sin embargo, también han ocurrido sismos en el centro y sur de Veracruz y Puebla, partes norte y centro de Oaxaca, Chiapas, Estado de México y la Península de Baja California. Especialmente en la zona fronteriza con los Estados Unidos.

En los Estados de Sinaloa, Zacatecas, Durango, Yucatán y Sonora la sismicidad es baja. Aunque en Sonora ocurrió un sismo de magnitud de 7.3 a fines del siglo pasado. En los estados restantes no se han originado sismos de importancia aunque algunos estados llegan a ser afectados por los grandes sismos que se originan en otras regiones, como es caso, de Nayarit, Guanajuato, Querétaro, Hidalgo, Tlaxcala y Tabasco.

V.1.1 Regionalización sísmica (2009)

Fuente: Memoria del Seminario práctico de análisis de los efectos por viento y sismo, 16 al 18 de junio de 2010, Morelia, Mich., Centro Regional de Desarrollo en Ingeniería Civil.



Parámetros de espectros sísmicos para estructuras del Grupo B.

Zona sísmica	Tipo de suelo	a_o	c	T_a (s)	T_b (s)	r
A	I	0.02	0.08	0.2	0.6	1/2
	II	0.04	0.16	0.3	1.5	2/3
	III	0.05	0.20	0.6	2.9	1.0
B	I	0.04	0.14	0.2	0.6	1/2
	II	0.08	0.30	0.3	1.5	2/3
	III	0.10	0.36	0.6	2.9	1.0
C	I	0.36	0.36	0.0	0.6	1/2
	II	0.64	0.64	0.0	1.4	2/3
	III	0.64	0.64	0.0	1.9	1.0
D	I	0.50	0.50	0.0	0.6	1/2
	II	0.86	0.86	0.0	1.2	2/3
	III	0.86	0.86	0.0	1.7	1.0

Terreno tipo II

Zonas sísmicas A y B $\begin{cases} T_a = 0.64\,T_s \\ T_b = 1.2\,T_s; \end{cases}$ $0.6 < T_b < 1.5$ s

Zona sísmica C $\{T_b = 1.2\,T_s;$ $0.6 < T_b < 1.4$ s

Zona sísmica D $\{T_b = 1.2\,T_s;$ $0.6 < T_b < 1.2$ s

Terreno tipo III

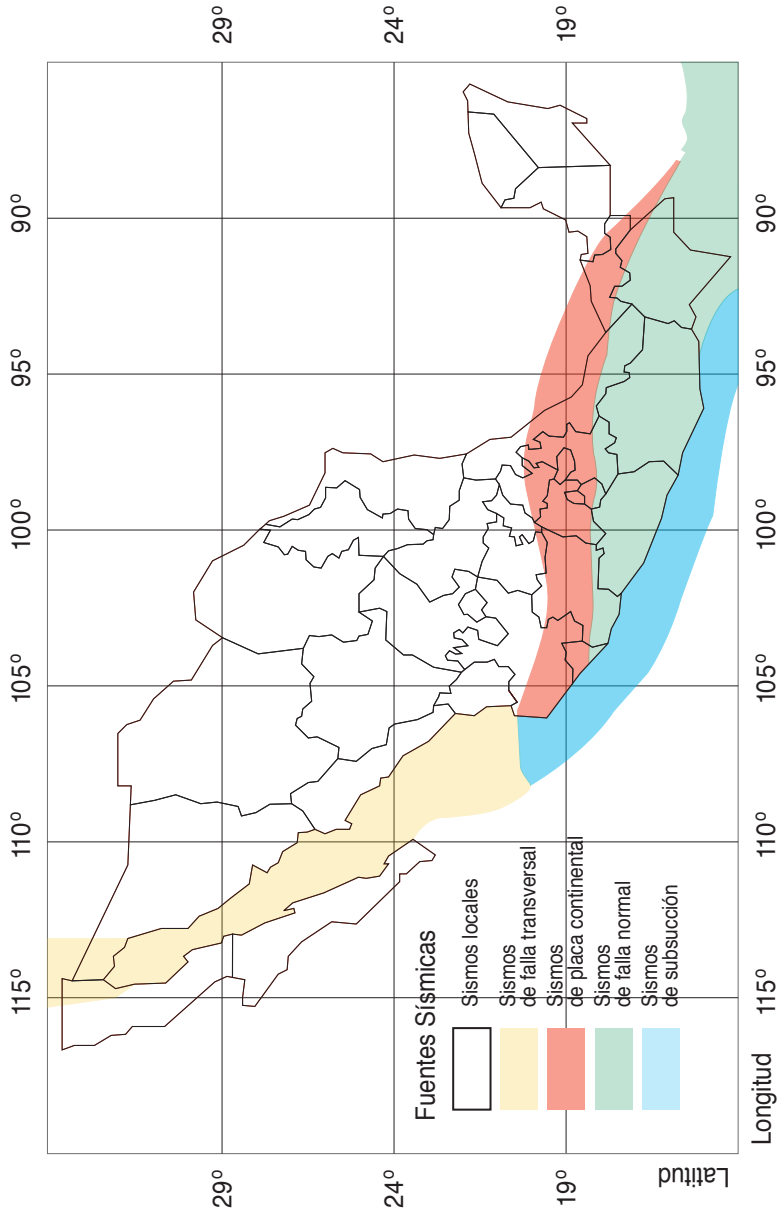
Zonas sísmicas A y B $\begin{cases} T_a = 0.35\,T_s \\ T_b = 1.2\,T_s; \end{cases}$ $0.8 < T_b < 2.9$ s

Zona sísmica C $\{T_b = 1.2\,T_s;$ $0.8 < T_b < 1.9$ s

Zona sísmica D $\{T_b = 1.2\,T_s;$ $0.8 < T_b < 1.7$ s

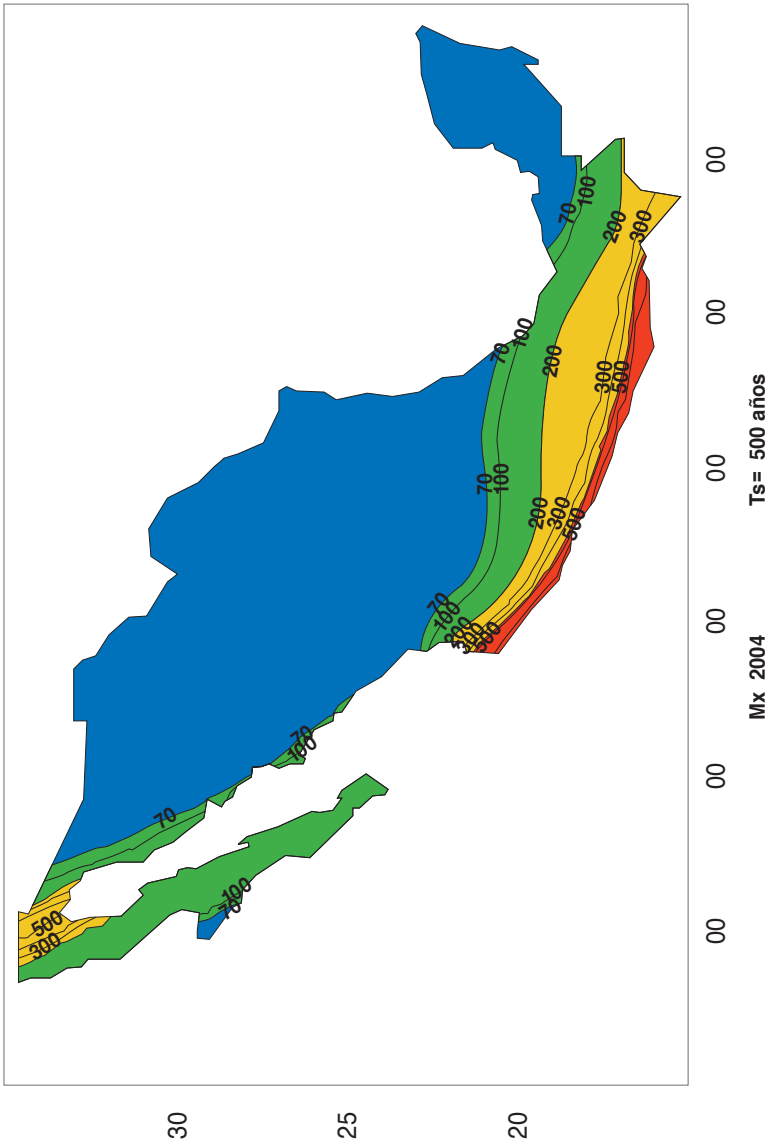
V.1.4 Zonas sismogénicas

Fuente: Memoria del Seminario práctico de análisis de los efectos por viento y sismo, 16 al 18 de junio de 2010, Morelia, Mich., Centro Regional de Desarrollo en Ingeniería Civil.



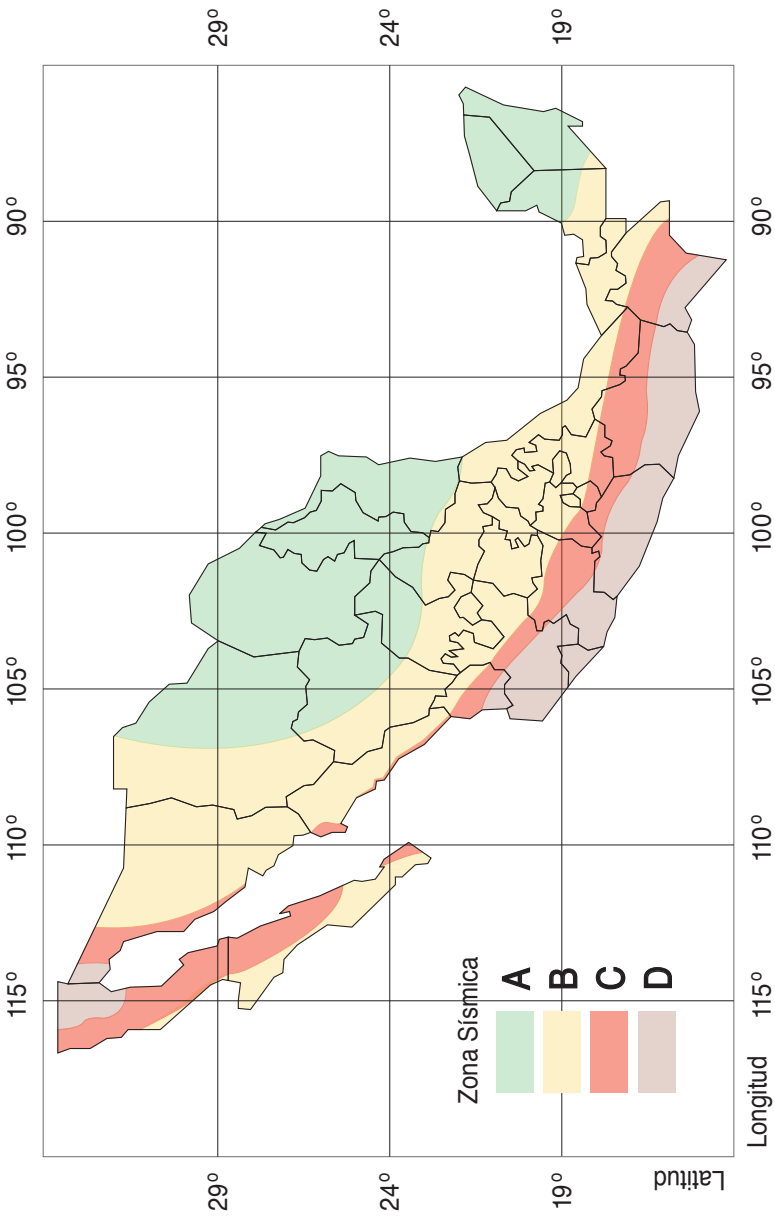
V.1.5 Aceleración máxima del terreno (roca)

Fuente: Memoria del Seminario práctico de análisis de los efectos por viento y sismo, 16 al 18 de junio de 2010, Morelia, Mich., Centro Regional de Desarrollo en Ingeniería Civil.



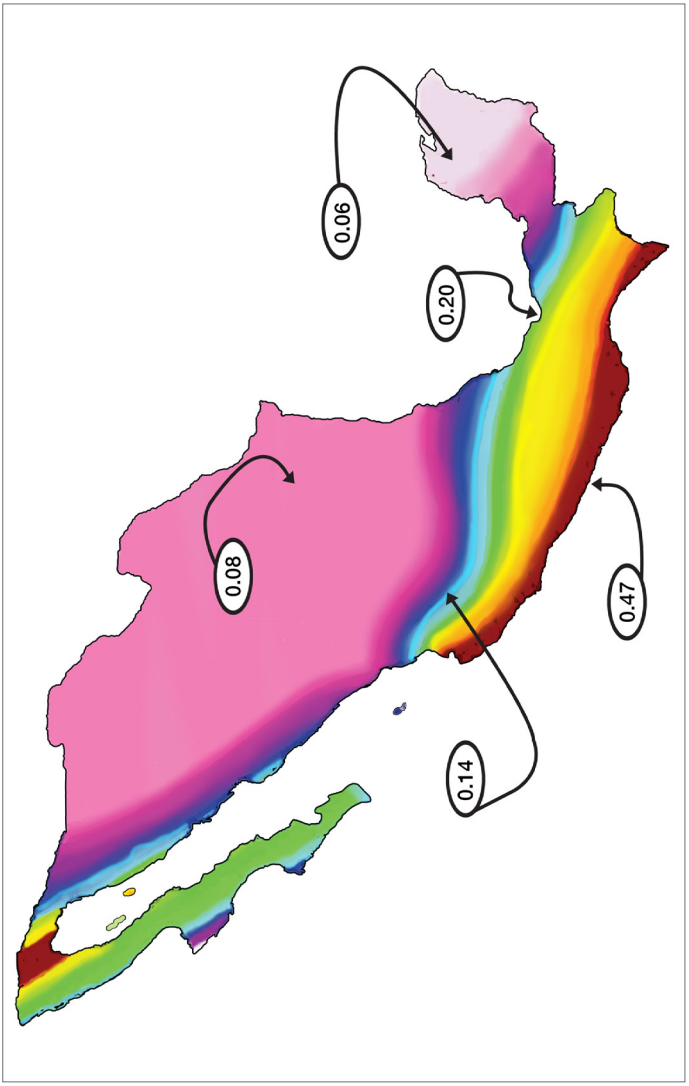
V.1.6 Mapa de regionalización sísmica

Fuente: Memoria del Seminario práctico de análisis de los efectos por viento y sismo, 16 al 18 de junio de 2010, Morelia, Mich., Centro Regional de Desarrollo en Ingeniería Civil.



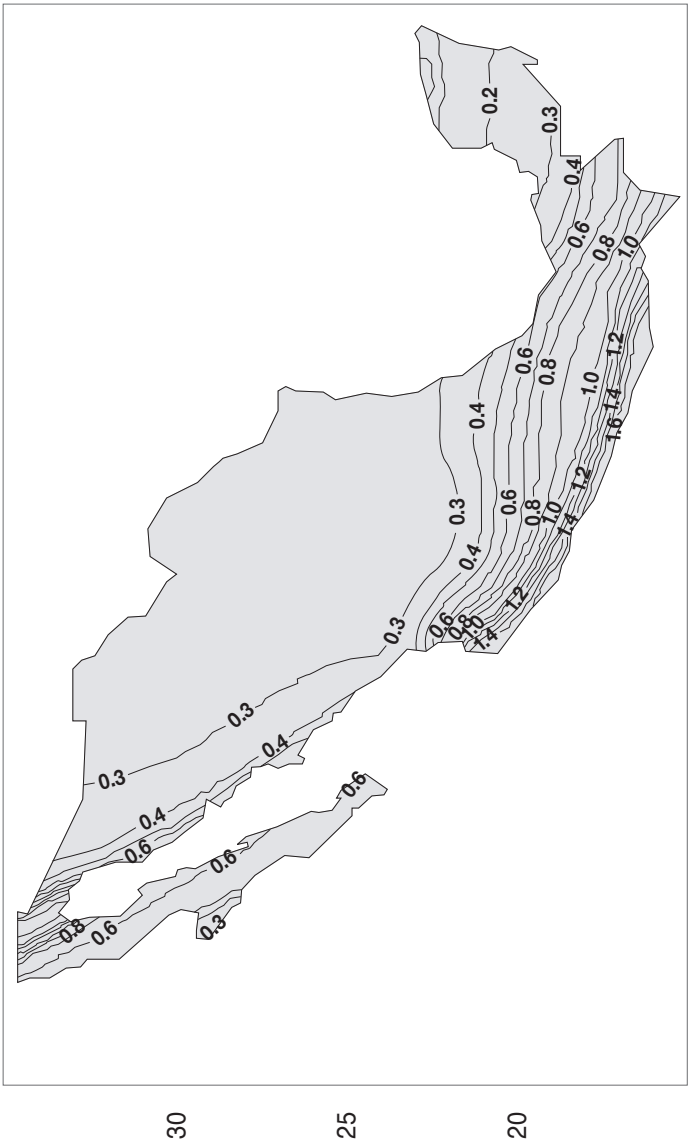
V.1.7 Aceleración máxima del terreno (roca) / Diseño óptimo

Fuente: Memoria del Seminario práctico de análisis de los efectos por viento y sismo, 16 al 18 de junio de 2010, Morelia, Mich., Centro Regional de Desarrollo en Ingeniería Civil.



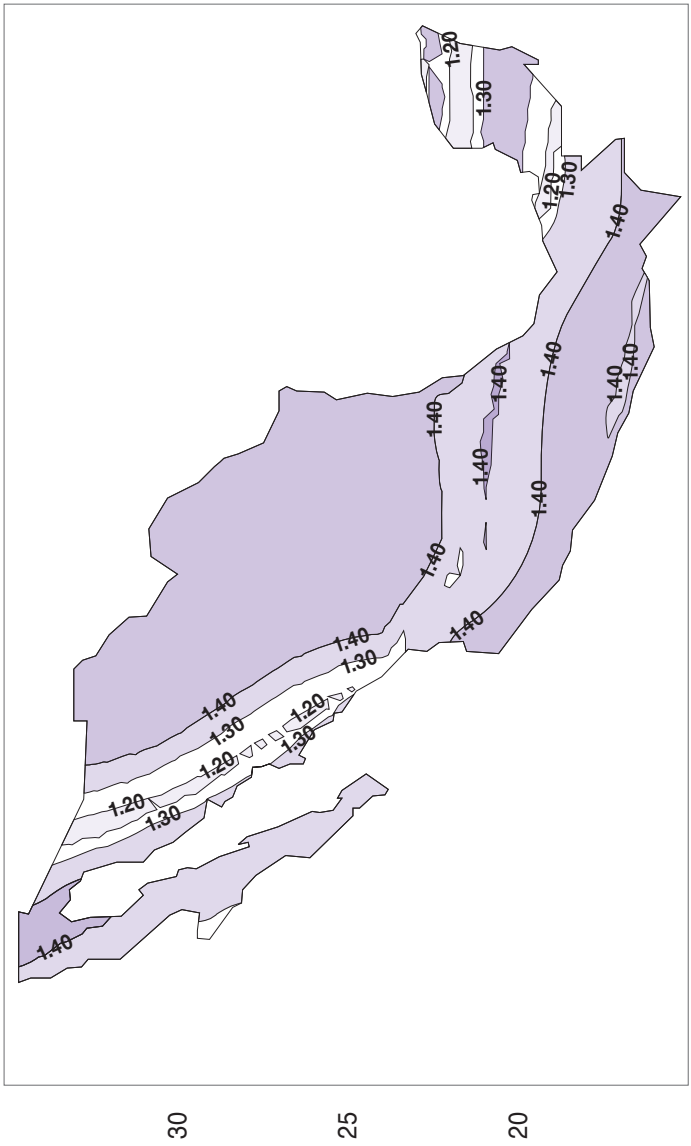
V.1.8 *Peligro sísmico / C Óptimos, T= 0.3 seg, Grupo A*

Fuente: Memoria del Seminario práctico de análisis de los efectos por viento y sismo, 16 al 18 de junio de 2010, Morelia, Mich., Centro Regional de Desarrollo en Ingeniería Civil.



V.1.9 *Peligro sísmico / C (Grupo A) / C (Grupo B)*

Fuente: Memoria del Seminario práctico de análisis de los efectos por viento y sismo, 16 al 18 de junio de 2010, Morelia, Mich., Centro Regional de Desarrollo en Ingeniería Civil.



CAPITULO

V

V.2 Regionalización eólica de la República Mexicana

- V.2.1 Regionalización de vientos, UNAM, edición 1964
- V.2.2 Isocatas 2008

Introducción

Una gran parte de nuestro país está sujeta de manera apreciable y recurrente a los efectos de las acciones inducidas por amenazas naturales, como el viento y sismo. Las pérdidas lamentables de vidas humanas, los graves daños que ocasionan estas amenazas naturales en las edificaciones convencionales y en las estructuras especiales (naves industriales, torres de telecomunicaciones, anuncios espectaculares, silos y tanques de almacenamiento, etc.), así como la interrupción de los servicios de las instalaciones estratégicas, líneas vitales y de comunicación, sistema de transporte carretero, etc, han motivado la actualización de las técnicas empleadas para encaminarlas a optimizar el diseño y desempeño de las estructuras ante los efectos producidos por estas acciones.

En México, los ciclones tropicales se presentan entre los meses de mayo y noviembre, su desplazamiento todavía no es previsible.

Por otra parte, desde su primera publicación en 1969, el Manual de Diseño de Obras Civiles (MOC) de la Comisión Federal de Electricidad ha sido la referencia de consulta más importante y actualizada en México para los ingenieros estructuristas, en virtud de que en la mayor parte del país no se cuenta con una normatividad relativa sobre la evaluación de los efectos de las acciones del viento y sismo. En los nuevos Manuales de Diseño por Viento y Sismo (MOC-Sismo y Viento-2008), se ha efectuado una revisión exhaustiva en materia de investigación y estandarización a nivel internacional dando como resultado la actualización de los criterios de diseño por viento y sismo.

Los Manuales de Diseño por Viento y Sismo (2008), contienen las bases e hipótesis en que se basa su actualización, cuyas aportaciones técnicas, hechas por un grupo de expertos en la materia, enriquece el estado de la ingeniería de viento y sismo en México con el fin de lograr diseños estructurales más confiables y óptimos ante estas solicitaciones.

El efecto del viento se representa en el diseño de la mayoría de las estructuras por medio de presiones y fuerzas aplicadas en forma estática. Las construcciones se analizan suponiendo que el viento actúa por lo menos en dos direcciones horizontales, perpendiculares entre sí.

Las acciones del viento que deben tomarse en cuenta en el análisis de la estructura son:

- Empujes medios.
- Vibraciones generadas por ráfagas turbulentas en la dirección del viento.
- Vibraciones transversales al flujo y torsión.
- Inestabilidad aerodinámica.

Al definirse el viento como acción accidental deberá combinarse su efecto con los de las cargas muertas permanente y variables (carga muerta y carga viva) y aplicarse al efecto total un factor de carga de 1.1.

En algunas formas estructurales se podrá predecir los efectos dinámicos del viento, pero en otras será necesario realizar ensayes experimentales con modelos físicos, en un túnel de viento.

Aún para las estructuras más flexibles en que los efectos dinámicos son importantes, éstos se toman en cuenta mediante factores de amplificación de los valores básicos de las presiones estáticas.

Las estructuras de acero localizadas en zonas sujetas a huracanes u otras condiciones extraordinarias, se diseñarán tomando en consideración tales condiciones. Se debe estudiar el efecto local de presiones interiores. Debe revisarse la estabilidad de la cubierta y sus anclajes, así como la posible inversión de esfuerzos en los diversos elementos estructurales.

Para el análisis de estructuras contra la acción del viento, se recomienda al usuario consultar el Manual de Obras Civiles de la Comisión Federal de Electricidad, (MOC-Diseño por viento, 2008). Este manual contiene los criterios para efectuar el análisis por viento, y especifica los procedimientos de análisis de las estructuras convencionales; quedan fuera algunas estructuras particularmente sensibles al efecto de viento, como las líneas de transmisión y los puentes colgantes, para los que deberá recurrirse a especificaciones, normas o literatura especializada.

Otra referencia importante de consulta para el análisis por viento son las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Viento del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal 2004 (NTC-Viento-2004), que son de carácter obligatorio para edificaciones ubicadas en la ciudad de México y que contienen las bases y los procedimientos para la revisión de la seguridad y condiciones de servicio de las estructuras sujetas a los efectos de este agente natural.

En esta última edición de las NTC-Viento 2004, se actualizaron los capítulos de diseño, método estático de diseño por viento, diseño de elementos de recubrimiento, empujes dinámicos paralelos al viento, efecto de vórtices periódicos sobre estructuras principales.

Regionalización eólica de la República Mexicana

Los fenómenos naturales que pueden representar riesgos potenciales para la población de nuestro país están asociados con fenómenos hidrometeorológicos, dentro de los que destacan los vientos fuertes, las lluvias intensas, los “downburst” y las altas y bajas temperaturas, que se suscitan en las diferentes épocas del año, que sumados a las características geográficas y climáticas de la región, tienen gran impacto en las actividades socioeconómicas de la sociedad.

El cambio climático global, desde hace varios años, ha incidido desfavorablemente sobre las condiciones atmosféricas en todo el mundo y periódicamente en nuestro país, ha implicado la modificación de las características climáticas que controlan el medio ambiente, teniendo como consecuencia la presencia de ciclones, incendios, inundaciones, así como grandes avenidas y precipitaciones extraordinarias que han provocado el deslizamiento de taludes inestables.

Además de estas consideraciones, se presentan las afectaciones de las estructuras que se ven favorecidas por la presencia de vientos fuertes en las zonas costeras de nuestro país.

Velocidades máximas de vientos
El efecto del viento sobre las construcciones se refiere a la acción accidental que produce el aire en movimiento sobre los objetos que se le interpone, y consiste, de empujes y succiones.

Para establecer recomendaciones para el análisis por viento de estructuras es necesario contar con información relativa a las velocidades máximas y la frecuencia con que pueden presentarse.

Esta información se obtiene haciendo estudios de los registros de las velocidades proporcionados por anemómetros de presión y de rotación, que son los instrumentos utilizados actualmente para la medición de las velocidades del viento. Para estandarizar la información las velocidades suelen referirse a una altura de 10 m. Como los anemómetros pueden instalarse a diferentes alturas es necesario hacer ajustes de acuerdo con las leyes de variación del viento con la altura.

Las velocidades regionales del país y para edificaciones del grupo A, se indican en las siguientes figuras. Para la determinación de la velocidad básica, la velocidad de diseño, criterio de análisis y la determinación de las presiones de diseño por viento, se tomarán del Manual de Diseño de Obras Civiles (MOC 2008).

En el caso de acciones distintas a las señaladas en este capítulo, tales como empujes de tierra o de líquidos, efectos de contracción o cargas dinámicas producidas por equipo o maquinaría, sus intensidades deben determinarse para cada caso en particular, tomando como base hipótesis congruentes con el problema particular que se presente.

Temperaturas máximas y mínimas
La presencia de bajas y altas temperaturas han impactado directamente a la población y modifican los patrones de dispersión de contaminantes, causando un efecto secundario de afectación.

Referencias:
Memoria del Seminario práctico de análisis de los efectos por viento y sismo. Acciones por Viento en Estructuras, Colegio de Ingenieros Civiles de Michoacán y Centro Regional de Desarrollo en Ingeniería Civil, 16 y 18 de julio, 2009, Morelia, Mich.

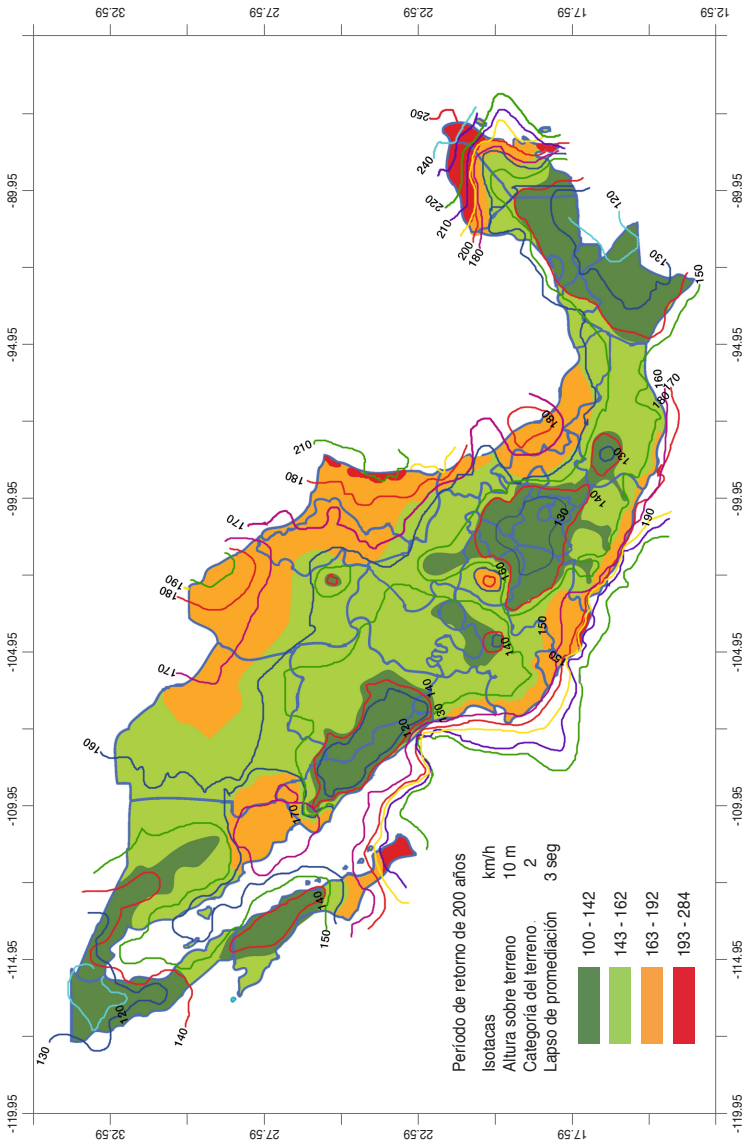
Manual de Diseño de Obras Civiles. Diseño de viento Comisión Federal de Electricidad e Instituto de Investigaciones Eléctricas, México, D.F. 2008.

V.2.1 Regionalización de vientos, UNAM, edición 1964

Fuente: Memoria del Seminario práctico de análisis de los efectos por viento y sismo, 16 al 18 de junio de 2010, Morelia, Mich., Centro Regional de Desarrollo en Ingeniería Civil.

V.2.2 Isotacas 2008

Fuente: Memoria del Seminario práctico de análisis de los efectos por viento y sismo, 16 al 18 de junio de 2010, Morelia, Mich., Centro Regional de Desarrollo en Ingeniería Civil.



CAPITULO

VI

Fórmulas y diagramas

- VI.1 VIGAS CON DIFERENTES CONDICIONES DE CARGA
- VI.2 ARMADURAS
- VI.3 MARCOS RÍGIDOS

CAPITULO

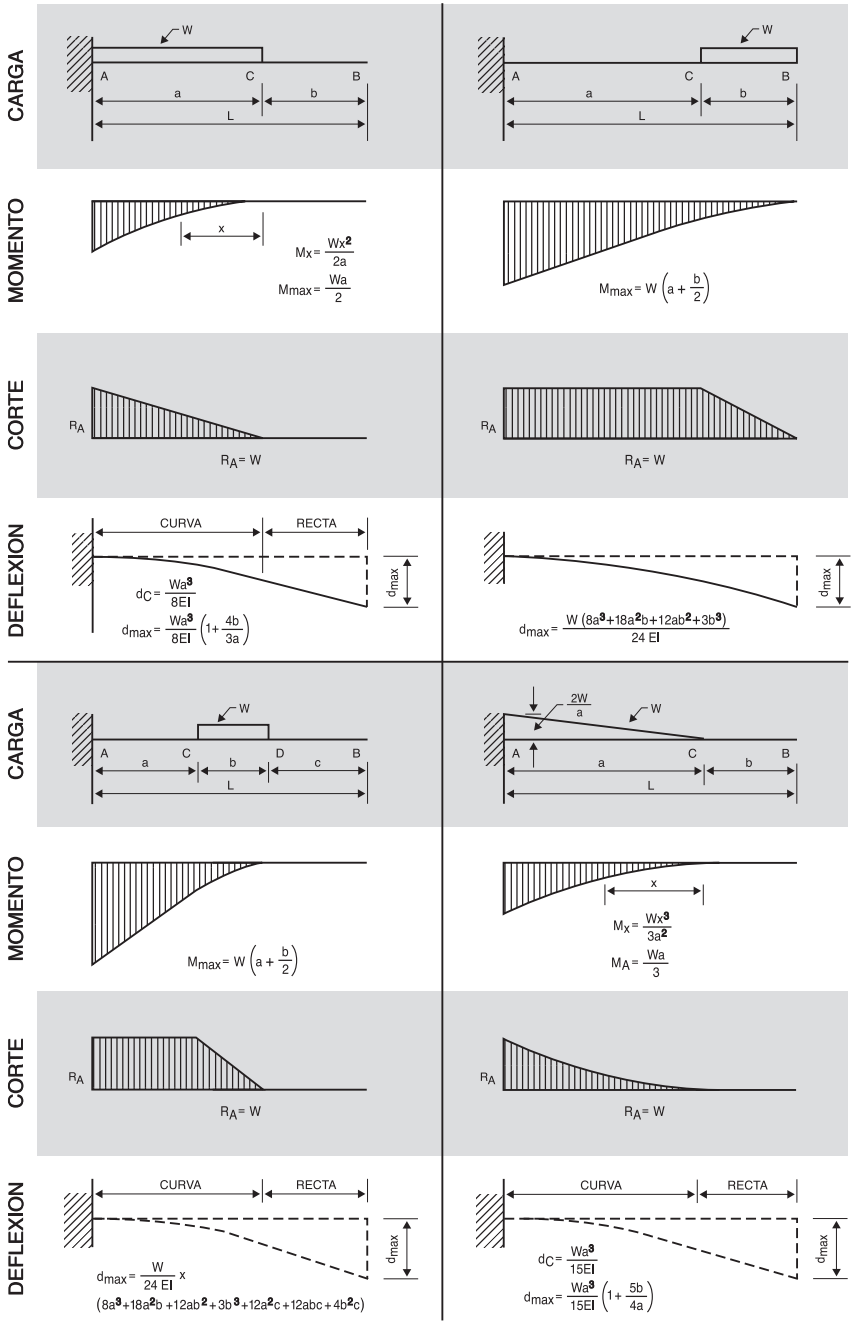
VI

VI.1 VIGAS CON DIFERENTES CONDICIONES DE CARGA

- VI.1.1 NOTACIÓN ESPECIAL
- VI.1.2 EMPOTRADAS EN UN EXTREMO, LIBRE EN EL OTRO
- VI.1.3 CON APOYOS SIMPLES
- VI.1.4 EMPOTRADAS EN AMBOS EXTREMOS
- VI.1.5 EMPOTRADAS EN UN EXTREMO Y APOYO SIMPLE EN EL OTRO
- VI.1.6 CONTINUAS CON CLAROS IGUALES Y CARGAS UNIFORMEMENTE DISTRIBUIDAS
- VI.1.7 CONTINUAS CON CLAROS IGUALES Y CARGAS CONCENTRADAS EN LOS CENTROS DE VARIOS CLAROS
- VI.1.8 CONTINUAS CON CLAROS IGUALES Y CARGAS CONCENTRADAS APLICADAS EN LOS TERCIOS DE VARIOS CLAROS

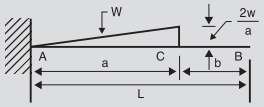
a, b, c, m, n,	Distancias parciales dentro del claro de una viga o marco.
da, db, dc, dx	Deflexión total de una viga o marco en el lugar donde indica el subíndice.
E	Módulo de elasticidad del acero (2 039 000 kg/cm^2).
f	Peralte de una armadura o marco.
h	Altura de columnas para armaduras o marcos.
Ha-Hb, etc.	Reacción horizontal en apoyos de marcos.
Iab, Ibc, Icd	Momento de inercia de la pieza indicada por el subíndice.
L	Claro de una viga o armadura entre apoyos.
Ma-Mb-Mc	Momento flexionante actuando en el lugar indicado por el subíndice.
N	Cantidad de fuerzas aplicadas a una viga.
P	Carga concentrada.
Ra, Rb, Rc	Reacción en vigas según el apoyo indicado por el subíndice.
Va, Vv, Vc	Reacción vertical en apoyos de marcos.
W	Carga total distribuida uniformemente.
w	Carga unitaria distribuida uniformemente.
α, a	Angulo que forma la cubierta de un techo con la horizontal.
A, B, D, F, G, J, K, N, S, T, ϕ, Ψ	Constantes para cálculo de marcos rígidos. Definidas en cada caso y usadas para simplificar las fórmulas.

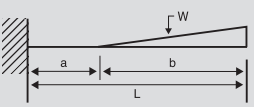
Fórmulas y diagramas de vigas para diversas condiciones de carga estática



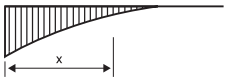
Fórmulas y diagramas de vigas para diversas condiciones de carga estática

CARGA



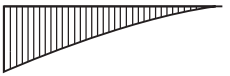


MOMENTO



$$M_X = \frac{Wa}{3}\left[\left(\frac{x}{a}\right)^3 - \frac{3x}{a} + 2\right]$$

$$M_A = \frac{2Wa}{3}$$



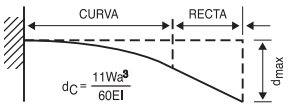
$$M_{max} = W\left(a + \frac{2b}{3}\right)$$

CORTE

$$R_A = W$$

$$R_A = W$$

DEFLEXION

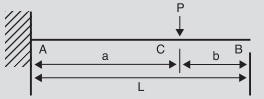


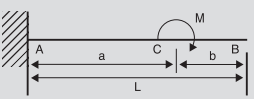
$$d_C = \frac{11Wa^3}{60EI}$$

$$d_{max} = \frac{11Wa^3}{60EI}\left(1 + \frac{15b}{11a}\right)$$

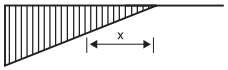
$$d_{max} = \frac{W(20a^3 + 50a^2b + 40ab^2 + 11b^3)}{60EI}$$

CARGA



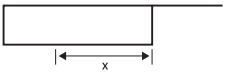


MOMENTO



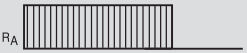
$$M_x = P \cdot x$$

$$M_{max} = P \cdot a$$



$$M_{max} = M_x = M_C$$

CORTE

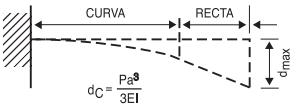


$$R_A = P$$

NO HAY CORTE

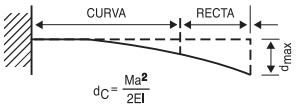
Para momentos contrarios a las manecillas del reloj, la deflexión es hacia arriba

DEFLEXION



$$d_C = \frac{Pa^3}{3EI}$$

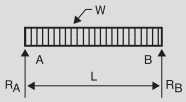
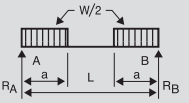
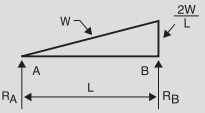
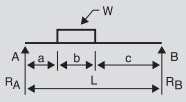
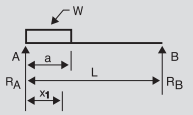
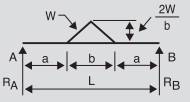
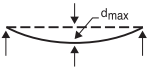
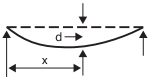
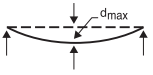
$$d_{max} = \frac{Pa^3}{3EI}\left(1 + \frac{3b}{2a}\right)$$



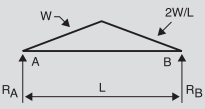
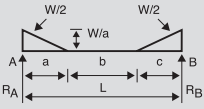
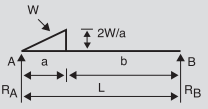
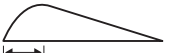
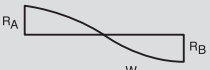
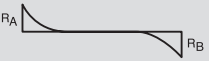
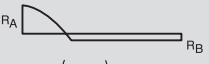
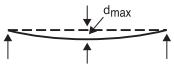
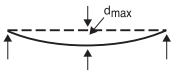
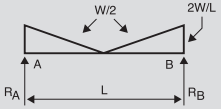
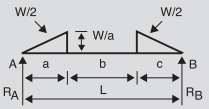
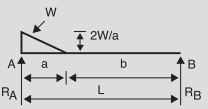
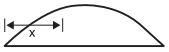
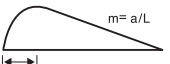
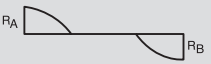
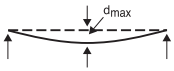
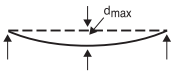
$$d_C = \frac{Ma^2}{2EI}$$

$$d_{max} = \frac{Ma^2}{2EI}\left(1 + \frac{2b}{a}\right)$$

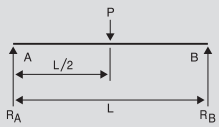
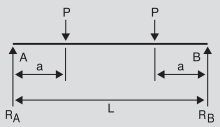
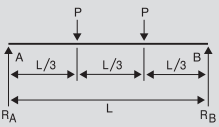
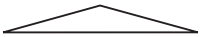
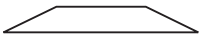
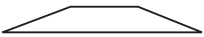
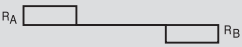
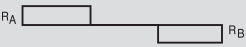
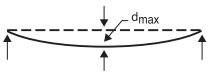
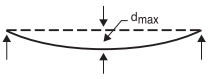
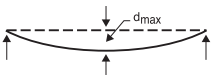
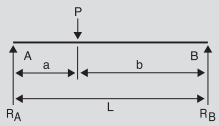
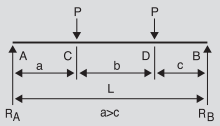
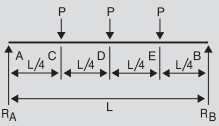
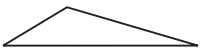
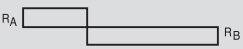
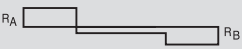
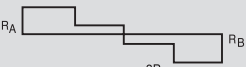
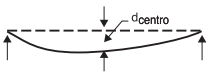
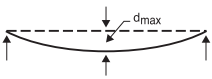
Fórmulas y diagramas de vigas para diversas condiciones de carga estática

CARGA			
MOMENTO	 $M_x = \frac{Wx}{2}\left(1-\frac{x}{L}\right)$ $M_{max} = \frac{WL}{8}$	 $M_{max} = \frac{Wa}{4}$	 $M_x = \frac{Wx}{3}\left(1-\frac{x^2}{L^2}\right)$ $M_{max} = 0.128\ WL$ Si $x = 0.5774\ L$
CORTE	 $R_A = R_B = \frac{W}{2}$	 $R_A = R_B = \frac{W}{2}$	 $R_A = W/3$ $R_B = 2W/3$
DEFLEXION	 $d_{max} = \frac{5}{384}\ \frac{WL^3}{EI}$	 $d_{max} = \frac{Wa\,(3L^2-2a^2)}{96\,EI}$	 $d_{max} = \frac{0.01304\ WL^3}{EI}$ Si $x = 0.5193\ L$
CARGA			
MOMENTO	 $M_{max} = \frac{W}{b}\left(\frac{x_1^2-a^2}{2}\right)$ Si $x_1 = a + \frac{R_1 b}{W}$	 $M_{max} = \frac{W}{2}\,a\left(1-\frac{a}{2L}\right)^2$ Si $x_1 = a\left(1-\frac{a}{2L}\right)$	 $M_{max} = \frac{W}{4}\left(L-\frac{b}{3}\right)$
CORTE	 $R_A = \frac{W}{L}\left(\frac{b}{2}+c\right)$ $R_B = \frac{W}{L}\left(\frac{b}{2}+a\right)$	 $R_A = W\left(1-\frac{a}{2L}\right)$ $R_B = \frac{Wa}{2L}$	 $R_A = R_B = W/2$
DEFLEXION	 Si $a = c$ $d_{max} = \frac{W}{384\,EI}\,(8L^3 - 4Lb^2 + b^3)$	 Si $x < a$ $d = \frac{WL^4}{24a\,EI}\,n^2\left[m^4 - 2n\,(2-n)\,m^3 + n^2(2-n)^2 m\right]$ Si $x > a$ $d = \frac{WL^4}{24a\,EI}\,n^2\left[2m^3 - 6m^2 + m\,(4+n^2) - n^2\right]$ donde $m = x/L$ y $n = a/L$	 $d_{max} = \frac{W}{480\,EI}\,(8L^3 + 7aL^2 - 4a^2L - 4a^3)$

Fórmulas y diagramas de vigas para diversas condiciones de carga estática

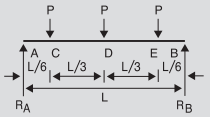
CARGA			
MOMENTO	 $M_x = Wx\left(\frac{1}{2} - \frac{2x^2}{3L^3}\right)$ $M_{max} = \frac{WL}{6}$	 $M_{max} = \frac{Wa}{6}$	 $M_{max} = \frac{2Wa}{3}\left(1 - \frac{2m}{3}\right)^{3/2}$ Si $X_1 = a\sqrt{1 - \frac{2m}{3}}$
CORTE	 $R_A = R_B = \frac{W}{2}$	 $R_A = R_B = \frac{W}{2}$	 $R_A = W\left(1 - \frac{2m}{3}\right)$ $R_B = \frac{2Wm}{3}$
DEFLEXION	 $d_{max} = \frac{WL^3}{60EI}$	 $d_{max} = \frac{W_6}{240EI}\left(18a^2 + 20ab + 5b^2\right)$	———
CARGA			
MOMENTO	 $M_x = Wx\left(\frac{1}{2} - \frac{x^2}{L^3} + \frac{2x^2}{3L^3}\right)$ $M_{max} = \frac{WL}{12}$	 $M_{max} = \frac{Wa}{3}$	 $M_{max} = \frac{Wa}{3}\left(1 - m + \frac{2m}{3}\sqrt{\frac{m}{3}}\right)$ Si $X_1 = a\left(1 - \sqrt{\frac{m}{3}}\right)$
CORTE	 $R_A = R_B = \frac{W}{2}$	 $R_A = R_B = \frac{W}{2}$	 $R_A = W\left(1 - \frac{m}{3}\right)$ $R_B = \frac{Wm}{3}$
DEFLEXION	 $d_{max} = \frac{3WL^3}{320EI}$	 $d_{max} = \frac{Wa}{120EI}\left(16a^2 + 20ab + 5b^2\right)$	———

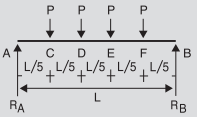
Fórmulas y diagramas de vigas para diversas condiciones de carga estática

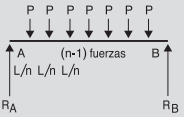
CARGA			
MOMENTO	 $M_{max} = \frac{PL}{4}$	 $M_{max} = Pa$	 $M_{max} = \frac{PL}{3}$
CORTE	$R_A = R_B = \frac{P}{2}$	 $R_A = R_B = P$	 $R_A = R_B = P$
DEFLEXION	 $d_{max} = \frac{PL^3}{48EI}$	 $d_{max} = \frac{PL^3}{5EI}\left[\frac{3a}{4L} - \left(\frac{a}{L}\right)^3\right]$	 $d_{max} = \frac{23PL^3}{648EI}$
CARGA			
MOMENTO	 $M_{max} = \frac{Pab}{L}$	$M_C = \frac{Pa\,(b+2c)}{L}$ $M_D = \frac{Pc\,(b+2a)}{L}$	$M_C = M_E = \frac{3PL}{8}$ $M_D = \frac{PL}{2}$
CORTE	 $R_A = Pb/L$ $R_B = Pa/L$	 $R_A = \frac{P\,(b+2c)}{L}$ $R_B = \frac{P\,(b+2a)}{L}$	 $R_A = R_B = \frac{3P}{2}$
DEFLEXION	 d_{max} siempre ocurre dentro 0.0774 L del centro de la viga si b≥a $d_{centro} = \frac{PL^3}{48EI}\left[\frac{3a}{L} - 4\left(\frac{a}{L}\right)^3\right]$ Este valor no tiene menos de 97.5% del valor máximo	Para la deflexión central, sumese los valores de las deflexiones para cada P en particular, aplicando la fórmula del diagrama izquierdo.	 $d_{max} = \frac{19PL^3}{384EI}$

Fórmulas y diagramas de vigas para diversas condiciones de carga estática

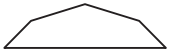
CARGA







MOMENTO



$M_C = M_E = \frac{PL}{4}$ $M_D = \frac{5PL}{12}$

$M_C = M_F = \frac{2PL}{5}$ $M_D = M_E = \frac{3PL}{5}$

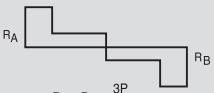
Si n es impar

$M_{max} = \frac{(n^2-1)\,PL}{8n}$

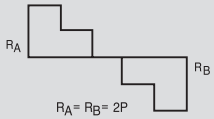
Si n es par

$M_{max} = n\,PL/8$

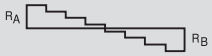
CORTE



$R_A = R_B = \frac{3P}{2}$

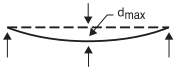


$R_A = R_B = 2P$

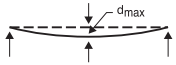


$R_A = R_B = (n-1)\frac{P}{2}$

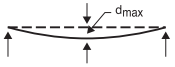
DEFLEXION



$d_{max} = \frac{53PL^3}{1296EI}$



$d_{max} = \frac{63PL^3}{1000EI}$



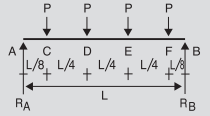
Si n es impar

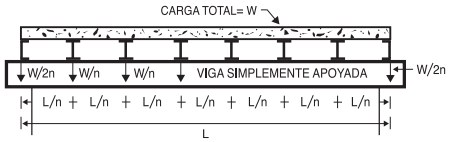
$d_{max} = \frac{PL^3}{192EI}\left[n-\frac{1}{n}\right]\left[3-\frac{1}{2}\left(1-\frac{1}{n^2}\right)\right]$

Si n es par

$d_{max} = \frac{PL^3}{192EI}\,n\left[3-\frac{1}{2}\left(1+\frac{4}{n^2}\right)\right]$

CARGA

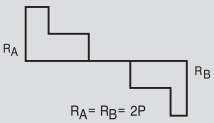




MOMENTO

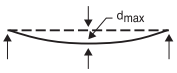
$M_C = M_F = \frac{PL}{4}$ $M_D = M_E = \frac{PL}{2}$

CORTE



$R_A = R_B = 2P$

DEFLEXION



$d_{max} = \frac{41PL^3}{768EI}$

Si n > 10, considere la carga uniformemente distribuida.

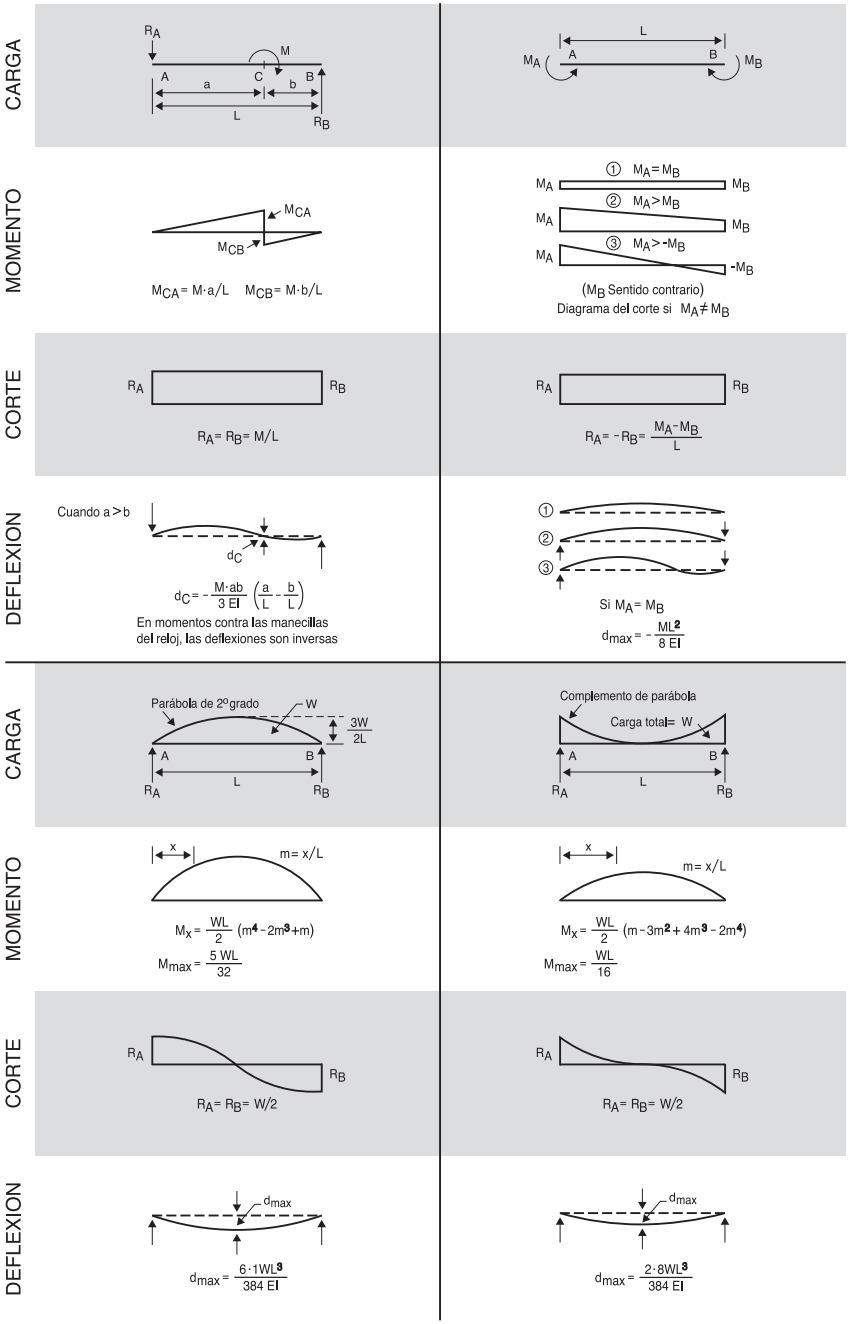
La reacción en los soportes = W/2 y la fuerza de corte máxima ocurre en los extremos de la viga = $\frac{W(n-1)}{2n} = AW$

El valor del momento de flexión máximo = CWL.

El valor de la deflexión en el centro del claro = $K\frac{WL^3}{EI}$

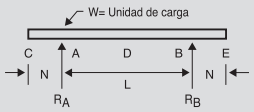
Valor de n	A	C	k
2	0.2500	0.1250	0.0105
3	0.3333	0.1111	0.0118
4	0.3750	0.1250	0.0124
5	0.4000	0.1200	0.0126
6	0.4167	0.1250	0.0127
7	0.4286	0.1224	0.0128
8	0.4375	0.1250	0.0128
9	0.4444	0.1236	0.0129
10	0.4500	0.1250	0.0129

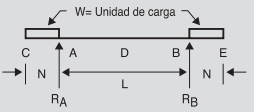
Fórmulas y diagramas de vigas para diversas condiciones de carga estática



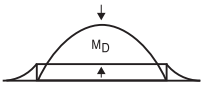
Fórmulas y diagramas de vigas para diversas condiciones de carga estática

CARGA

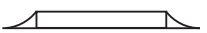




MOMENTO

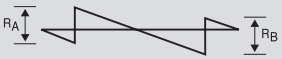


$$M_A = M_B = -\frac{wN^2}{2} \qquad M_D = \frac{wL^2}{8} + M_A$$

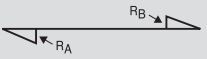


$$M_A = M_B = -\frac{wN^2}{2}$$

CORTE

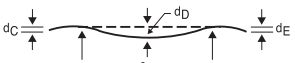


$$R_A = R_B = w\left(N + \frac{L}{2}\right)$$



$$R_A = R_B = wN$$

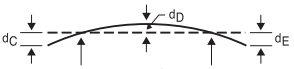
DEFLEXION



$$d_C = d_E = \frac{wL^3N}{24EI}\left(1 - 6n^2 - 3n^3\right)$$

$$d_D = \frac{wL^4}{384EI}\left(5 - 24n^2\right)$$

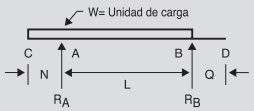
Donde n= N/L

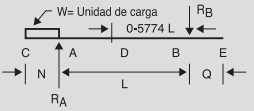


$$d_C = d_E = \frac{wLN^3}{8EI}\left(2 + \frac{N}{L}\right)$$

$$d_D = \frac{wL^2N^2}{16EI}$$

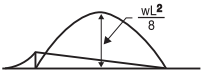
CARGA



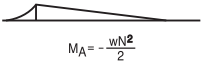


La deflexión máxima ocurre en el punto D

MOMENTO

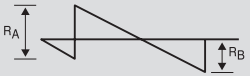


$$M_A = -\frac{wN^2}{2}$$

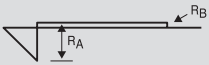


$$M_A = -\frac{wN^2}{2}$$

CORTE

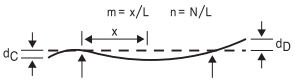


$$R_A = \frac{w(N+L)^2}{2L} \qquad R_B = \frac{w(N+L)(L-N)}{2L}$$



$$R_A = \frac{wN(2L+N)}{2L} \qquad R_B = \frac{wN^2}{2L}$$

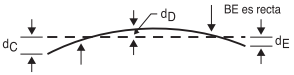
DEFLEXION



$$d_C = \frac{wL^3N}{24EI}\left(3n^3 + 4n^2 - 1\right)$$

$$d_x = \frac{wL^4}{24EI}\left[m^4 - 2m^3\left(1 - n^2\right) + m\left(1 - 2n^2\right)\right]$$

$$d_D = \frac{wL^3Q}{24EI}\left(2n^2 - 1\right)$$

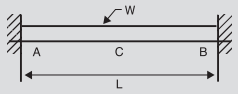
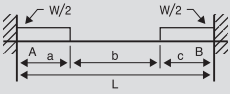
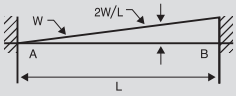
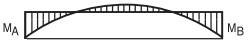
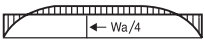
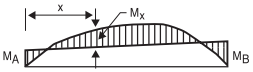
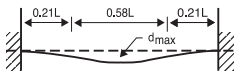
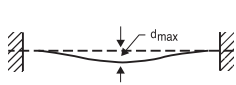
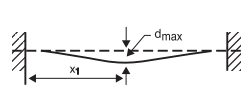
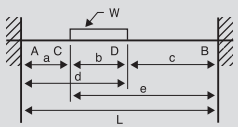
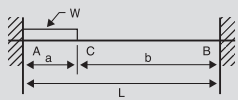
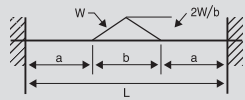
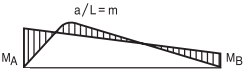
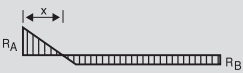
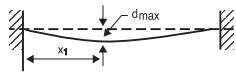
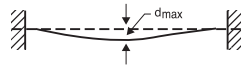


$$d_C = \frac{wLN^3}{24EI}\left(4 + 3\frac{N}{L}\right)$$

$$d_D = \frac{0.032wL^2N^2}{EI}$$

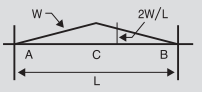
$$d_E = \frac{wLN^2Q}{12EI}$$

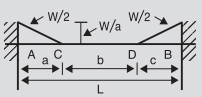
Fórmulas y diagramas de vigas para diversas condiciones de carga estática

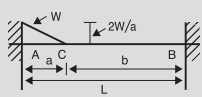
CARGA			
MOMENTO	 $M_A = M_B = -\frac{WL}{12}$ $M_C = \frac{WL}{24}$	 $M_A = M_B = -\frac{Wa}{12L}(3L-2a)$	 $M_x = -\frac{WL}{30}\left(\frac{10x^3}{L^3}-\frac{9x}{L}+2\right)$ $+M_{max} = WL/23.3$ Si $x = 0.55\ L$ $M_A = -WL/15$ $M_B = -WL/10$
CORTE	$R_A = R_B = W/2$	$R_A = R_B = W/2$	$R_A = 0.3W$ $R_B = 0.7W$
DEFLEXION	 $d_{max} = \frac{WL^3}{384EI}$	 $d_{max} = \frac{Wa^2}{48EI}(L-a)$	 $d_{max} = \frac{WL^3}{382EI}$ Si $x_1 = 0.525\ L$
CARGA			
MOMENTO	$M_A = \frac{-W}{12L^2 b}\left[e^3(4L-3e)-c^3(4L-3c)\right]$ $M_B = \frac{-W}{12L^2 b}\left[d^3(4L-3d)-a^3(4L-3a)\right]$	 $M_B = -\frac{WL}{12}m(3m^2-8m+6)$ $M_B = -\frac{WL}{12}m^2(4-3m)$ $+M_{max} = \frac{WL}{12}m^2\left(-\frac{3}{2}m^5+6m^4-6m^3-6m^2+15m-8\right)$ Para $x = \frac{a}{2}(m^3-2m^2+2)$	$M_A = M_B = \frac{-W}{48L}(5L^2+4aL-4a^2)$
CORTE	Si r es la reacción para una viga simplemente apoyada $R_A = r_A + \frac{M_A - M_B}{L}$ $R_B = r_B + \frac{M_B - M_A}{L}$	 $R_A = \frac{W(m^3-2m^2+2)}{2}$ $R_B = \frac{Wm^3(2-m)}{2m}$	$R_A = R_B = W/2$
DEFLEXION	Si $a = c$ $d_{max} = \frac{W}{384EI}(L^3+2La^2+4La^2-8a^3)$	 Si $a = L/2$ y $x_1 = 0.445\ L$ $d_{max} = \frac{WL^3}{333EI}$ $d_c = \frac{WL^3}{384EI}$	 $d_{max} = \frac{W}{1920EI}(7L^3+8aL^2+4a^2L-16a^3)$

Fórmulas y diagramas de vigas para diversas condiciones de carga estática

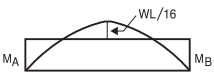
CARGA





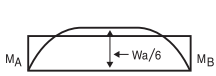


MOMENTO

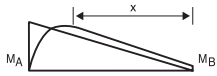


$M_A = M_B = -\frac{5WL}{48}$

$M_C = \frac{WL}{16}$



$M_A = M_B = -\frac{Wa}{12L}(2L-a)$



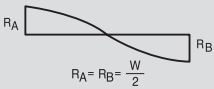
$M_A = -\frac{Wa}{30L^2}(3a^2+10bL)$

$M_B = -\frac{Wa^2}{30L^2}(5L-3a)$

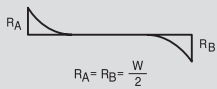
En AC $M_x = R_B x + M_B - \frac{2W(x-b)^3}{6ab}$

En CB $M_x = R_B x + M_B$

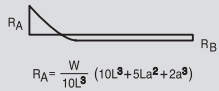
CORTE



$R_A = R_B = \frac{W}{2}$



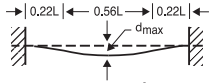
$R_A = R_B = \frac{W}{2}$



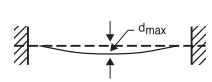
$R_A = \frac{W}{10L^3}(10L^3+5La^2+2a^3)$

$R_B = \frac{Wa^2}{10L^3}(5L-2a)$

DEFLEXION

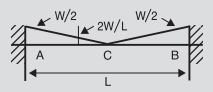


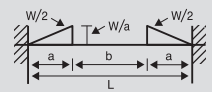
$d_{max} = \frac{1{\cdot}4WL^3}{384EI}$

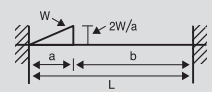


$d_{max} = \frac{Wa^2}{480EI}(5L-4a)$

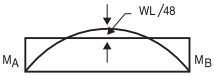
CARGA





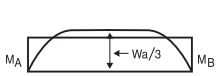


MOMENTO



$M_A = M_B = -\frac{WL}{16}$

$M_C = \frac{WL}{48}$

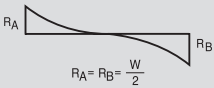


$M_A = M_B = -\frac{Wa}{12L}(4L-3a)$

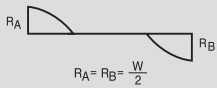
$M_A = -\frac{Wa}{15L}(10L^2-15aL+6a^2)$

$M_B = -\frac{Wa^2}{10L^2}(5L-4a)$

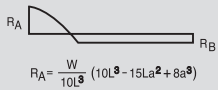
CORTE



$R_A = R_B = \frac{W}{2}$



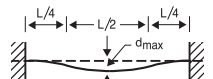
$R_A = R_B = \frac{W}{2}$



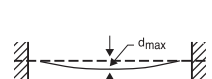
$R_A = \frac{W}{10L^3}(10L^3-15La^2+8a^3)$

$R_B = \frac{Wa^2}{10L^3}(15L-8a)$

DEFLEXION

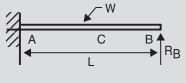
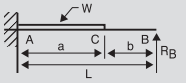
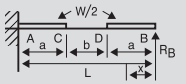
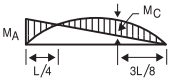
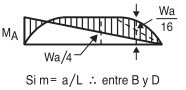
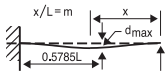
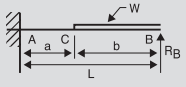
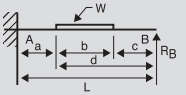
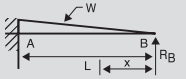
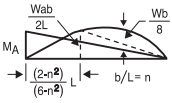
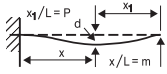
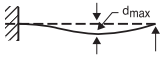


$d_{max} = \frac{0.6WL^3}{384EI}$

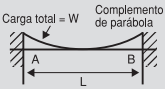
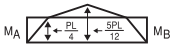
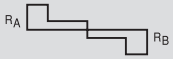
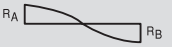
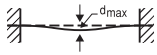
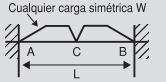
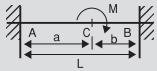
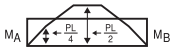
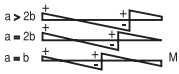
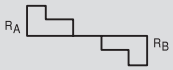
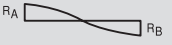
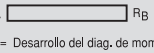
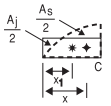
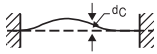


$d_{max} = \frac{Wa^2}{480EI}(15L-16a)$

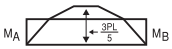
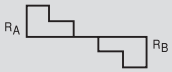
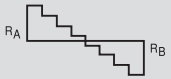
Fórmulas y diagramas de vigas para diversas condiciones de carga estática

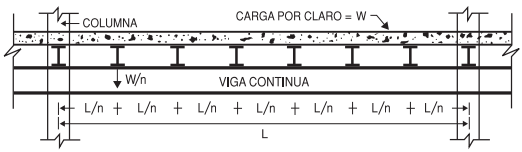
CARGA			
MOMENTO	 $M_A = -\frac{WL}{8}$ $M_C = \frac{9WL}{128}$	$M_A = -\frac{Wa}{8}(2-n)^2$ donde $a/L = n$ $+M_{max} = \frac{Wa}{8}\left[-\frac{(8-n^2(4-n))^2}{16}+4-n(4-n)\right]$	 Si $m = a/L$ ∴ entre B y D $M_x = \frac{W}{8a}\left[-2x^2+xa(4-3m+2m^2)\right]$ $+M_{max}$ para $x = \frac{a}{4}(4-3m+2m^2)$ $M_A = -\frac{Wa}{8L}(3L-2a)$
CORTE	$R_A = \frac{5W}{8}$ $R_B = \frac{3W}{8}$	$R_A = \frac{W}{8}\left[8-n^2(4-n)\right]$ $R_B = \frac{Wn^2}{8}(4-n)$	$R_A = \frac{W}{4L^2}(2L^2+3aL-4a^2)$ $R_B = \frac{W}{4L}(2L^2-3aL+4a^2)$
DEFLEXION	 $d = \frac{WL^3}{48EI}(m-3m^3+2m^4)$ $d_{max} = \frac{WL^3}{183EI}$	$d_C = \frac{Wa^3}{48EI}(6-12n+7n^2-n^3)$	———
CARGA			
MOMENTO	 $M_A = -\frac{Wb}{8}(2-n^2)$ $M_C = \frac{Wb}{8}(6n-n^3-4)$	$M_A = -\frac{W}{8L^2b}(d^2-c^2)(2L^2-c^2-d^3)$	$M_A = -\frac{2WL}{15}$ $+M_{max} = 0.0596\ WL$ (Cuando x = 0.447 L)
CORTE	$R_A = \frac{Wn}{8}(6-n^2)$ $R_B = \frac{W}{8}(n^3-6n+8)$	$R_A = r_A + \frac{M_A}{L}$ $R_B = r_B - \frac{M_A}{L}$	$R_A = \frac{4W}{5}$ $R_B = \frac{W}{5}$
DEFLEXION	 Para $x \leq a$ $d = \frac{Wbl^2}{48EI}\left[(n^2-6)m^3-(3n^2-6)m^2\right]$ Para $x \geq a$ $d = \frac{WL^4}{48bEI}\left[2p^4-p^3n(n^3-6n+8)+pn^2(3n^2-8n+6)\right]$	Cuando r_A y r_B son las reacciones de una viga simplemente apoyada (M_A será considerado positivo) ———	 $d_{max} = \frac{0.0047WL^3}{EI}$ Cuando x = 0.447 L

Fórmulas y diagramas de vigas para diversas condiciones de carga estática

CARGA			
MOMENTO	 $M_A = M_B = -\frac{19PL}{72}$ $M_D = \frac{11PL}{72}$	 $M_A = M_B = -\frac{WL}{10}$	 $M_A = M_B = -\frac{WL}{20}$
CORTE	 $R_A = R_B = \frac{3P}{2}$	 $R_A = R_B = \frac{W}{2}$	 $R_A = R_B = \frac{W}{2}$
DEFLEXION	 $d_{max} = \frac{41PL^3}{5184EI}$	 $d_{max} = \frac{1{\cdot}3WL^3}{384EI}$	 $d_{max} = \frac{0{\cdot}4WL^3}{384EI}$
CARGA			
MOMENTO	 $M_A = M_B = -\frac{11PL}{32}$ $M_D = M_E = \frac{5PL}{32}$	 $M_A = M_B = -\frac{A_S}{L}$ Donde A_S es el área del diagrama de momentos libre	 $M_{AC} = M\frac{b}{L^2}(3a-L)\ M_{BC} = -M\frac{a}{L^2}(3b-L)$ Si $\frac{a}{L} = m$ $M_{CA} = -m(+1-m)(1-3m+6m^2)$
CORTE	 $R_A = R_B = 2P$	 $R_A = R_B = \frac{W}{2}$	 $R_A = R_B$ Desarrollo del diag. de momento $= \frac{M_{AC}+M_{CA}}{a} = \frac{M_{CB}+M_{BC}}{b}$
DEFLEXION	 $d_{max} = \frac{PL^3}{96EI}$	 La figura muestra la mitad del diagrama de momentos [✱ y ✦ son CGs] d_{max} en $C = \frac{A_S x - A_j x_1}{2EI}$ Donde Aj es el área del diagrama sw momentos	 Si $\frac{a}{L} = n$ $d_C = \frac{ML^2m^2(1-m)^2(1-2m)}{2EI}$ En momentos contra las manecillas del reloj, las deflexiones son inversas

Fórmulas y diagramas de vigas para diversas condiciones de carga estática

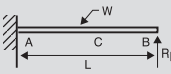
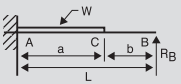
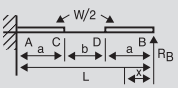
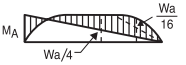
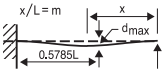
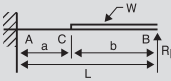
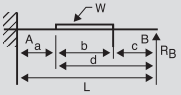
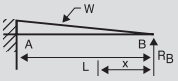
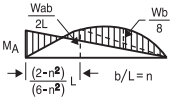
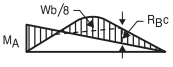
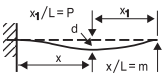
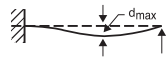
CARGA		
MOMENTO	 $M_A = M_B = -\frac{2PL}{5}$ $M_D = M_E = \frac{PL}{5}$	$M_A = M_B = -\frac{PL(n^2-1)}{12n}$
CORTE	 $R_A = R_B = 2P$	 $R_A = R_B = (n-1)P/2$
DEFLEXION	$d_{max} = \frac{13PL^3}{1000EI}$	Si n es impar $d_{max} = \frac{PL^3}{192EI}\left[n-\frac{1}{n}\right]\left[1-\frac{1}{2}\left(1-\frac{1}{n^2}\right)\right]$ Si n es par $d_{max} = \frac{PL^3}{192EI}\left\{\left[3-\frac{1}{2}\left(1+\frac{4}{n^2}\right)\right]n-2\left(n-\frac{1}{n}\right)\right\}$



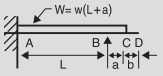
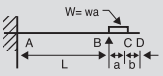
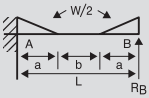
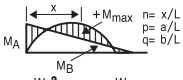
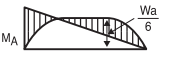
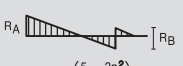
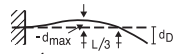
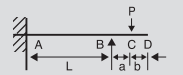
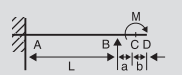
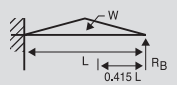
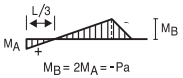
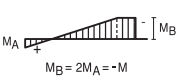
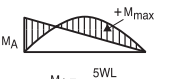
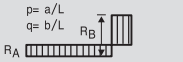
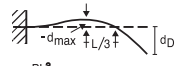
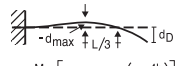
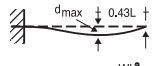
Si n > 10, considere la carga uniformemente distribuida.
La carga en los rieles exteriores, está soportada directamente por los apoyos.
Las vigas continuas se suponen horizontales en cada apoyo.
La reacción en los apoyos para todo el claro = W/2 pero la máxima fuerza de corte en cualquier claro de vigas continuas = W (n-1)/2n = AW
El valor del momento de flexión en cada apoyo = B.WL.
El valor del momento máximo positivo para todos los claros = C.WL.
El valor de la deflexión máxima para para todos los claros = 0.0026 WL^3/EI

Valor de n	A	B	C
2	0.2500	0.0625	0.0625
3	0.3333	0.0741	0.0370
4	0.3750	0.0781	0.0469
5	0.4000	0.0800	0.0400
6	0.4167	0.0811	0.0439
7	0.4286	0.0816	0.0408
8	0.4375	0.0820	0.0430
9	0.4444	0.0823	0.0413
10	0.4500	0.0825	0.0425

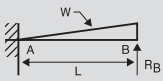
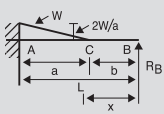
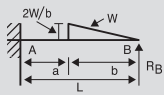
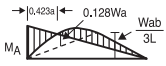
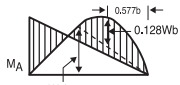
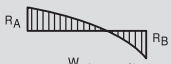
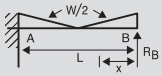
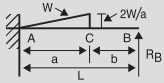
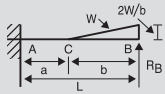
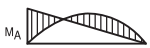
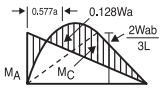
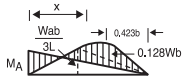
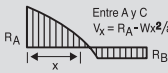
Fórmulas y diagramas de vigas para diversas condiciones de carga estática

CARGA			
MOMENTO	$M_A = -\frac{WL}{8}$ $M_C = \frac{9WL}{128}$	$M_A = -\frac{Wa}{8}(2-n)^2$ donde $a/L = n$ $+M_{max} = \frac{Wa}{8}\left[-\frac{(8-n^2(4-n))^2}{16}+4-n(4-n)\right]$	 Si $m = a/L \therefore$ entre B y D $M_x = \frac{W}{8a}\left[-2x^2+xa(4-3m+2m^2)\right]$ $+M_{max}$ para $x = \frac{a}{4}(4-3m+2m^2)$ $M_A = -\frac{Wa}{8L}(3L-2a)$
CORTE	$R_A = \frac{5W}{8}$ $R_B = \frac{3W}{8}$	$R_A = \frac{W}{8}\left[8-n^2(4-n)\right]$ $R_B = \frac{Wn^2}{8}(4-n)$	$R_A = \frac{W}{4L^2}(2L^2+3aL-4a^2)$ $R_B = \frac{W}{4L}(2L^2-3aL+4a^2)$
DEFLEXION	 $d = \frac{WL^3}{48EI}(m-3m^3+2m^4)$ $d_{max} = \frac{WL^3}{185EI}$	$d_C = \frac{Wa^3}{48EI}(6-12n+7n^2-n^3)$	———
CARGA			
MOMENTO	 $M_A = -\frac{Wb}{8}(2-n^2)$ $M_C = \frac{Wb}{8}(6n-n^3-4)$	 $M_A = -\frac{W}{8L^2b}(d^2-c^2)(2L^2-c^2-d^2)$	$M_A = -\frac{2WL}{15}$ $+M_{max} = 0.0596\ WL$ (Cuando x= 0.447 L)
CORTE	$R_A = \frac{Wn}{8}(6-n^2)$ $R_B = \frac{W}{8}(n^3-6n+8)$	$R_A = r_A + \frac{M_A}{L}$ $R_B = r_B - \frac{M_A}{L}$	$R_A = \frac{4W}{5}$ $R_B = \frac{W}{5}$
DEFLEXION	 Para $x \leq a$ $d = \frac{Wbl^2}{48EI}\left[(n^2-6)m^3-(3n^2-6)m^2\right]$ Para $x \geq a$ $d = \frac{WL^4}{48bEI}\left[2p^4-p^3n(n^3-6n+8)+pn^2(3n^2-8n+6)\right]$	Cuando r_A y r_B son las reacciones de una viga simplemente apoyada (M_A será considerado positivo) ———	 $d_{max} = \frac{0.0047WL^3}{EI}$ Cuando x= 0.447 L

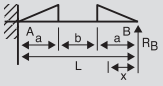
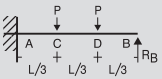
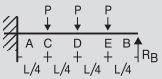
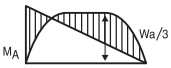
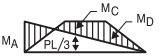
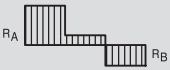
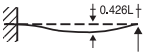
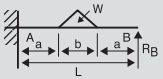
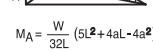
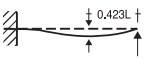
Fórmulas y diagramas de vigas para diversas condiciones de carga estática

CARGA			
MOMENTO	 $M_B = -\frac{Wa^2}{2}$ $M_A = -\frac{W}{8}(L^2-2a^2)$ $+M_{max} = \frac{WL^2}{128}(36p^4-28p^2+9)$ Cuando $x/L = \frac{5}{8}-\frac{3p^2}{4}$	$M_B = 2M_A = -\frac{Wa^2}{2}$ p= a/L q= b/L	 $M_A = -\frac{Wa}{8L}(2L-a)$
CORTE	 $R_A = wL\left(\frac{5}{8}-\frac{3p^2}{4}\right)$ $R_B = wL\left(\frac{3p^2}{4}+p+\frac{3}{8}\right)$	$R_A = -\frac{3wap}{4}$ $R_B = wa\left(1+\frac{3p}{4}\right)$	$R_A = \frac{W}{8L^2}(4L^2+2aL-a^2)$ $R_B = W - R_A$
DEFLEXION	$d_D = \frac{wL^4}{48EI}\left[(8p^3+6p^2-1)(p+q)-2p^4\right]$ $d_x = \frac{wL^4}{48EI}\left[2n^4+(6p^2-5)n^3-(6p^2-3)n^2\right]$ para d_{max} $x/L = \frac{1}{16}\left[15+18p^2-\sqrt{324p^4-156p^2+33}\right]$	 $d_D = \frac{wL^4}{48EI}\left[p^2(8p+6)q+6p(p+1)\right]$ $-d_{max} = \frac{wL^4p^2}{54EI}$	—
CARGA			
MOMENTO	 $M_B = 2M_A = -Pa$	 $M_B = 2M_A = -M$	 $M_A = -\frac{5WL}{32}$ $+M_{max} = 0.0948WL$
CORTE	 $R_A = \frac{3Pp}{2}$ $R_B = P\left(1+\frac{3p}{2}\right)$	$R_A = -R_B = -\frac{3M}{2L}$	$R_A = \frac{21W}{32}$ $R_B = \frac{11W}{32}$
DEFLEXION	 $d_D = \frac{PL^3p}{12EI}(4p^2+6pq+3p+3q)$ $-d_{max} = \frac{PL^3p}{27EI}$	 $d_D = \frac{M}{4EI}\left[L(a+b)+a^2\left(2+\frac{4b}{a}\right)\right]$ $-d_{max} = -\frac{ML^2}{27EI}$	 $d_{max} = 0.00727\frac{WL^3}{EI}$

Fórmulas y diagramas de vigas para diversas condiciones de carga estática

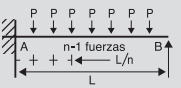
CARGA			
MOMENTO	 $M_x = -\frac{WL}{60}(20m^2-27m+7)$ $M_A = -\frac{7WL}{60} + M_{max} = 0.0846WL$ [para x = 0.067L]	 Entre C y A $M_x = R_B x - \frac{W}{3a^2}(x-b)^3$ $M_A = -\frac{Wa}{60L^2}(3a^2-15aL+20L^2)$ $+M_{max}$ para x = b+ $\frac{a^2}{2L}\sqrt{1-\frac{a}{5L}}$	 $M_x = R_B x - \frac{Wx^3}{3b^2}$ $M_A = -\frac{Wb}{15L^2}(5L^2-3b^2)$
CORTE	 $V_x = \frac{W}{20}(9-20m^2)$ $R_A = \frac{9W}{20}$ $R_B = \frac{11W}{20}$	 $R_B = \frac{Wa^2}{20L^3}(5L-a)$ $R_A = W-R_B$	 $R_A = \frac{Wb}{5L^3}(5L^2-b^2)$ $R_B = \frac{W}{5L^3}(b^3+5aL^2)$
DEFLEXION	 $d_{max} = \frac{0.0061WL^3}{EI}$ Cuando x = 0.598L	—	—
CARGA			
MOMENTO	 $M_A = -\frac{3WL}{32}$ $+M_{max} = 0.0454WL$ [para x = 0.283L]	 para m= a/L $M_A = -Wa\left(\frac{m^2}{5}-\frac{3m}{4}+\frac{2}{3}\right)$ $M_C = R_B b + M_A\frac{b}{L}$	 $M_x = R_A x + M_A - \frac{W}{3b^2}(x-a)^3$ $M_A = -\frac{Wb}{60L^2}(10L^2-3b^2)$
CORTE	 $R_A = \frac{19W}{32}$ $R_B = \frac{13W}{32}$	 $R_B = \frac{Wa^2}{20L^3}(15L-4a)$ $R_A = W-R_B$	 Entre C y B $V_x = R_A - Wx^2/b^2$ $R_B = \frac{W}{20b^2L^3}\left[L^4(11L-15a)+a^4(5L-a)\right]$ $R_A = W-R_B$
DEFLEXION	 $d_{max} = \frac{0.0037WL^3}{EI}$ Cuando x = 0.404L	—	—

Fórmulas y diagramas de vigas para diversas condiciones de carga estática

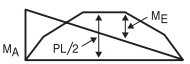
CARGA	 n= a/L q= x/a		
MOMENTO	 $M_A = -\frac{Wa}{8L}(4L-3a)$ para x<a $M_x = \frac{W}{24}(9n^2x-12nx+12x-4xq^2)$ $+M_{max}$ ocurre en $q=\sqrt{\frac{3n^2}{4}}-n+1$	 $M_A = -\frac{PL}{3}$ $M_C = \frac{PL}{9}$ $M_D = \frac{2PL}{9}$	$M_A = -\frac{15PL}{32}$ $M_D = \frac{17PL}{64}$ $M_E = \frac{33PL}{128}$
CORTE	$R_A = \frac{W}{8L^2}(4L^2+4aL-3a^2)$ $R_B = W-R_A$	 $R_A = \frac{4P}{3}$ $R_B = \frac{2P}{3}$	$R_A = \frac{63P}{32}$ $R_B = \frac{33P}{32}$
DEFLEXION	———	$d_{max} = 0.0152\frac{PL^2}{EI}$	 $d_{max} = 0.0209\frac{PL^2}{EI}$
CARGA			
MOMENTO	 $M_A = \frac{W}{32L}(5L^2+4aL-4a^2)$	$M_A = -\frac{19PL}{48}$ $M_D = \frac{21PL}{96}$ $M_E = \frac{53PL}{268}$	$M_A = -\frac{3PL}{5}$ $M_E = \frac{9PL}{25}$
CORTE	$R_A = \frac{W}{32L^2}(21L^2+4aL-4a^2)$ $R_B = W-R_A$	$R_A = \frac{91P}{48}$ $R_B = \frac{53P}{48}$	$R_A = \frac{13P}{5}$ $R_B = \frac{7P}{5}$
DEFLEXION	———	 $d_{max} = 0.0169\frac{PL^3}{EI}$	$d_{max} = 0.0265\frac{PL^3}{EI}$

Fórmulas y diagramas de vigas para diversas condiciones de carga estática

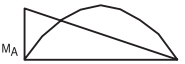
CARGA



MOMENTO

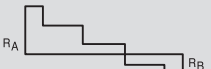


$$M_A = -\frac{33PL}{64} \qquad M_E = \frac{157PL}{512}$$

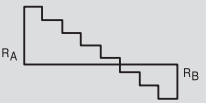


$$M_A = -\frac{PL(n^2-1)}{8n}$$

CORTE



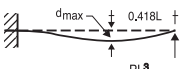
$$R_A = \frac{161P}{64} \qquad R_B = \frac{95P}{64}$$



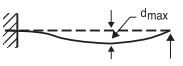
$$R_A = \frac{P}{8n}(5n^2-4n-1)$$

$$R_B = \frac{P}{8n}(3n^2-4n+1)$$

DEFLEXION



$$d_{max} = 0.0221\,\frac{PL^3}{EI}$$

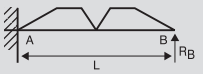


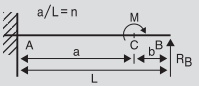
Cuando n es grande

$$d_{max} \cong \frac{nPL^3}{185EI}$$

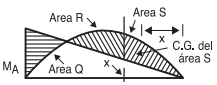
CARGA

Para cualquier carga W simétrica



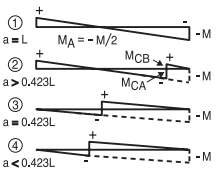


MOMENTO



If A_S = Area libre del diagrama m

$$M_A = \frac{3A_S}{2}$$

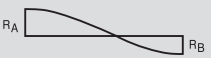


$$M_A = \frac{-M}{2}(2-6n+3n^2)$$

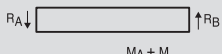
$$M_{CA} = \frac{-M}{2}(2-6n+9n^2-3n^3)$$

$$M_{CB} = \frac{3Mn}{2}(2-3n+n^2)$$

CORTE



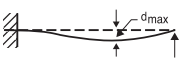
$$R_A = \frac{W}{2} + \frac{M_A}{L} \qquad R_B = \frac{W}{2} - \frac{M_A}{L}$$



$$-R_A = R_B = \frac{M_A + M}{L}$$

En el caso 1 R = 3M/2L
En el caso 3 R = M/L

DEFLEXION

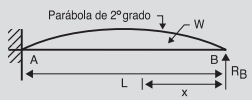


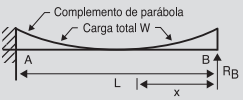
d_{max} ocurre en el punto correspondiente a X sobre el diagrama de momentos flexionantes el área R será igual al área Q

$$d_{max} = \text{Area SXx}/EI$$

Fórmulas y diagramas de vigas para diversas condiciones de carga estática

CARGA





MOMENTO

$$M_A = -\frac{3WL}{20}$$

$$M_x = \frac{WL}{20}\left(10m^4 - 20m^3 + 7m\right)$$

$$+M_{max} = 0.0888WL \quad \text{para } x = 0.3985L$$

$$M_A = -\frac{3WL}{40}$$

$$M_x = \frac{WL}{40}\left(-40m^4 + 80m^3 - 60m^2 + 17m\right)$$

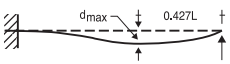
$$+M_{max} = 0.0399WL \quad \text{para } x = 0.2343L$$

CORTE

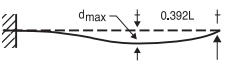
$$R_A = \frac{13W}{20} \qquad R_B = \frac{7W}{20}$$

$$R_A = \frac{23W}{40} \qquad R_B = \frac{17W}{40}$$

DEFLEXION

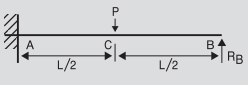


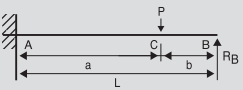
$$d_{max} = 0.00674\,\frac{WL^3}{EI}$$



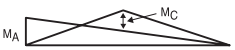
$$d_{max} = 0.00278\,\frac{WL^3}{EI}$$

CARGA





MOMENTO

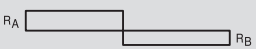


$$M_A = -\frac{3PL}{16} \qquad M_C = \frac{5PL}{32}$$

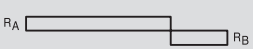
$$M_A = -\frac{Pb\left(L^2 - b^2\right)}{2L^2} \qquad \text{max } M_A = -0.193PL \text{ para } b = 0.577L$$

$$M_C = \frac{Pb}{2}\left(2 - \frac{3b}{L} + \frac{b^3}{L^3}\right) \qquad \text{max } M_C = 0.174PL \text{ para } b = 0.366L$$

CORTE

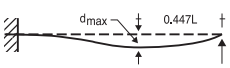


$$R_A = \frac{11P}{16} \qquad R_B = \frac{5P}{16}$$

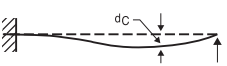


$$R_B = \frac{Pa^2}{2L^3}\left(b + 2L\right) \qquad R_A = P - R_B$$

DEFLEXION

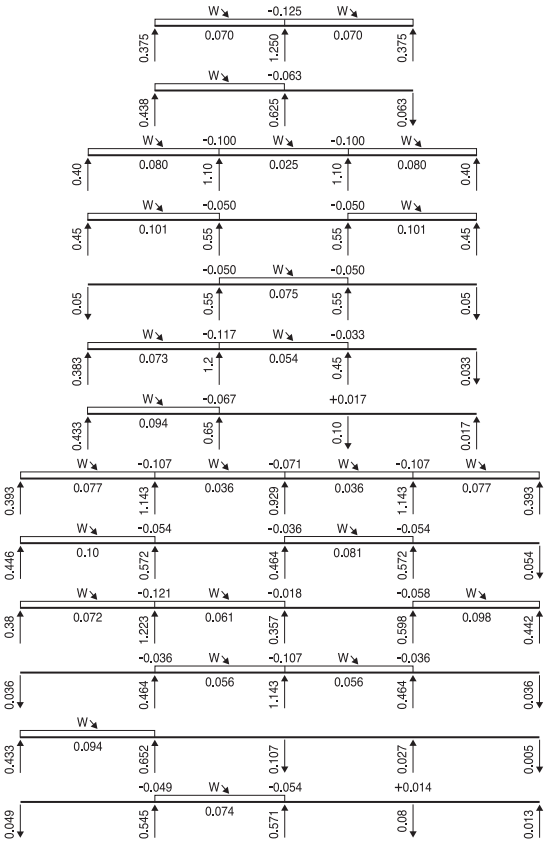


$$d_C = \frac{7PL^3}{768EI} \qquad d_{max} = 0.00932\,\frac{PL^3}{EI}$$

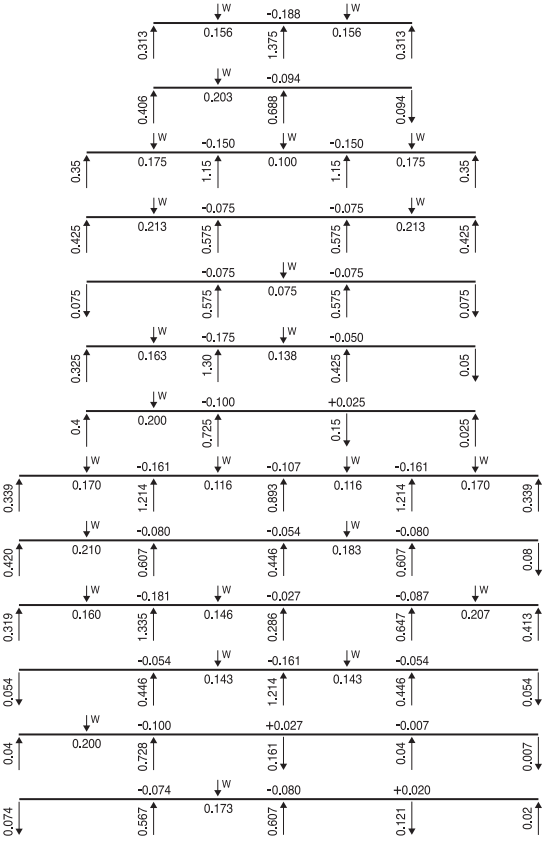


$$d_C = \frac{Pa^3b^2}{12EIL^3}\left(4L - a\right)$$

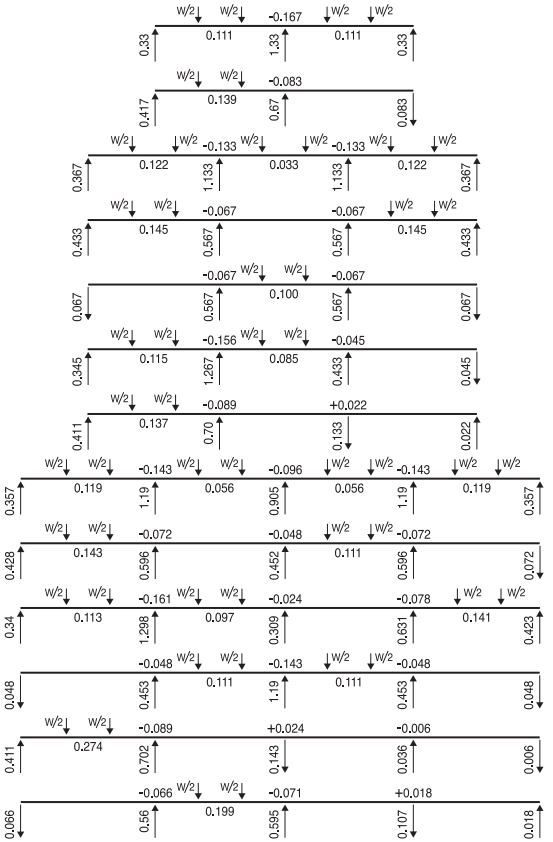
MOMENTO = Coeficiente indicado x W x L
REACCION = Coeficiente x X
Cuando W = Carga uniformemente distribuida únicamente sobre un claro de la viga
L = Longitud de un claro de la viga



MOMENTO = Coeficiente indicado x W x L
REACCION = Coeficiente x W
Cuando W = Carga sobre un claro únicamente de la viga
L = Longitud de un claro de la viga



MOMENTO = Coeficiente indicado x W x L
REACCION = Coeficiente x W
Cuando W = Carga total sobre un claro únicamente de la viga
L = Longitud de un claro de la viga

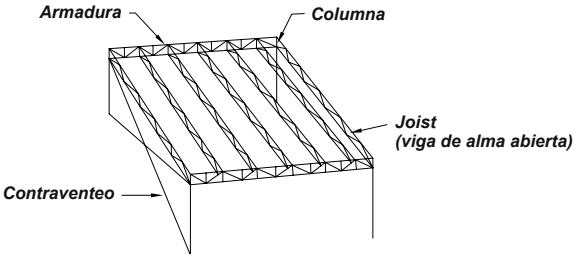


CAPITULO

VI

VI.2 ARMADURAS

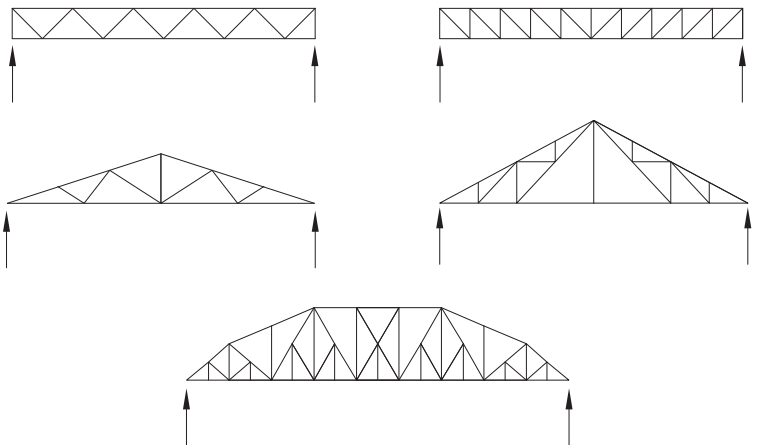
Definición
También reciben el nombre de *vigas de alma abierta*. Las armaduras son elementos estructurales formados por un conjunto de barras rectas articuladas en sus extremos, solicitadas principalmente a fuerzas internas normales (tensión o compresión) y unidas en su plano de tal manera que se forma un conjunto de triángulos indeformables.



Armadura.

Aplicaciones
Se utilizan cuando una viga de alma llena (perfil laminado) o hecha con tres placas soldadas, deja de ser económica debido a la magnitud de la carga muerta. Las secciones que se obtienen son tales, que el peso propio de la viga o trabe es el factor más importante que interviene en el diseño.

Tipos de armaduras
En la siguiente figura se muestran los diversos tipos de armaduras.

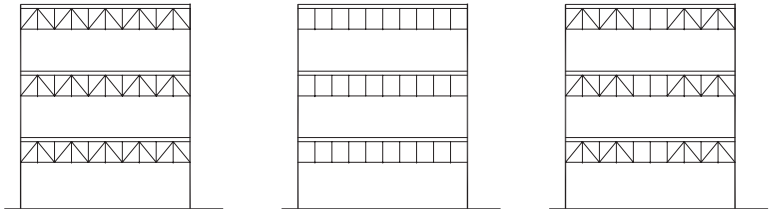


Diversos tipos de armaduras.

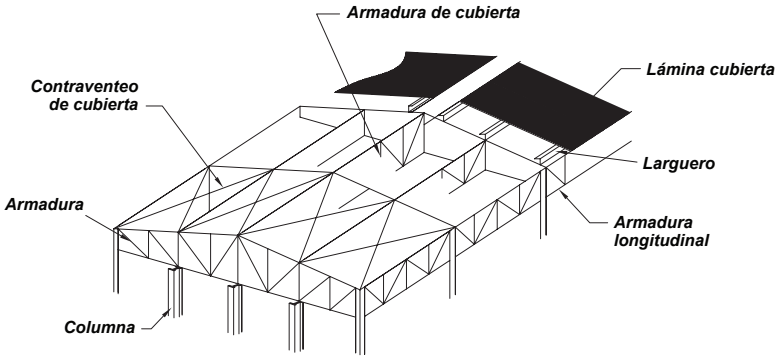
Las diferentes armaduras se caracterizan por la forma de la triangulación que forman las piezas que unen las cuerdas; pueden ser horizontales, a dos aguas, de cuerdas paralelas, o en arco.

Aplicaciones

Las armaduras tienen una aplicación muy clara, cuando se busca salvar claros grandes, como ocurre en puentes, cubiertas especiales, etc. Sin embargo, también se usan en sistemas de piso, sustituyendo a las vigas de acero cuando se busca la ligereza de los elementos estructurales.



Su función, al formar parte de la cubierta de un edificio industrial, es soportar y techar la superficie de la nave para que en el interior del edificio se puedan realizar las operaciones típicas de un proceso de producción industrial.



Normalmente las armaduras se apoyan en columnas de acero, las cuales pueden ser de sección transversal I (secciones laminadas o hechas con tres placas soldadas), secciones en cajón (cuatro placas soldadas) o miembros armados.

También se utilizan en soluciones estructurales que requieren salvar grandes claros. En este caso, el peralte de la armadura corresponde a la distancia libre entre los pisos del edificio.

Mediante la combinación de las armaduras planas, se obtienen estructuras espaciales, en las que los elementos están orientados según dos o más direcciones.

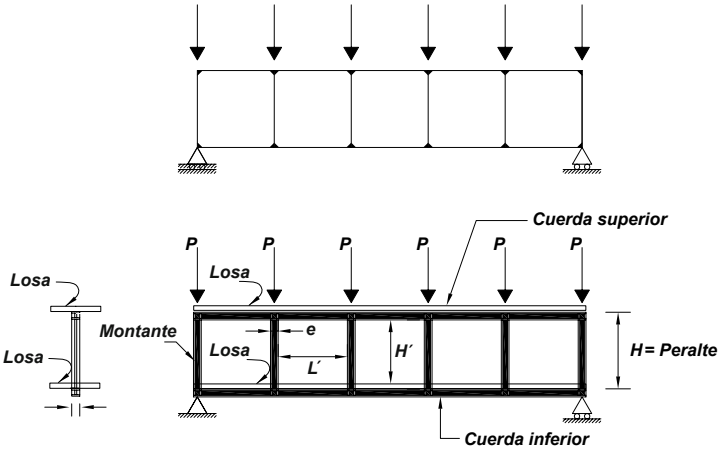
La armadura *Pratt* se caracteriza porque los montantes están sometidos a compresión y las diagonales a tensión.

La armadura *Warren* no tiene montantes y las diagonales están sometidas a tensión y compresión alternadamente.

Las armaduras tipo *Pratt* y *Warren* se usan en una gran variedad de aplicaciones, en las cubiertas de edificios o naves industriales y como vigas en los marcos rígidos que forman la estructura básica de un edificio convencional.

Un tipo de armadura especial, es la denominada *Vierendell*, que se caracteriza porque no tienen elementos diagonales que completen la triangulación, sino elementos horizontales y verticales que forman paneles con conexiones rígidas y que resisten fuerzas normales y cortantes.

Es muy utilizada en construcciones de edificios, ya que los claros que deja, se adaptan perfectamente para la colocación de ventanas y puertas.



Armadura Vierendeel.

Forma de trabajo

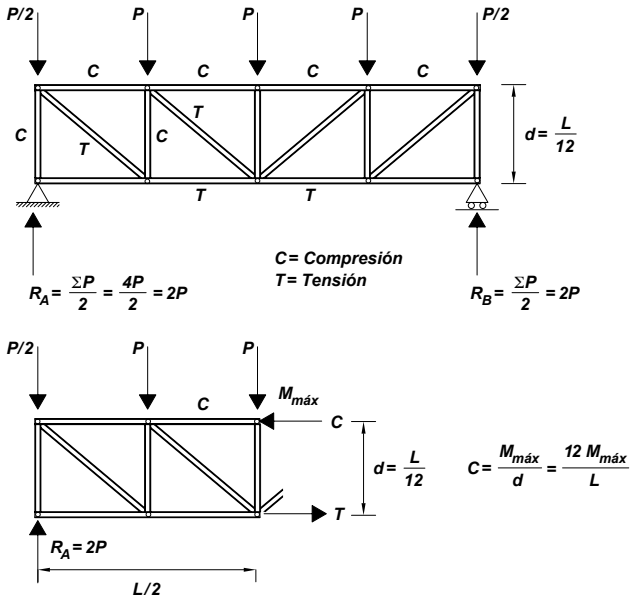
Todas las fuerzas exteriores desarrollan fuerzas axiales internas en las barras que forman la armadura. Aunque generalmente las barras que forman la armadura, se consideran y analizan como articuladas en sus extremos es difícil llegar a construirlas con esas condiciones de apoyo, ya que las uniones soldadas o atornilladas que son las más usuales, rigidizan la junta y desarrollan momentos flexionantes que en la mayoría de los casos se desprecian. Las uniones de las barras en las articulaciones puede ser directa o por medio de placas de nudo.

Así los efectos debidos al momento flexionante se transmite como tensión y compresión en las cuerdas inferior y superior de la armadura. Las barras verticales y diagonales

transmiten la fuerza cortante. Además, el alma de la armadura se encuentra parcialmente vacía reduciendo por lo tanto el peso propio de la pieza.

Características
La principal característica de una armadura es la triangulación y así formando mecanismos se van transmitiendo las fuerzas que soporta hasta los apoyos. En cada nudo las fuerzas exteriores se mantienen en equilibrio junto con las fuerzas internas que se desarrollan en las barras que concurren al mismo punto.

Consideraciones para análisis
La magnitud de las fuerzas horizontales de tensión y compresión que actúan en las cuerdas superior e inferior depende del peralte de la armadura. Una manera aproximada de obtener estas fuerzas consiste en dividir el momento flexionante en una sección, entre el peralte de la armadura. De esta manera se obtiene el momento resistente como si fuese desarrollado exclusivamente por las cuerdas extremas.



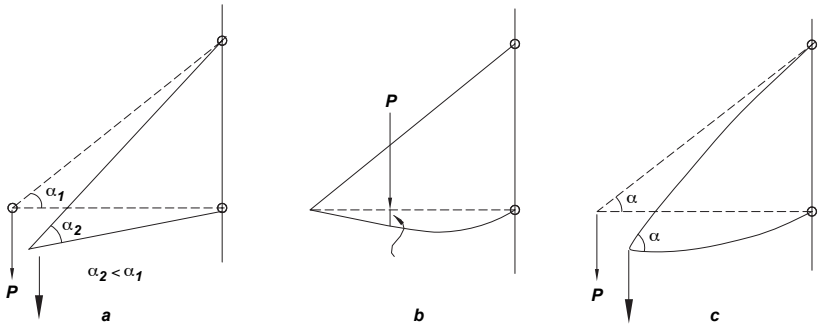
Análisis de la armadura.

Por la misma naturaleza de las fuerzas internas que se desarrollan, se ve la importancia que adquiere el efecto de pandeo en los miembros sometidos a compresión. Se procurará que la relación de esbeltez de estas piezas se conserve dentro de ciertos valores.

En los miembros en tensión, una excesiva flexibilidad de ellos, produce vibraciones excesivas y deformaciones no recomendables, principalmente en las etapas iniciales de montaje. *Las NTC-2004* recomiendan relaciones máximas de esbeltez de *200* para miembros a compresión y de *240* para miembros en tensión.

En el diseño de las armaduras, se supone que todas las fuerzas están aplicadas en los nudos y que éstos a su vez son articulaciones. En la figura siguiente al aplicar una carga en una posición intermedia entre dos nudos, origina esfuerzos de flexión adicionales a los directos que actúan en los miembros de la armadura. En el caso *c* al ser un nudo rígido trata de conservar constante el ángulo original de la armadura, aún después de la deformación.

Esto provoca esfuerzos secundarios de flexión en la barra no considerados en el diseño original. Estos últimos efectos pueden ser despreciables, si se logra que los ejes de todas las piezas que concurren a un nudo, coincidan efectivamente en un punto.



Efectos secundarios en armaduras.

En realidad, en los casos mostrados, la armadura se comporta como una viga de alma llena en la que la transmisión de fuerzas internas se realiza a través de las barras trianguladas.

Con la simple triangulación se asegura la rigidez de la estructura formada y que las deformaciones de esta, sean pequeñas y producidas por los incrementos de longitud en cada una de las barras, sometidas a fuerza axial. Es recomendable que al proyectar una armadura, los ángulos se conserven entre *45* y *60°* y que las dimensiones de las piezas, sean semejantes. De no ser así, las fuerzas en las barras pueden alcanzar valores elevados, o bien las deformaciones, proporcionales a la longitud de los miembros, al ser desiguales pueden provocar desplazamientos asimétricos en la estructura.

La dirección de las diagonales, tiene cierta importancia, ya que de ésta depende el tipo de esfuerzo a que se encuentra sometida la pieza.

El equilibrio de los nudos, se obtiene por los elementos mecánicos, fuerzas cortantes, normales y momentos flexionantes, que se desarrollan en cada una de las barras que constituyen la estructura.

CAPITULO

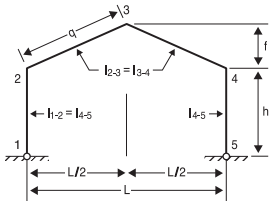
VI

VI.3 MARCOS RÍGIDOS

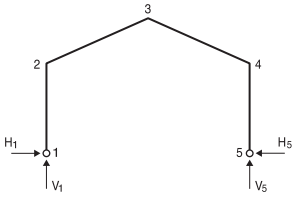
- VI.3.1 MARCOS RÍGIDOS ARTICULADOS SIMPLES
- VI.3.2 MARCOS RÍGIDOS EMPOTRADOS SIMPLES

Fórmulas y diagramas de marcos rígidos para diversas condiciones de carga estática.

Simétrico con respecto a ℄



Notaciones para una estructura con miembros de sección transversal constante.



Direcciones positivas de las componentes vertical y horizontal de las reacciones de la estructura.

Constantes generales de la estructura:

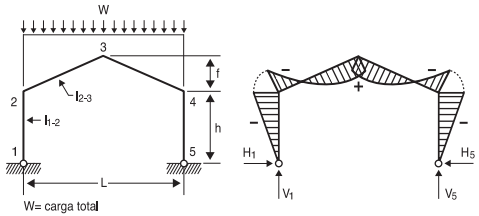
$$\phi = \frac{I_{1-2}}{I_{2-3}} \frac{q}{h} \qquad \psi = \frac{f}{h}$$

$$A = 4\left(3 + 3\psi + \psi^2 + \frac{1}{\phi}\right) \qquad B = 2\left(3 + 2\psi\right)$$

Constante C:
Se utilizará sólo en los casos de carga horizontal sobre la estructura.

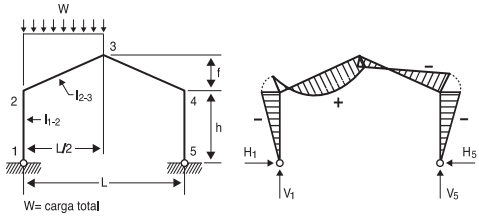
$$C = 2\left(3 + \psi + \frac{2}{\phi}\right)$$

Carga vertical uniformemente repartida sobre toda la viga.



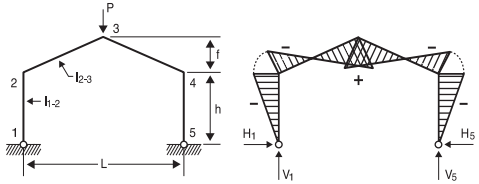
$$H_1 = H_5 = \frac{WL}{8Ah}(2+B+\psi)$$
$$V_1 = V_5 = \frac{W}{2}$$
$$M_2 = M_4 = -H_5 h$$
$$M_3 = \frac{WL}{8} - H_5 h\,(1+\psi)$$

Carga vertical uniformemente repartida sobre un miembro inclinado.



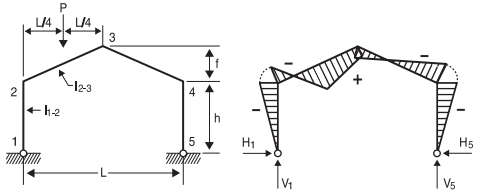
$$K = 2+\psi$$
$$H_1 = H_5 = \frac{WL}{8Ah}(B+K)$$
$$V_1 = \frac{3W}{4} \qquad V_5 = \frac{W}{4}$$
$$M_2 = M_4 = -H_5 h$$
$$M_3 = \frac{WL}{8} - H_5 h\,(1+\psi)$$

Carga vertical concentrada sobre la junta 3.



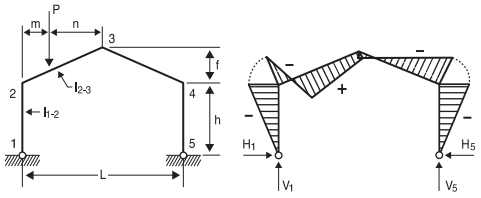
$$H_1 = H_5 = \frac{PLB}{4Ah}$$
$$V_1 = V_5 = \frac{P}{2}$$
$$M_2 = M_4 = -H_5 h$$
$$M_3 = \frac{PL}{4} - H_5 h\,(1+\psi)$$

Carga vertical concentrada sobre el punto de un miembro inclinado.



$$K = 3(2+\psi)$$
$$H_1 = H_5 = \frac{PL\,(2B+K)}{16Ah}$$
$$V_1 = \frac{3P}{4} \qquad V_5 = \frac{P}{4}$$
$$M_2 = M_4 = -H_5 h$$
$$M_3 = \frac{PL}{8} - H_5 h\,(1+\psi)$$

Carga vertical concentrada sobre cualquier punto de un miembro inclinado.



$$G = \frac{L+2m}{L+2n} \qquad J = \frac{8mn\,(L+2n)}{L^3}$$

$$K = J\,(1+G+G\psi)$$

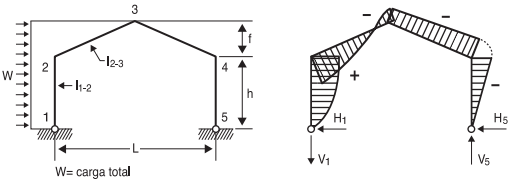
$$H_1 = H_5 = \frac{P}{4Ah}\,(2Bm+KL)$$

$$V_1 = P\left(1-\frac{m}{L}\right) \qquad V_5 = \frac{Pm}{L}$$

$$M_2 = M_4 = -H_5h$$

$$M_3 = \frac{Pm}{2} - H_5h\,(1+\psi)$$

Carga horizontal uniformemente repartida sobre la mitad izquierda de la estructura.



$$m = \frac{h}{h+f} \qquad n = 1-m$$

$$G = 1+\frac{\psi}{2} \qquad K = A+B+C+2G\psi$$

$$H_5 = \frac{W}{4A}\left[Kn+m\left(B+C+\frac{1}{\phi}\right)\right]$$

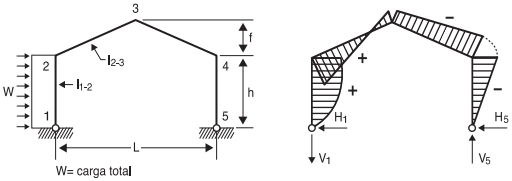
$$H_1 = -(W-H_5)$$

$$V_5 = \frac{Wh}{2L}\,(1+n+n\psi) \qquad V_1 = -V_5$$

$$M_2 = \frac{Wh}{2}\,(1+n) - H_5h \qquad M_4 = -H_5h$$

$$M_3 = \frac{Wh}{4}\,(1+n+n\psi) - H_5h\,(1+\psi)$$

Carga horizontal uniformemente repartida sobre una columna.



$$H_5 = \frac{W}{4A\phi}\left[1+\phi\,(B+C)\right]$$

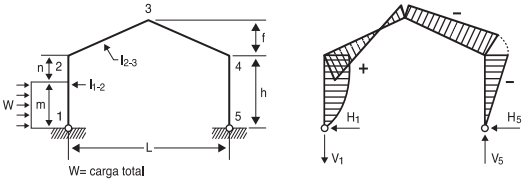
$$H_1 = -(W-H_5)$$

$$V_5 = \frac{Wh}{2L} \qquad V_1 = -V_5$$

$$M_2 = \frac{Wh}{2} - H_5h \qquad M_4 = -H_5h$$

$$M_3 = \frac{Wh}{4} - H_5h\,(1+\psi)$$

Carga horizontal uniformemente repartida sobre parte de una columna.



$$g = \frac{m}{h} \qquad J = \frac{g\,(2-g^2)}{2\phi}$$

$$K = 2Jh + m(B+C)$$

$$H_5 = \frac{WK}{4Ah} \qquad H_1 = -(W-H_5$$

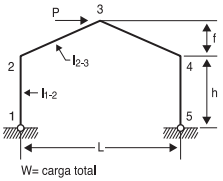
$$V_5 = \frac{Wm}{2L} \qquad V_1 = -V_5$$

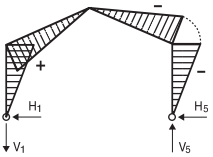
$$M_2 = \frac{Wm}{2} - H_5h \qquad M_4 = -H_5h$$

$$M_3 = \frac{Wm}{4} - H_5h\,(1+\psi)$$

Fórmulas y diagramas de marcos rígidos para diversas condiciones de carga estática.

Carga horizontal concentrada sobre la junta 3.



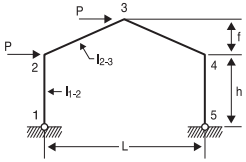


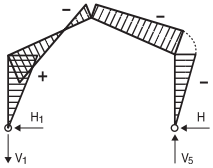
$$H_1 = -\frac{P}{2} \qquad H_5 = \frac{P}{2}$$

$$V_5 = \frac{Ph}{L}(1+\psi) \qquad V_1 = -V_5$$

$$M_2 = \frac{Ph}{2} \qquad M_3 = 0 \qquad M_4 = -\frac{Ph}{2}$$

Carga horizontal concentrada en la junta 2.





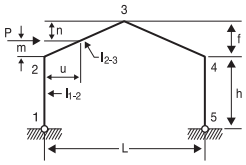
$$H_5 = \frac{P(B+C)}{2A} \qquad H_1 = -(P-H_5)$$

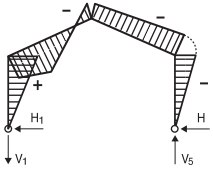
$$V_1 = -\frac{Ph}{L} \qquad V_5 = \frac{Ph}{L}$$

$$M_2 = h(P-H_5)$$

$$M_3 = \frac{Ph}{2} - H_5 h(1+\psi) \qquad M_4 = -H_5 h$$

Carga horizontal concentrada sobre cualquier punto de un miembro inclinado.





$$G = \frac{f+m}{f+n} \qquad J = \frac{2mn(f+n)}{f^3}$$

$$K = J\psi(1+G+G\psi) + \frac{Bm\psi}{f}$$

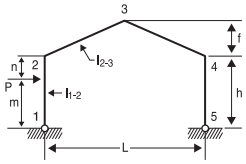
$$H_5 = \frac{P}{2A}(B+C+K) \qquad H_1 = -(P-H_5)$$

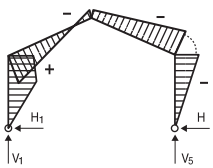
$$V_5 = \frac{Ph}{L}\left(1+\frac{m\psi}{f}\right) \qquad V_1 = -V_5$$

$$M_2 = h(P-H_5)$$

$$M_3 = \frac{V_5 L}{2} - H_5 h(1+\psi) \qquad M_4 = -H_5 h$$

Carga horizontal concentrada sobre cualquier punto de una columna.





$$G = \frac{m}{h} \qquad J = 2g(1-g^2)$$

$$K = g(B+C) + \frac{J}{\phi}$$

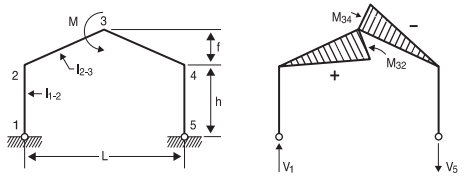
$$H_5 = \frac{PK}{2A} \qquad H_1 = -(P-H_5)$$

$$V_5 = \frac{Pm}{L} \qquad V_1 = -V_5$$

$$M_2 = Pm - H_5 h \qquad M_4 = -H_5 h$$

$$M_3 = \frac{Pm}{2} - H_5 h(1+\psi)$$

Momento aplicado en la junta 3.



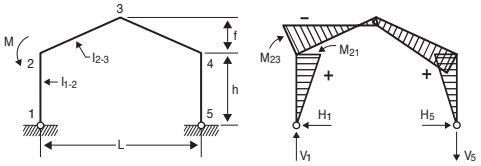
$H_1 = H_5 = 0$

$V_1 = \frac{M}{L}$ $\quad V_5 = -\frac{M}{L}$

$M_2 = M_4 = 0$

$M_{32} = \frac{M}{2}$ $\quad M_{34} = -\frac{M}{2}$

Momento aplicado en la junta 2.



$H_1 = H_5 = -\frac{M}{2Ah}(6+B+2\psi)$

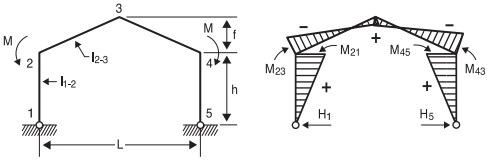
$V_1 = \frac{M}{L}$ $\quad V_5 = -\frac{M}{L}$

$M_{21} = M_4 = -H_5h$

$M_{23} = -(M - M_{21})$

$M_3 = -\frac{M}{2} - H_5h\,(1+\psi)$

Dos momentos iguales aplicados en las juntas 2 y 4.



$H_1 = H_5 = -\frac{M}{Ah}(6+B+2\psi)$

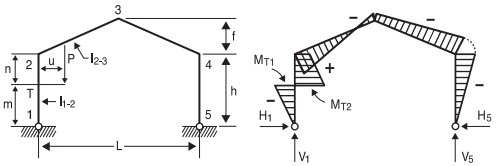
$V_1 = V_5 = 0$

$M_{21} = M_{45} = -H_5h$

$M_{23} = M_{43} = -(M - M_{21})$

$M_3 = -M - H_5h\,(1+\psi)$

Carga vertical concentrada sobre la ménsula.



$M = Pu$

$J = \frac{2(h^2 - 3m^2)}{h^2\phi}$ $\quad K = B + C + J$

$H_1 = H_5 = \frac{MK}{2Ah}$

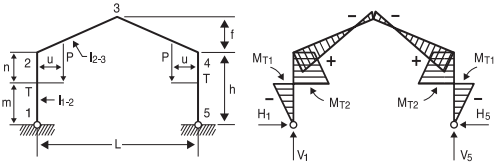
$V_5 = \frac{M}{L}$ $\quad V_1 = P - \frac{M}{L}$

$M_2 = M - H_1h$ $\quad M_4 = -H_5h$

$M_3 = \frac{M}{2} - H_5h\,(1+\psi)$

La ménsula actúa como simple voladizo y su momento máximo es Pu en el punto T. El diagrama de momentos del voladizo no se presenta intencionalmente para que el diagrama de momentos de flexión de la estructura quede ilustrado con más claridad.

Dos cargas verticales concentradas e iguales aplicadas simétricamente sobre las ménsulas.



$M = Pu$

$J = \frac{2(h^2 - 3m^2)}{h^2\phi}$ $K = B + C + J$

$H_1 = H_5 = \frac{MK}{Ah}$

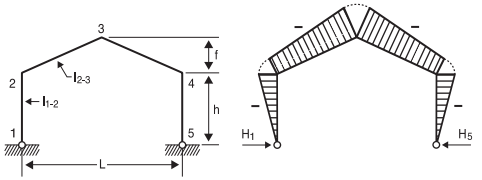
$V_1 = V_5 = P$

$M_2 = M_4 = M - H_1 h$

$M_3 = M - H_5 h\ (1 + \psi)$

Las ménsulas actúan como simples voladizos con los momentos máximos de Pu en los puntos T. Los diagramas de momentos de estos voladizos no se presentan intencionalmente, para que el diagrama de momentos de flexión de la estructura quede ilustrado más claramente.

6-30. Efectos de la variación de la temperatura. t° para toda la estructura.



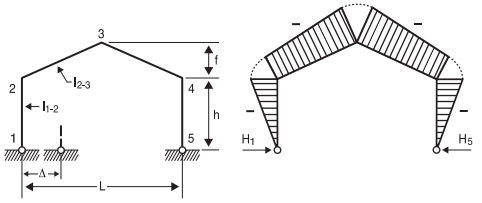
$H_1 = H_5 = \frac{6L\varepsilon t^0}{Ah^3\phi} E_{1\text{-}2}$

$V_1 = V_5 = 0$

$M_2 = M_4 = -H_5 h$

$M_3 = -H_5 h\ (1 + \psi)$

Desplazamiento horizontal de un apoyo.



$H_1 = H_5 = \frac{6\Delta}{Ah^3\phi} E_{1\text{-}2}$

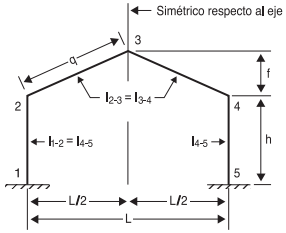
$V_1 = V_5 = 0$

$M_2 = M_4 = -H_5 h$

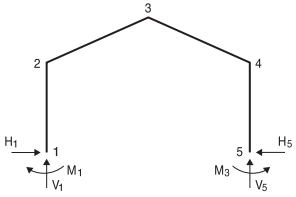
$M_3 = -H_5 h\ (1 + \psi)$

Nota: Si la dirección del desplazamiento de la estructura es opuesta a la del diagrama, se introduce el valor Δ con signo negativo.

Fórmulas y diagramas de marcos rígidos para diversas condiciones de carga estática.



Notaciones para una estructura con miembros de sección transversal constante.



Direcciones positivas de los momentos y de las componentes vertical y horizontal de las reacciones de la estructura.

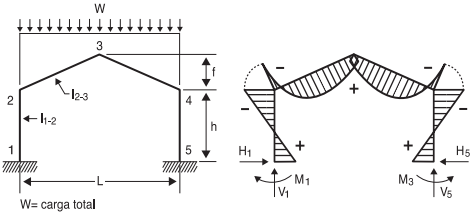
Constantes de la estructura:

$$\phi = \frac{I_{1-2}}{I_{2-3}} \frac{q}{h} \qquad \psi = \frac{f}{h}$$

$$A = \frac{3\,(1-\phi\psi)}{2\,(1+\phi\psi^2)} \qquad B = \frac{6\,(1+\phi)}{1+\phi\psi^2}$$

$$D = 16\,(3+\phi) \qquad F = 12\left[2+2\phi-A\,(1-\phi\psi)\right]$$

Carga vertical uniformemente repartida sobre toda la viga.



$$G = 2 + \frac{5A\psi}{4} \qquad J = 2A + \frac{5B\psi}{8}$$

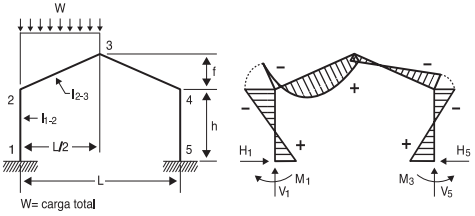
$$H_1 = H_5 = \frac{WLJ\phi}{Fh} \qquad V_1 = V_5 = \frac{W}{2}$$

$$M_2 = M_4 = -\frac{WLG\phi}{F}$$

$$M_1 = M_5 = \frac{WL\phi}{F}(J - G)$$

$$M_3 = -\frac{WLG\phi}{F} + \frac{WL}{8} - H_5 f$$

Carga vertical uniformemente repartida sobre un miembro inclinado.



$$G = 2 + \frac{5A\psi}{4} \qquad J = 2A + \frac{5B\psi}{8}$$

$$H_1 = H_5 = \frac{WLJ\phi}{Fh}$$

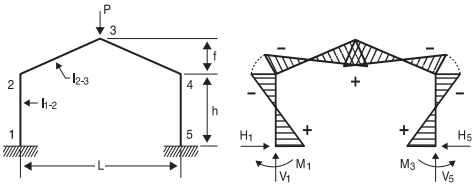
$$V_5 = \frac{W}{4D}(D - 4\phi) \qquad V_1 = W - V_5$$

$$\left.\begin{matrix} M_2 \\ M_4 \end{matrix}\right\rangle = -WL\phi\left(\frac{G}{F} \pm \frac{1}{2D}\right)$$

$$M_1 = M_2 + H_1 h \qquad M_5 = M_4 + H_5 h$$

$$M_3 = -\frac{WLG\phi}{F} + \frac{WL}{8} - H_5 f$$

Carga vertical concentrada en la junta 3.



$$H_1 = H_5 = \frac{PL\phi}{Fh}(3A + B\psi)$$

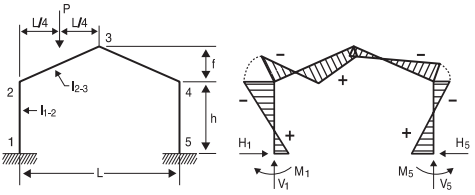
$$V_1 = V_5 = \frac{P}{2}$$

$$M_2 = M_4 = -\frac{PL\phi}{F}(3 + 2A\psi)$$

$$M_1 = M_5 = M_2 + H_1 h$$

$$M_3 = M_2 + \frac{PL}{4} - H_5 f$$

Carga vertical concentrada sobre el centro de un miembro inclinado.



$$G = \frac{9}{2} + \frac{11A\psi}{4} \qquad J = \frac{9A}{2} + \frac{11B\psi}{8}$$

$$H_1 = H_5 = \frac{PLJ\phi}{2Fh}$$

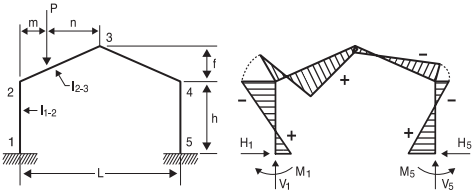
$$V_5 = \frac{P}{4}\left(1 - \frac{6\phi}{D}\right) \qquad V_1 = P - V_5$$

$$\left.\begin{matrix} M_2 \\ M_4 \end{matrix}\right\rangle = -\frac{PL\phi}{}\left(\frac{G}{F} \pm \frac{3}{2D}\right)$$

$$M_1 = M_2 + H_1 h \qquad M_5 = M_4 + H_5 h$$

$$M_3 = \frac{M_2 + M_4}{2} + \frac{PL}{8} - H_5 f$$

Carga vertical concentrada sobre cualquier punto de un miembro inclinado.



$$G = \frac{L + 2m}{L + 2n} \qquad J = \frac{8mn\,(L + 2n)}{L^3}$$

$$K = JL\,(1 + G + AG\psi) + 4m\,(3 + 2A\psi)$$

$$N = JL\left[2A\,(1 + G) + BG\psi\right] + 8m\,(3A + B\psi)$$

$$H_1 = H_5 = \frac{PN\phi}{4Fh}$$

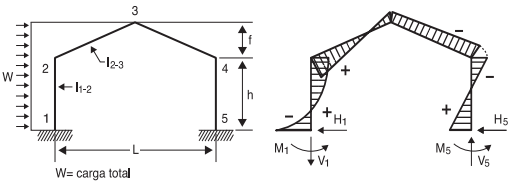
$$V_5 = P\left(\frac{m}{L} - \frac{2J\phi}{D}\right) \qquad V_1 = P - V_5$$

$$\left.\begin{matrix} M_2 \\ M_4 \end{matrix}\right\rangle = -P\phi\left(\frac{K}{2f} \pm \frac{JL}{D}\right)$$

$$M_1 = M_2 + H_1 h \qquad M_5 = M_4 + H_5 h$$

$$M_3 = \frac{PK\phi}{2F} + \frac{Pm}{2} - H_5 f$$

Carga horizontal uniformemente repartida sobre la mitad izquierda de la estructura.



$$m = \frac{h}{h + f} \qquad n = 1 - m$$

$$G = 6 - 4A - \phi\psi\left(4 + \frac{5A\psi}{2}\right)$$

$$J = 2B + \phi\psi\left(4A + \frac{5B\psi}{4}\right) - 6A$$

$$K = Gn + m\left(2 - \frac{3}{2}A\right)$$

$$N = 4m + n\,(12 - \phi\psi)$$

$$H_5 = \frac{W}{F}\left(Jn + \frac{3Bm}{4} - 2Am\right) \qquad H_1 = -(W - H_5)$$

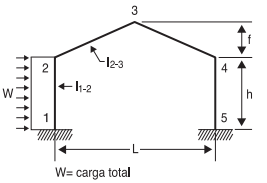
$$V_5 = \frac{Wh}{2DL}\,(4N + Dn\psi) \qquad V_1 = -V_5$$

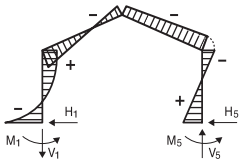
$$\left.\begin{matrix} M_2 \\ M_4 \end{matrix}\right\rangle = Wh\left(\frac{K}{F} \pm \frac{N}{D}\right)$$

$$M_1 = M_2 + H_5 h - \frac{Wh}{2}\,(1 + n) \qquad M_5 = M_4 + H_5 h$$

$$M_3 = \frac{M_2 + M_4}{2} - H_5 f + \frac{Wfn}{4}$$

Carga horizontal uniformemente repartida sobre una columna.





$$H_5 = \frac{W}{4F}(3B - 8A)$$

$$H_1 = -(W - H_5)$$

$$V_5 = \frac{8Wh}{DL} \qquad V_1 = -V_5$$

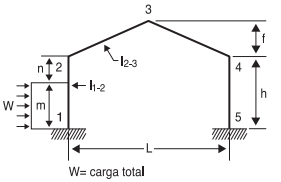
$$\begin{matrix} M_2 \\ M_4 \end{matrix} \Big\rangle = \frac{Wh}{2F}(4 - 3A) \pm \frac{4Wh}{D}$$

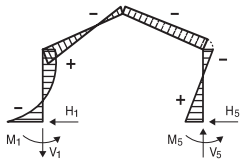
$$M_1 = M_2 + H_5 h - \frac{Wh}{2}$$

$$M_3 = \frac{Wh}{2F}(4 - 3A) - H_5 f$$

$$M_5 = M_4 + H_5 h$$

Carga horizontal uniformemente repartida sobre una parte de la columna.





$$g = \frac{m}{h} \qquad G = \frac{2 - g^2}{(2 - g)^2}$$

$$J = \frac{g}{2}(2 - g)^2$$

$$K = m(3 - 2A) - Jh(1 + G - A)$$

$$N = 6m - 2Jh(1 + G)$$

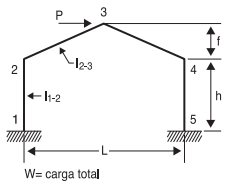
$$S = m(2B - 6A) - Jh(B - 2A - 2AG)$$

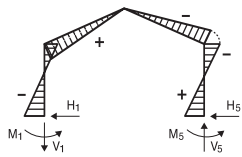
$$H_5 = \frac{WS}{2Fh} \qquad H_1 = -(W - H_5)$$

$$V_5 = \frac{4W}{DL}\left[3m - Jh(1 + G)\right] \qquad V_1 = -V_5$$

$$M_3 = \frac{WK}{F} - H_5 f \qquad \begin{matrix} M_2 \\ M_4 \end{matrix} \Big\rangle = W\left(\frac{K}{F} \pm \frac{N}{D}\right)$$

Carga horizontal concentrada en la junta 3.





$$H_1 = -\frac{P}{2} \qquad H_5 = \frac{P}{2}$$

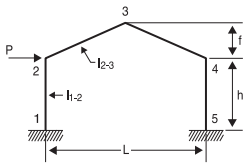
$$V_5 = \frac{Ph}{DL}(24 + D\psi) \qquad V_1 = -V_5$$

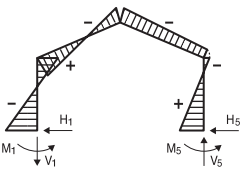
$$M_2 = \frac{12Ph}{D} \qquad M_4 = -\frac{12Ph}{D}$$

$$M_1 = M_2 + H_1 h \qquad M_5 = M_4 + H_5 h$$

$$M_3 = 0$$

Carga horizontal concentrada en la junta 2.





$$H_5 = \frac{2P}{F}(B - 3A)$$

$$H_1 = -(P - H_5)$$

$$V_5 = \frac{24Ph}{DL} \qquad V_1 = -V_5$$

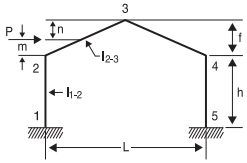
$$\left.\begin{matrix} M_2 \\ M_4 \end{matrix}\right\rangle = 4Ph\left(\frac{3-2A}{2F} \pm \frac{3}{D}\right)$$

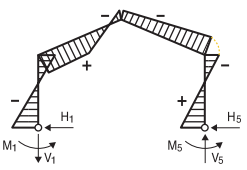
$$M_1 = M_2 - h(P - H_2)$$

$$M_5 = M_4 + H_3 h$$

$$M_3 = \frac{2Ph}{F}(3 - 2A) - H_5 f$$

Carga horizontal concentrada sobre cualquier punto de un miembro inclinado.





$$G = \frac{f+m}{f+n} \qquad J = \frac{2mn(f+n)}{P}$$

$$K = Jf\phi(1 + G + AG\psi)$$

$$N = h(6 - 4A) - m\phi(6 + 4A\psi)$$

$$S = J\phi\psi\left[2A(1+G) + BG\psi\right]$$

$$T = 2B - 6A + \frac{m\phi\psi}{f}(6A + 2B\psi)$$

$$H_5 = \frac{P}{2F}(S - 2T) \qquad H_1 = -(P - H_5)$$

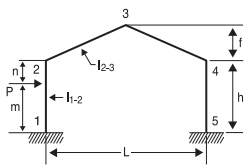
$$V_5 = \frac{P}{DL}\left[Dm + 4h(6 - J\phi\psi)\right] \qquad V_1 = -V_5$$

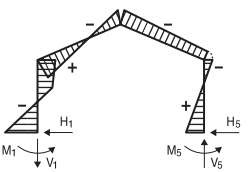
$$\left.\begin{matrix} M_2 \\ M_4 \end{matrix}\right\rangle = \frac{P}{F}(N - K) \pm \frac{2Ph}{D}(6 - J\phi\psi) \qquad M_1 = M_2 + H_1 h$$

$$M_5 = M_4 + H_5 h$$

$$M_5 = \frac{P}{F}(N - K) + \frac{Pm}{2} - H_5 f$$

Carga horizontal concentrada en cualquier punto de la columna.





$$G = \frac{h+m}{h+n} \qquad J = \frac{2mn(h+n)}{h^3}$$

$$K = m(6 - 4A) - Jh(1 + G - A)$$

$$N = 4m(B - 3A) - Jh\left[B - 2A(1+G)\right]$$

$$H_5 = \frac{PN}{2Fh} \qquad H_1 = -(P - H_5)$$

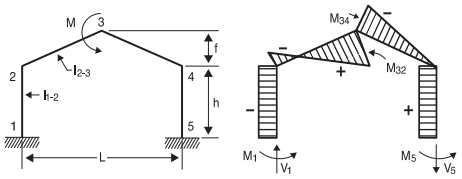
$$V_5 = \frac{4P}{DL}\left[6m - Jh(1+G)\right] \qquad V_1 = -V_5$$

$$\left.\begin{matrix} M_2 \\ M_4 \end{matrix}\right\rangle = \frac{PK}{F} \pm \frac{2P}{D}\left[6m - Jh(1+G)\right]$$

$$M_5 = M_4 + H_5 h \qquad M_1 = M_2 + H_5 h - Pm$$

$$M_3 = \frac{PK}{F} - H_5 f$$

Momento aplicado a la junta 3.



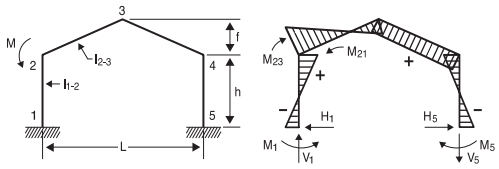
$H_1 = H_5 = 0$

$V_5 = -\frac{M}{L}\left(1+\frac{8\phi}{D}\right)$ $\quad V_1 = -V_5$

$M_1 = M_2 = -\frac{4M\phi}{D}$ $\quad M_{32} = \frac{M}{2}$

$M_{34} = -\frac{M}{2}$ $\quad M_4 = M_5 = \frac{4M\phi}{D}$

Momento aplicado a la junta 2.



$H_1 = H_5 = -\frac{3M\phi}{Fh}(4A + B\psi)$

$V_5 = -\frac{M}{L}\left(1-\frac{16\phi}{D}\right)$ $\quad V_1 = -V_5$

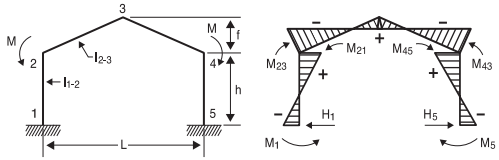
$\left.\begin{matrix}M_{21}\\M_4\end{matrix}\right\rangle = 2M\phi\left(\frac{6+3A\psi}{F} \pm \frac{4}{D}\right)$

$M_{23} = M_{21} - M$ $\quad M_1 = M_{21} + H_5 h$

$M_3 = 2M\phi\left(\frac{6+3A\psi}{F}\right) - \frac{M}{2} - H_5 f$

$M_5 = M_4 + H_5 h$

Dos momentos iguales a las juntas 2 y 4.



$H_1 = H_5 = -\frac{6M\phi}{Fh}(4A + B\psi)$

$V_1 = V_5 = 0$

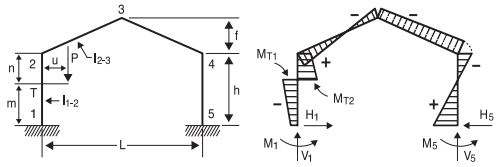
$M_{21} = M_{43} = 4M\phi\left(\frac{6+3A\psi}{F}\right)$

$M_{23} = M_{43} = M_{21} - M$

$M_3 = 4M\phi\left(\frac{6+3A\psi}{F}\right) - M - H_5 f$

$M_1 = M_4 = M_{21} + H_5 h$

Carga vertical concentrada aplicada a una ménsula.



$M = Pu$

$G = \frac{h^2 + 3m^2}{h^2 - 3n^2}$ $\quad J = \frac{2(h^2 - 3n^2)}{h^2}$

$K = 6 + J(1 - A - G) - 4A$

$N = 4B + J(2AG + B - 2A) - 12A$

$H_1 = H_5 = \frac{MN}{2Fh}$

$V_5 = \frac{4M}{DL}\left[6 + J(1 - G)\right]$

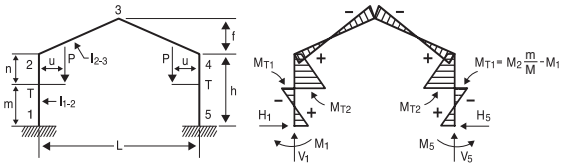
$V_1 = P - V_5$

$\left.\begin{matrix}M_2\\M_4\end{matrix}\right\rangle = \frac{MK}{F} \pm \frac{2M}{D}\left[6 + J(1 - G)\right]$

$M_1 = M_2 + H_5 h - M$ $\quad M_5 = M_4 + H_5 h$

$M_3 = \left(\frac{MK}{F}\right) - H_5 f$

Dos cargas verticales concentradas iguales aplicadas simétricamente sobre ménsulas.



$M = Pu$

$G = \frac{h^2 3m^2}{h^2 3n^2}$ $\quad J = \frac{2(h^2-3n^2)}{h^2}$

$K = 6 + J(1-A-G) - 4A$

$N = 4B + J(2AG + B - 2A) - 12A$

$H_1 = H_5 = \frac{MN}{Fh}$ $\quad V_1 = V_5 = P$

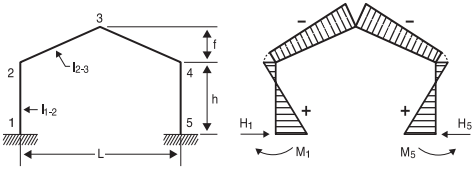
$M_1 = M_4 = M_2 + H_5 h - M$

$M_2 = M_4 = \frac{2MK}{F}$

$M_3 = \frac{2MK}{F} - H_5 f$

Las ménsulas actúan como simples voladizos con los momentos Pu en los puntos T. Los diagramas de momentos de estos voladizos no se presentan intencionalmente, para que el diagrama de momentos de flexión de la estructura quede ilustrado más claramente.

Efectos de la variación de la temperatura. t° para toda la estructura.



$K = \frac{6L_{Ft°}}{Fh^2} EI_{1-2}$

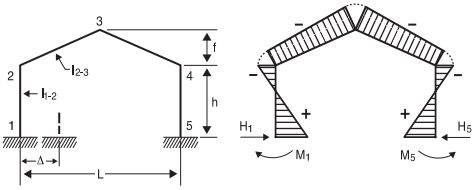
$H_1 = H_5 = \frac{KB}{h}$ $\quad V_1 = V_5 = 0$

$M_2 = M_4 = -2AK$

$M_1 = M_5 = K(B-2A)$

$M_3 = M_1 - H_1(h+f)$

Desplazamiento horizontal de un apoyo.



$K = \frac{6\Delta}{Fh^2} EI_{1-2}$

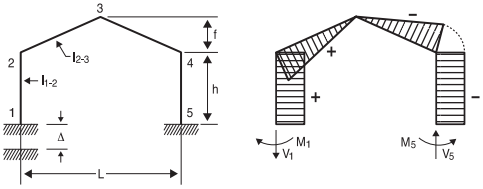
$H_1 = H_5 = \frac{KB}{h}$ $\quad V_1 = V_5 = 0$

$M_2 = M_4 = -2AK$

$M_1 = M_5 = K(B-2A)$

$M_3 = M_1 = -H_1(h+f)$

Asentamiento vertical de un soporte.



$H_1 = H_5 = 0$

$V_5 = \frac{2M_1}{L}$ $\quad V_1 = -V_5$

$M_1 = M_2 = \frac{48\Delta}{DLh} EI_{1-2}$

$M_4 = M_5 = -M_1$

$M_3 = 0$

CAPITULO

VII

Dimensiones y propiedades de los perfiles para diseñar y detallar estructuras

CAPITULO

VII

- VII.1 **W** (**IR**)
- VII.2 **IE** (**S**)
- VII.3 **HP**
- VII.4 **C** (**CE**)
- VII.5 **MC**
- VII.6 **L** (**LI-LD**)
- VII.7 **WT** (**TR**)
- VII.8 **MT**
- VII.9 **ST** (**TE**)
- VII.10 **TUBOS CUADRADOS Y RECTANGULARES** (**HSS**)
- VII.11 **TUBOS OC**
- VII.12 **2L** (**S**)
- VII.13 **2L LLBB**
- VII.14 **2L SLBB**

CAPITULO

VII

VII.1 W (IR)

Designación (d x peso) (mm x kg/m)	Designación (d x peso) (in x lb/ft)	d (mm)	b_f (mm)	t_w (mm)	t_f (mm)	K_{DIS} (mm)	K_{DET} (mm)	K_1 (mm)
1100 x 499	44 x 335	1 120	404	26.2	45	65	66.7	33.3
1100 x 433	44 x 290	1 110	401	22	40.1	59.9	61.9	31.8
1100 x 390	44 x 262	1 100	401	19.9	36.1	55.9	57.2	30.2
1100 x 343	44 x 230	1 090	401	18	31	51.1	52.4	30.2
1000 x 883	40 x 593	1 090	424	45.5	82	112	114	54.0
1000 x 748	40 x 503	1 070	417	39.1	70.1	100	102	50.8
1000 x 642	40 x 431	1 050	411	34	59.9	89.9	92.1	47.6
1000 x 591	40 x 397	1 040	409	31	55.9	85.9	88.9	46.0
1000 x 554	40 x 372	1 030	409	29.5	52.1	82	84.1	46.0
1000 x 539	40 x 362	1 030	406	28.4	51.1	81	82.6	44.5
1000 x 483	40 x 324	1 020	404	25.4	46	75.9	77.8	42.9
1000 x 443	40 x 297	1 010	401	23.6	41.9	71.9	74.6	42.9
1000 x 412	40 x 277	1 010	401	21.1	40.1	70.1	73	41.3
1000 x 371	40 x 249	1 000	401	19.1	36.1	66	68.3	39.7
1000 x 321	40 x 215	991	401	16.5	31	61	63.5	39.7
1000 x 296	40 x 199	983	401	16.5	27.2	57.2	58.7	39.7
1000 x 584	40 x 392	1 060	315	36.1	64	94	96.8	49.2
1000 x 494	40 x 331	1 040	310	31	54.1	84.1	85.7	46.0
1000 x 486	40 x 327	1 040	307	30	54.1	84.1	85.7	46.0
1000 x 438	40 x 294	1 030	305	26.9	49	79	81	44.5
1000 x 415	40 x 278	1 020	305	26.2	46	75.9	77.8	44.5
1000 x 393	40 x 264	1 020	302	24.4	43.9	73.9	76.2	42.9
1000 x 350	40 x 235	1 010	302	21.1	40.1	70.1	73	41.3
1000 x 314	40 x 211	1 000	300	19.1	36.1	66	68.3	39.7
1000 x 272	40 x 183	991	300	16.5	30.5	60.5	63.5	39.7
1000 x 249	40 x 167	980	300	16.5	26.2	56.1	58.7	39.7
1000 x 222	40 x 149	970	300	16	21.1	51.1	54	38.1
920 x 1191	36 x 800	1 080	457	60.5	109	133	141	60.3
920 x 970	36 x 652	1 040	447	50	89.9	114	122	55.6
920 x 787	36 x 529	1 010	437	40.9	73.9	98	106	50.8
920 x 725	36 x 487	998	434	38.1	68.1	92.2	102	47.6
920 x 656	36 x 441	988	432	34.5	62	86.1	95.3	47.6
920 x 588	36 x 395	975	427	31	55.9	80	87.3	46.0
920 x 537	36 x 361	965	424	28.4	51.1	75.2	84.1	44.5
920 x 491	36 x 330	958	422	25.9	47	71.1	79.4	44.5
920 x 449	36 x 302	947	424	24	42.7	66.8	76.2	42.9
920 x 420	36 x 282	942	422	22.5	39.9	64	73	41.3
920 x 390	36 x 262	937	422	21.3	36.6	60.7	69.9	41.3
920 x 368	36 x 247	932	419	20.3	34.3	58.4	66.7	41.3
920 x 345	36 x 231	927	419	19.3	32	56.1	65.1	39.7
920 x 381	36 x 256	950	310	24.4	43.9	63	66.7	33.3
920 x 345	36 x 232	942	307	22.1	39.9	58.9	61.9	31.8
920 x 313	36 x 210	932	310	21.1	34.5	53.6	58.7	31.8
920 x 289	36 x 194	927	307	19.4	32	51.1	55.6	30.2
920 x 271	36 x 182	922	307	18.4	30	49	54	30.2
920 x 253	36 x 170	919	305	17.3	27.9	47	50.8	30.2
920 x 238	36 x 160	914	305	16.5	25.9	45	49.2	28.6

A (cm^2)	I_x (cm^4)	S_x (cm^3)	r_x (cm)	I_y (cm^4)	S_y (cm^3)	r_y (cm)	Z_x (cm^3)	Z_y (cm^3)	J (cm^4)	C_w (cm^6)	r_{ts} (cm)	h_o (cm)
635	1 290 000	23 100	45.2	49 900	2.460	8.86	26 500	3 870	3 110	144 000 000	10.8	107.5
551	1 120 000	20 300	45.2	43 300	2.160	8.86	23 100	3 360	2 120	124 000 000	10.7	107.0
496	1 000 000	18 200	45	38 400	1.920	8.81	20 800	2 980	1 550	109 000 000	10.6	106.4
437	866 000	15 900	44.5	33 100	1.660	8.71	18 000	2 570	1 040	92 900 000	10.5	105.9
1 120	2 100 000	38 300	43.2	105 000	4.950	9.65	45 200	7 880	18 500	268 000 000	11.8	100.8
955	1 730 000	32 400	42.7	84 900	4.080	9.45	38 000	6 460	11 500	212 000 000	11.4	100.0
819	1 450 000	27 700	42.2	70 300	3.410	9.27	32 100	5 370	7 370	171 000 000	11.2	99.0
755	1 330 000	25 600	42.2	64 100	3.130	9.25	29 500	4 920	5 910	155 000 000	11.1	98.4
703	1 230 000	23 900	41.9	59 100	2.900	9.14	27 500	4 540	4 830	142 000 000	11.0	97.8
690	1 200 000	23 300	41.9	57 400	2.830	9.14	26 900	4 420	4 540	138 000 000	11.0	97.9
615	1 070 000	21 000	41.7	50 800	2.510	9.09	23 900	3 920	3 300	120 000 000	10.8	97.4
564	966 000	19 200	41.4	45 400	2.260	8.99	21 800	3 520	2 550	107 000 000	10.7	96.8
525	912 000	18 000	41.7	43 300	2.160	9.09	20 500	3 340	2 140	102 000 000	10.8	97.0
473	816 000	16 300	41.4	38 500	1.930	9.02	18 400	2 980	1 590	89 700 000	10.7	96.4
409	695 000	14 100	41.1	33 100	1.660	8.99	15 800	2 560	1 030	76 300 000	10.6	96.0
377	620 000	12 600	40.6	28 900	1.450	8.76	14 200	2 250	762	66 100 000	10.5	95.6
742	1 240 000	23 600	40.9	33 400	2.130	6.71	28 000	3 470	7 160	82 200 000	8.4	99.6
629	1 030 000	19 800	40.4	26 800	1.740	6.53	23 400	2 820	4 370	64 700 000	8.2	98.6
619	1 020 000	19 700	40.6	26 600	1.720	6.55	23 100	2 790	4 290	64 200 000	8.1	98.6
557	912 000	17 700	40.4	23 400	1.530	6.48	20 800	2 460	3 190	55 900 000	8.0	98.1
529	853 000	16 700	40.1	21 700	1.430	6.4	19 500	2 290	2 710	51 600 000	8.0	97.4
501	807 000	15 900	40.1	20 500	1.350	6.4	18 500	2 160	2 340	48 600 000	7.9	97.6
445	724 000	14 300	40.4	18 500	1.220	6.45	16 600	1 930	1 720	43 200 000	7.9	97.0
400	645 000	12 900	40.1	16 200	1.080	6.38	14 800	1 720	1 270	37 900 000	7.8	96.4
344	549 000	11 100	39.9	13 800	918	6.32	12 700	1 450	803	31 700 000	7.7	96.1
317	483000	9 830	38.9	11 800	785	6.1	11 400	1 250	583	26 800 000	7.6	95.4
283	408 000	8 410	38.1	9 530	636	5.82	9 800	1 020	390	21 500 000	7.3	94.9
1 520	2 690 000	49 800	42.2	175 000	7.650	10.7	59 800	1 200	44 100	414 000 000	13.1	97.1
1 240	2 110 000	40 300	41.1	134 000	6.010	10.4	47 700	9 520	24 700	303 000 000	12.6	95.0
1 010	1 650 000	32 600	40.6	104 000	4.740	10.2	38 200	7 440	13 600	227 000 000	12.2	93.6
923	1 500 000	30 000	40.1	93 700	4.310	10.1	34 900	6 750	10 700	202 000 000	12.0	93.0
839	1 340 000	27 000	39.9	82 800	3.850	10	31 300	6 030	8 070	178 000 000	11.9	92.6
748	1 190 000	24 400	39.9	72 800	3.410	9.86	28 000	5 330	5 910	154 000 000	11.7	91.9
684	1 070 000	22 100	39.6	65 300	3.080	9.78	25 400	4 800	4 540	137 000 000	11.6	91.4
626	970 000	20 300	39.4	59 100	2.800	9.73	23 100	4 340	3 510	122 000 000	11.5	91.1
573	878 000	18 500	39.1	54 100	2.560	9.7	21 000	3 950	2 680	111 000 000	11.5	90.4
535	816 000	17 200	39.1	49 900	2.360	9.65	19 500	3 650	2 190	102 000 000	11.5	90.2
497	745 000	15 900	38.9	45 400	2.160	9.55	18 000	3 340	1 730	91 800 000	11.3	90.0
468	695 000	15 000	38.6	42 000	2.020	9.5	16 900	3 110	1 440	84 900 000	11.2	89.8
439	649 000	14 000	38.4	39 100	1.870	9.42	15 800	2 880	1 190	78 400 000	11.2	89.5
486	699 000	14 700	37.8	22 000	1.420	6.73	17 000	2 250	2 200	45 100 000	8.2	90.6
439	624 000	13 300	37.6	19 500	1.270	6.65	15 300	2 000	1 650	39 700 000	8.1	90.2
399	549 000	11 800	37.1	17 100	1.110	6.55	13 700	1 750	1 170	34 400 000	8.1	89.8
368	504 000	10 900	37.1	15 600	1.010	6.5	12 600	1 600	924	31 200 000	8.0	89.5
346	470 000	10 200	36.8	14 400	944	6.48	11 800	1 490	770	28 700 000	7.9	89.2
323	437 000	9 520	36.8	13 300	872	6.43	10 900	1 370	629	26 500 000	7.9	89.1
303	406 000	8 880	36.6	12 300	805	6.35	10 200	1 270	516	24 200 000	7.8	88.8

Designación (d x peso) (mm x kg/m)	Designación (d x peso) (in x lb/ft)	d (mm)	b_f (mm)	t_w (mm)	t_f (mm)	K_{DIS} (mm)	K_{DET} (mm)	K_1 (mm)
920 x 223	36 x 150	912	305	15.9	23.9	42.9	47.6	28.6
920 x 201	36 x 135	904	305	15.2	20.1	39.1	42.9	28.6
840 x 576	33 x 387	914	411	32	57.9	78	81	36.5
840 x 527	33 x 354	904	409	29.5	53.1	73.2	74.6	34.9
840 x 473	33 x 318	894	406	264	48	68.1	69.9	33.3
840 x 433	33 x 291	884	404	24.4	43.9	64	66.7	33.3
840 x 392	33 x 263	876	401	22.1	39.9	59.9	61.9	31.8
840 x 359	33 x 241	869	404	21.1	35.6	55.6	57.2	31.8
840 x 329	33 x 221	861	401	19.7	32.5	52.3	54	30.2
840 x 299	33 x 201	856	399	18.2	29.2	49.3	50.8	30.2
840 x 251	33 x 169	859	292	17	31	48.8	54	30.2
840 x 226	33 x 152	851	295	16.1	26.9	44.7	49.2	28.6
840 x 210	33 x 141	846	292	15.4	24.4	42.2	46	28.6
840 x 193	33 x 130	841	292	14.7	21.7	39.6	44.5	28.6
840 x 176	33 x 118	836	292	14	18.8	36.6	41.3	28.6
760 x 582	30 x 391	843	396	34.5	62	82	85.7	38.1
760 x 531	30 x 357	833	394	31.5	56.9	77	79.4	36.5
760 x 484	30 x 326	823	391	29	52.1	72.1	74.6	34.9
760 x 434	30 x 292	813	389	25.9	47	67.1	69.9	33.3
760 x 389	30 x 261	803	386	23.6	41.9	62	65.1	33.3
760 x 350	30 x 235	795	384	21.1	38.1	58.2	60.3	31.8
760 x 314	30 x 211	785	384	19.7	33.5	53.3	57.2	30.2
760 x 284	30 x 191	780	381	18	30.2	50	52.4	30.2
760 x 257	30 x 173	772	381	16.6	27.2	47	50.8	28.6
760 x 220	30 x 148	780	267	16.5	30	46.5	52.4	28.6
760 x 196	30 x 132	770	267	15.6	25.4	41.9	47.6	28.6
760 x 185	30 x 124	767	267	14.9	23.6	40.1	46	28.6
760 x 173	30 x 116	762	267	14.4	21.6	38.1	44.5	28.6
760 x 161	30 x 108	757	267	13.8	19.3	35.8	42.9	28.6
760 x 147	30 x 99	754	267	13.2	17	33.5	39.7	27.0
760 x 134	30 x 90	749	264	11.9	15.5	32	38,1	27.0
690 x 802	27 x 539	826	389	50	89.9	110	113	46.0
690 x 548	27 x 368	772	373	35.1	63	83.1	85.7	38.1
690 x 500	27 x 336	762	371	32	57.9	78	81	36.5
690 x 457	27 x 307	752	366	29.5	53.1	73.2	76.2	36.5
690 x 419	27 x 281	744	366	26.9	49	69.1	71.4	34.9
690 x 384	27 x 258	737	363	24.9	45	65	68.3	33.3
690 x 350	27 x 235	729	361	23.1	40.9	61	63.5	33.3
690 x 323	27 x 217	721	358	21.1	38.1	58.2	60.3	31.8
690 x 289	27 x 194	714	356	19.1	34	54.1	57.2	30.2
690 x 265	27 x 178	706	358	18.4	30.2	50.3	52.4	30.2
690 x 240	27 x 161	701	356	16.8	27.4	47.5	50.8	30.2
690 x 217	27 x 146	696	356	15.4	24.8	44.7	47.6	28.6
690 x 192	27 x 129	701	254	15.5	27.9	43.2	50.8	28.6
690 x 170	27 x 114	693	257	14.5	23.6	38.9	46	28.6
690 x 152	27 x 102	688	254	13.1	21.1	36.3	44.5	27.0
690 x 140	27 x 94	683	254	12.4	18.9	34	41.3	27.0

A (cm²)	I_x (cm⁴)	S_x (cm³)	r_x (cm)	I_y (cm⁴)	S_y (cm³)	r_y (cm)	Z_x (cm³)	Z_y (cm³)	J (cm⁴)	C_w (cm⁶)	r_{ts} (cm)	h_o (cm)
285	376 000	8 260	36.3	11 200	739	6.27	9 520	1 160	420	22 100 000	7.8	88.8
256	325 000	7 190	35.6	9 370	618	6.05	8 340	978	291	18.300 000	7.6	88.4
735	1 010 000	22 100	37.1	67 400	3 280	9.58	25 600	5 110	6 160	123 000 000	11.4	85.6
671	916 000	20 300	36.8	60 800	2 970	9.5	23 300	4 620	4 790	110 000 000	11.3	85.1
604	812 000	18 200	36.8	53 700	2 640	9.42	20 800	4 100	3 510	95 900 000	11.2	84.6
553	737 000	16 700	36.6	48 300	2 390	9.35	19 000	3 700	2 710	85 700 000	11.0	84.0
500	662 000	15 100	36.3	43 300	2 150	9.3	17 000	3 310	2 030	75 500 000	10.9	83.6
458	591 000	13 600	35.8	38 800	1 930	9.19	15 400	2 980	1 510	67 400 000	10.9	83.3
421	537 000	12 400	35.8	35 000	1 740	9.12	14 000	2 690	1 160	60 200 000	10.8	82.9
382	483 000	11 200	35.6	31 200	1 560	9.04	12 700	2 410	866	53 200 000	10.7	82.7
319	387 000	9 000	34.8	12 900	883	6.35	10.300	1 380	737	22 100 000	7.7	82.8
289	340 000	7 980	34.3	11 400	773	6.27	9 160	1 210	516	19 300 000	7.7	82.4
268	310 000	7 340	34	10 200	700	6.17	8 420	1 100	404	17 300 000	7.6	82.2
247	279 000	6 650	33.5	9 070	621	6.07	7 650	975	307	15 200 000	7.5	81.9
224	246 000	5 880	33	7 780	534	5.89	6 800	841	221	13 000 000	7.4	81.7
742	862 000	20 500	34	64 500	3 240	9.32	23 800	5 080	7 200	98 300 000	11.1	78.1
677	778 000	18 700	33.8	57 900	2 930	9.25	21 600	4 570	5 580	87 000 000	11.0	77.6
618	699 000	17 000	33.5	51 600	2 650	9.14	19 500	4 130	4 290	77 100 000	10.8	77.1
554	620 000	15 200	33.5	45 800	2 360	9.09	17 400	3 650	3 130	67 100 000	10.7	76.6
496	545 000	13 600	33.3	39 900	2 080	8.97	15 500	3 210	2 250	57 700 000	10.6	76.1
446	487 000	12 300	33	35 600	1 870	8.92	13 900	2 870	1 680	51 000 000	10.5	75.7
401	429 000	10 900	32.8	31 500	1 640	8.86	12 300	2 540	1 180	44 600 000	10.4	75.2
363	383 000	9 830	32.5	28 000	1 470	8.79	11 100	2 260	874	39 200 000	10.3	75.0
329	343 000	8 870	32.3	24 900	1 310	8.69	9 950	2 020	649	34 600 000	10.2	74.5
281	278 000	7 140	31.5	9 450	710	5.79	8 190	1 110	604	13 300 000	7.0	75.0
251	240 000	6 230	31	8 160	610	5.72	7 160	957	405	11 300 000	7.0	74.5
235	223 000	5 820	30.7	7 530	564	5.66	6 690	885	333	10 400 000	6.9	74.3
221	205 000	5 390	30.5	6 830	513	5.56	6 190	806	268	9 370 000	6.9	74.0
205	186 000	4 900	30.2	6 080	457	5.46	5 670	719	208	8 300 000	6.8	73.8
188	166 000	4 410	29.7	5 330	401	5.33	5 110	633	157	7 200 000	6.7	73.7
170	150 000	4 010	29.7	4 790	362	5.31	4 640	569	118	6 440 000	6.6	73.4
1 030	1 070 000	25 700	32.3	87 800	4 540	9.27	31 000	7 160	20 600	119 000 000	11.2	73.6
697	674 000	17 400	31	54 500	2 930	8.84	20 300	4 570	7 080	68 500 000	10.5	70.9
638	608 000	15 900	30.7	49 100	2 650	8.76	18 500	4 130	5 450	60 700 000	10.4	70.4
583	545 000	14 500	30.5	43 700	2 390	8.66	16 900	3 720	4 200	53 400 000	10.3	69.9
535	495 000	13 300	30.5	39 700	2 180	8.61	15 300	3 380	3 310	47 800 000	10.2	69.5
490	450 000	12 200	30.2	35 800	1 970	8.53	14 000	3 060	2 560	42 700 000	10.1	69.2
448	404 000	11 100	30	32 000	1 770	8.46	12 700	2 750	1 960	37 900 000	10.0	68.8
413	371 000	10 300	30	29 300	1 640	8.43	11 700	2 520	1 570	34 400 000	9.9	68.3
369	327 000	9 160	29.7	25 800	1 440	8.36	10 300	2 230	1 130	29 800 000	9.8	68.0
339	292 000	8 280	29.5	23 100	1 290	8.26	9 340	2 000	837	26 400 000	9.7	67.6
307	263 000	7 510	29.2	20 700	1 160	8.2	8 440	1 790	629	23 400 000	9.6	67.4
278	236 000	6 780	29.2	18 400	1 040	8.13	7 600	1 600	470	20 700 000	9.5	67.1
244	198 000	5 650	28.4	7 660	603	5.61	6 470	944	462	8 730 000	6.8	67.3
216	170 000	4 900	27.9	6 620	516	5.54	5 620	808	305	7 410 000	6.7	66.9
194	151 000	4 380	27.9	5 790	456	5.46	5 000	711	220	6 440 000	6.6	66.7
179	136 000	3 980	27.7	5 160	406	5.38	4 560	636	168	5 720 000	6.6	66.4

Designación (d x peso) (mm x kg/m)	Designación (d x peso) (in x lb/ft)	d (mm)	b_f (mm)	t_w (mm)	t_f (mm)	K_{DIS} (mm)	K_{DET} (mm)	K_1 (mm)
690 x 125	27 x 84	678	254	11.7	16.3	31.5	39.7	27.0
610 x 551	24 x 370	711	348	38.6	69.1	81.8	92.1	39.7
610 x 498	24 x 335	699	343	35.1	63	75.7	85.7	38.1
610 x 455	24 x 306	688	340	32	57.9	70.6	81	36.5
610 x 415	24 x 279	678	338	29.5	53.1	65.8	76.2	36.5
610 x 372	24 x 250	668	335	26.4	48	60.7	71.4	34.9
610 x 341	24 x 229	660	333	24.4	43.9	56.6	66.7	33.3
610 x 307	24 x 207	653	330	22.1	39.9	52.6	63.5	31.8
610 x 285	24 x 192	648	330	20.6	37.1	49.8	60.3	31.8
610 x 262	24 x 176	640	328	19.1	34	46.7	57.2	30.2
610 x 241	24 x 162	635	330	17.9	31	43.7	54	30.2
610 x 217	24 x 146	627	328	16.5	27.7	40.4	50.8	28.6
610 x 195	24 x 131	622	328	15.4	24.4	37.1	47.6	28.6
610 x 174	24 x 117	617	325	14	21.6	34.3	44.5	28.6
610 x 155	24 x 104	612	325	12.7	19.1	31.8	41.3	27.0
610 x 153	24 x 103	622	229	14	24.9	37.6	47.6	28.6
610 x 140	24 x 94	617	230	13.1	22.2	35.1	44.5	27.0
610 x 125	24 x 84	612	229	11.9	19.6	32.3	42.9	27.0
610 x 113	24 x 76	607	228	11.2	17.3	30	39.7	27.0
610 x 101	24 x 68	602	228	10.5	14.9	27.7	38.1	27.0
610 x 92	24 x 62	602	179	10.9	15	27.7	38.1	27.0
610 x 82	24 x 55	599	178	10	12.8	25.7	36.5	25.4
530 x 300	21 x 201	584	320	23.1	41.4	54.1	63.5	33.3
530 x 272	21 x 182	577	318	21.1	37.6	50.3	60.3	31.8
530 x 248	21 x 166	572	315	19.1	34.5	47.2	57.2	30.2
530 x 219	21 x 147	561	318	18.3	29.2	41.9	50.8	30.2
530 x 196	21 x 132	554	315	16.5	26.4	39.1	49.2	28.6
530 x 182	21 x 122	551	315	15.2	24.4	37.1	46	28.6
530 x 165	21 x 111	546	312	14	22.2	35.1	44.5	28.6
530 x 150	21 x 101	544	312	12.7	20.3	33	42.9	27.0
530 x 138	21 x 93	549	214	14.7	23.6	36.3	41.3	23.8
530 x 123	21 x 83	544	212	13.1	21.2	34	38.1	22.2
530 x 109	21 x 73	538	211	11.6	18.8	31.5	36.5	22.2
530 x 101	21 x 68	536	210	10.9	17.4	30.2	34.9	22.2
530 x 92	21 x 62	533	209	10.2	15.6	28.4	33.3	20.6
530 x 82	21 x 55	528	209	9.53	13.3	25.9	30.2	20.6
530 x 72	21 x 48	523	207	8.89	10.9	23.6	28.6	20.6
530 x 85	21 x 57	536	167	10.3	16.5	29.2	33.3	20.6
530 x 74	21 x 50	528	166	9.65	13.6	26.4	31.8	20.6
530 x 66	21 x 44	526	165	8.89	11.4	24.1	28.6	20.6
460 x 464	18 x 311	566	305	38.6	69.6	82.3	87.3	34.9
460 x 421	18 x 283	556	302	35.6	63.5	76.2	81	33.3
460 x 384	18 x 258	546	300	32.5	58.4	68.6	76.2	31.8
460 x 349	18 x 234	536	297	29.5	53.6	63.8	69.9	30.2
460 x 315	18 x 211	526	295	26.9	48.5	58,7	65.1	30.2
460 x 286	18 x 192	518	292	24.4	44.5	54.6	61.9	28.6
460 x 260	18 x 175	508	290	22.6	40.4	50.5	61.9	31.8

A (cm²)	I_x (cm⁴)	S_x (cm³)	r_x (cm)	I_y (cm⁴)	S_y (cm³)	r_y (cm)	Z_x (cm³)	Z_y (cm³)	J (cm⁴)	C_w (cm⁶)	r_{ts} (cm)	h_o (cm)
160	119 000	3 490	27.2	4 410	347	5.26	4 000	544	117	4 810 000	6.5	66.2
703	558 000	15 700	28.2	48 300	2 790	8.31	18 500	4 380	8 370	49 900 000	9.9	64.2
635	495 000	14 200	27.9	42 900	2 490	8.2	16 700	3 900	6 330	43 200 000	9.8	63.6
579	445 000	12 900	27.7	38 300	2 250	8.13	15 100	3 510	4 870	38 100 000	9.7	63.0
529	400 000	11 800	27.4	34 300	2 030	8.05	13 700	3 160	3 770	33 600 000	9.5	62.5
474	353 000	10 600	27.2	30 100	1 800	7.98	12 200	2 800	2 770	29 000 000	9.4	62.0
434	318 000	9 640	27.2	27 100	1 630	7.9	11 100	2 520	2 140	25 800 000	9.3	61.6
392	284 000	8 700	26.9	24 100	1 460	7.82	9 930	2 250	1 590	22 600 000	9.2	61.3
363	261 000	8 050	26.7	22 100	1 340	7.8	9 160	2 060	1 280	20 500 000	9.1	61.1
334	236 000	7 370	26.7	19 900	1 220	7.72	8 370	1 880	995	18 400 000	9.1	60.6
308	215 000	6 780	26.4	18 400	1 120	7.75	7 670	1 720	770	16 800 000	9.1	60.4
277	191 000	6 080	26.2	16 300	991	7.65	6 850	1 530	558	14 700 000	9.0	59.9
248	167 000	5 390	25.9	14 200	869	7.54	6 060	1 340	395	12 600 000	8.9	59.8
222	147 000	4 770	25.7	12 400	762	7.47	5 360	1 170	280	11 000 000	8.8	59.5
197	129 000	4 230	25.7	10 800	667	7.39	4 740	1 020	196	9 450 000	8.7	59.3
195	125 000	4 010	25.4	4 950	434	5.05	4 590	680	294	4 460 000	6.1	59.7
179	112 000	3 640	25.1	4 540	393	5.03	4 160	615	219	4 030 000	6.1	59.5
159	98 600	3 210	24.9	3 930	342	4.95	3 670	534	154	3 440 000	6.0	59.2
145	87 400	2 880	24.6	3 430	302	4.88	3 280	469	112	2 980 000	5.9	59.0
130	76 200	2 520	24.3	2 930	257	4.75	2 900	401	78	2 530 000	5.8	58.7
117	64 500	2 150	23.4	1 440	161	3.51	2 510	257	71	1 240 000	4.4	58.7
105	56 200	1 870	23.1	1 210	136	3.4	2 200	218	49	1 040 000	4.4	58.6
382	221 000	7 550	24.1	22 600	1 410	7.67	8 690	2 180	1 700	16 600 000	9.0	54.3
346	197 000	6 830	23.9	20 100	1 270	7.62	7 800	1 950	1 280	14 600 000	8.9	53.9
315	178 000	6 230	23.8	18 100	1 150	7.59	7 080	1 770	982	13 000 000	8.8	53.8
279	151 000	5 390	23.3	15 700	985	7.49	6 110	1 520	641	11 000 000	8.8	53.2
250	134 000	4 830	23.2	13 900	877	7.44	5 460	1 350	470	9 670 000	8.7	52.8
232	123 000	4 470	23.1	12 700	806	7.42	5 030	1 240	374	8 780 000	8.6	52.7
211	111 000	4 080	23	11 400	729	7.37	4 570	1 120	284	7 840 000	8.6	52.4
192	101 000	3 720	22.9	10 300	660	7.34	4 150	1 010	217	7 040 000	8.5	52.4
176	86 200	3 150	22.1	3 870	362	4.67	3 620	569	251	2 670 000	5.7	52.5
157	76 200	2 800	22	3 390	320	4.65	3 210	500	181	2 320 000	5.6	52.3
139	66 600	2 470	21.9	2 940	279	4.6	2 820	436	126	1 990 000	5.6	51.9
129	61 600	2 290	21.8	2 690	257	4.57	2 620	400	102	1 820 000	5.5	51.9
118	55 400	2 080	21.7	2 390	229	4.5	2 360	356	76	1 600 000	5.5	51.7
105	47 500	1 800	21.3	2 010	193	4.39	2 060	302	52	1 340 000	5.4	51.5
91	39 900	1 520	20.9	1 610	156	4.22	1 750	244	33	1 060 000	5.2	51.2
108	48 700	1 820	21.2	1 270	153	3.43	2 110	243	74	857 000	4.3	52.0
94.8	41 000	1 550	20.8	1 040	125	3.3	1 800	200	48	690 000	4.2	51.4
83.9	35 100	1 340	20.5	862	104	3.2	1 560	167	32	567 000	4.1	51.5
591	290 000	10 200	22.1	33 100	2 160	7.49	12 400	3 390	7 330	20 500 000	9.0	49.6
537	257 000	9 260	21.9	29 300	1 930	7.39	11 100	3 030	5 580	17 700 000	8.8	49.3
490	229 000	8 420	21.7	26 100	1 750	7.32	10 000	2 720	4 290	15 500 000	8.7	48.8
444	204 000	7 640	21.4	23 200	1 570	7.24	9 000	2 440	3 280	13 500 000	8.6	48.2
401	180 000	6 870	21.2	20 500	1 400	7.16	8 030	2 160	2 440	11 700 000	8.4	47.8
364	161 000	6 230	21	18 300	1 260	7.09	7 240	1 950	1 860	10 200 000	8.3	47.4
331	144 000	5 640	20.8	16 300	1 130	7.01	6 520	1 740	1 410	8 940 000	8.2	46.8

Designación (d x peso) (mm x kg/m)	Designación (d x peso) (in x lb/ft)	d (mm)	b_f (mm)	t_w (mm)	t_f (mm)	K_{DIS} (mm)	K_{DET} (mm)	K_1 (mm)
460 x 235	18 x 158	500	287	20.6	36.6	46.7	60.3	31.8
460 x 213	18 x 143	495	284	18.5	33.5	43.7	55.6	30.2
460 x 193	18 x 130	490	284	17	30.5	40.6	52.4	30.2
460 x 177	18 x 119	483	287	16.6	26.9	37.1	49.2	30.2
460 x 158	18 x 106	475	284	15	23.9	34	46	28.6
460 x 144	18 x 97	472	282	13.6	22.1	32.3	44.5	28.6
460 x 128	18 x 86	467	282	12.2	19.6	29.7	41.3	27.0
460 x 113	18 x 76	462	279	10.8	17.3	27.4	39.7	27.0
460 x 106	18 x 71	470	194	12.6	20.6	30.7	38.1	22.2
460 x 97	18 x 65	467	193	11.4	19.1	29.2	36.5	22.2
460 x 89	18 x 60	462	192	10.5	17.7	27.9	34.9	20.6
460 x 82	18 x 55	460	191	9.91	16	26.2	33.3	20.6
460 x 74	18 x 50	457	191	9.02	14.5	24.7	31.8	20.6
460 x 68	18 x 46	460	154	9.14	15.4	25.7	31.8	20.6
460 x 60	18 x 40	455	153	8	13.3	23.5	30.2	20.6
460 x 52	18 x 35	450	152	7.62	10.8	21	28.6	19.1
410 x 149	16 x 100	432	264	14.9	25	35.3	47.6	28.6
410 x 132	16 x 89	427	264	13.3	22.2	32.5	44.5	27.0
410 x 114	16 x 77	419	262	11.6	19.3	29.5	41.3	27.0
410 x 100	16 x 67	414	259	10	16.9	27.2	39.7	25.4
410 x 85	16 x 57	417	181	10.9	18.2	28.4	34.9	22.2
410 x 75	16 x 50	414	180	9.65	16	26.2	33.3	20.6
410 x 67	16 x 45	409	179	8.76	14.4	24.6	31.8	20.6
410 x 60	16 x 40	406	178	7.75	12.8	23	30.2	20.6
410 x 53	16 x 36	404	178	7.49	10.9	21.1	28.6	19.1
410 x 46.1	16 x 31	404	140	6.99	11.2	21.4	28.6	19.1
410 x 38.8	16 x 26	399	140	6.35	8.76	19	27	19.1
360 x 1086	14 x 730	569	455	78	125	140	157	69.9
360 x 990	14 x 665	549	450	71.9	115	130	148	66.7
360 x 900	14 x 605	531	442	66	106	121	138	63.5
360 x 818	14 x 550	513	437	60.5	97	112	130	60.3
360 x 744	14 x 500	498	432	55.6	88.9	104	122	58.7
360 x 677	14 x 455	483	427	51.3	81.5	96.8	114	57.2
360 x 634	14 x 426	475	424	47.8	77.2	92.2	110	54.0
360 x 592	14 x 398	465	422	45	72.4	87.4	105	54.0
360 x 551	14 x 370	455	419	42.2	67.6	82.8	100	52.4
360 x 509	14 x 342	445	417	39.1	62.7	78	953	50.8
360 x 463	14 x 311	434	411	35.8	57.4	72.6	90.5	49.2
360 x 421	14 x 283	424	409	32.8	52.6	67.8	85.7	47.6
360 x 382	14 x 257	417	406	30	48	63.2	81	46.0
360 x 347	14 x 233	406	404	27.2	43.7	58.9	76.2	44.5
360 x 314	14 x 211	399	401	24.9	39.6	54.9	73	42.9
360 x 287	14 x 193	394	399	22.6	36.6	51.8	69.9	42.9
360 x 262	14 x 176	386	399	21.1	33.3	48.5	66.7	41.3
360 x 237	14 x 159	381	396	18.9	30.2	45.5	63.5	39.7
360 x 216	14 x 145	376	394	17.3	27.7	42.9	60.3	39.7
360 x 196	14 x 132	373	373	16.4	26.2	41.4	58.7	39.7

A (cm^2)	I_x (cm^4)	S_x (cm^3)	r_x (cm)	I_y (cm^4)	S_y (cm^3)	r_y (cm)	Z_x (cm^3)	Z_y (cm^3)	J (cm^4)	C_w (cm^6)	r_{ts} (cm)	h_o (cm)
299	127 000	5 080	20.6	14 400	1 010	6.96	5 830	1 550	1 050	7 790 000	8.1	46.3
272	114 000	4 620	20.5	12 900	909	6.91	5 280	1 400	799	6 900 000	8.0	46.2
246	102 000	4 200	20.4	11 600	818	6.86	4 750	1 260	604	6 100 000	8.0	46.0
226	91 200	3 790	20.1	10 500	736	6.83	4 290	1 130	441	5 450 000	7.9	45.6
201	79 500	3 340	19.9	9 160	646	6.76	3 770	991	311	4 670 000	7.9	45.1
184	72 800	3 080	19.9	8 370	592	6.73	3 460	906	244	4 240 000	7.8	45.0
163	63 700	2 720	19.7	7 280	518	6.68	3 050	793	171	3 650 000	7.7	44.7
144	55 400	2 390	19.6	6 330	452	6.63	2 670	692	118	3 140 000	7.7	44.5
134	48 700	2 080	19.1	2 510	259	4.32	2 390	405	145	1 260 000	5.2	44.9
123	44 500	1 920	19	2 280	236	4.29	2 180	369	114	1 140 000	5.2	44.8
114	41 000	1 770	19	2 090	218	4.27	2 020	338	90	1 030 000	5.1	44.4
105	37 000	1 610	18.8	1 870	195	4.24	1 840	303	69	921 000	5.1	44.4
94.8	33 300	1 460	18.7	1 670	175	4.19	1 660	272	52	816 000	5.0	44.3
87.1	29 600	1 290	18.4	937	122	3.28	1 490	192	51	462 000	4.0	44.5
76.1	25 500	1 120	18.3	795	104	3.23	1 280	164	34	387 000	4.0	44.2
66.5	21 200	944	17.9	637	84	3.1	1 090	132	21	306 000	3.8	43.9
190	62 000	2 870	18	7 740	585	6.38	3 240	900	322	3 200 000	7.4	40.7
169	54 100	2 540	17.9	6 780	515	6.32	2 870	788	227	2 740 000	7.3	40.5
146	46 200	2 200	17.8	5 740	441	6.27	2 460	674	149	2 310 000	7.2	40.0
127	39 700	1 920	17.7	4 950	380	6.25	2 130	582	100	1 960 000	7.2	39.7
108	31 600	1 510	17.1	1 790	198	4.06	1 720	310	92	714 000	4.9	39.9
94.8	27 400	1 330	17	1 550	172	4.04	1 510	267	63	610 000	4.8	39.8
85.8	24 400	1 190	16.9	1 370	153	3.99	1 350	238	46	534 000	4.8	39.5
76.1	21 600	1 060	16.8	1 200	135	3.99	1 200	208	33	465 000	4.7	39.3
68.4	18 600	926	16.5	1 020	115	3.86	1 050	177	23	392 000	4.6	39.3
58.9	15 600	773	16.3	516	74	2.97	885	115	19	198 000	3.6	39.3
49.5	12 500	629	15.9	399	57	2,84	724	90	11	152.000	3.5	39.0
1 390	595 000	21 000	20.8	196 000	8 640	11.9	27 200	13 400	60 400	97 200 000	14.4	44.4
1 260	516 000	18 800	20.3	174 000	7 730	11.7	24 300	12 000	46 600	81 900 000	14.2	43.4
1 150	450 000	17 000	19.8	153 000	6 930	11.6	21 600	10 700	36 200	69 300 000	13.8	42.5
1 050	393 000	15 300	19.4	135 000	6 190	11.4	19 300	9 550	27 800	58 800 000	13.6	41.6
948	342 000	13 700	19	120 000	5 560	11.3	17 200	8 550	21 400	50 200 000	13.4	40.9
865	299 000	12 400	18.6	107 000	4 980	11.1	15 300	7 670	16 400	43 000 000	13.2	40.2
806	275 000	11 600	18.4	98 200	4 640	11	14 200	7 110	13 800	38 700 000	13.0	39.8
755	250 000	10 700	18.2	90 300	4 290	10.9	13 100	6 590	11 400	34 600 000	12.9	39.3
703	226 000	9 950	18	82 800	3 950	10.8	12 100	6 060	9 240	31 200 000	12.7	38.7
652	204 000	9 140	17.7	75 300	3 620	10.8	11 000	5 540	7 410	27 700 000	12.6	38.2
590	180 000	8 290	17.5	67 000	3 260	10.7	9 880	4 980	5 660	23 900 000	12.4	37.7
537	160 000	7 520	17.2	59 900	2 930	10.6	8 880	4 490	4 330	20 900 000	12.2	37.1
488	142 000	6 800	17	53 700	2 640	10.5	7 980	4 030	3 290	18 200 000	12.1	36.9
442	125 000	6 150	16.8	47 900	2 380	10.4	7 140	3 620	2 480	15 800 000	11.9	36.2
400	111 000	5 540	16.6	42 900	2 130	10.3	6 390	3 240	1 860	13 800 000	11.8	35.9
366	99 900	5 080	16.5	38 800	1 950	10.3	5 820	2 950	1 450	12 300 000	11.7	35.7
334	89 100	4 600	16.3	34 900	1 750	10.2	5 240	2 670	1 100	10 900 000	11.6	35.3
301	79 100	4 160	16.2	31 100	1 580	10.2	4 700	2 390	820	9 560 000	11.4	35.1
275	71 200	3 800	16.1	28 200	1 430	10.1	4 260	2 180	633	8 510 000	11.4	34.8
250	63 700	3 420	16	22 800	1 220	9.55	3 830	1 850	512	6 850 000	10.7	34.7

Designación (d x peso) (mm x kg/m)	Designación (d x peso) (in x lb/ft)	d (mm)	b_f (mm)	t_w (mm)	t_f (mm)	K_{DIS} (mm)	K_{DET} (mm)	K_1 (mm)
360 x 179	14 x 120	368	373	15	23.9	39.1	57.2	38.1
360 x 162	14 x 109	363	371	13.3	21.8	37.1	55.6	38.1
360 x 147	14 x 99	361	371	12.3	19.8	35.1	52.4	36.5
360 x 134	14 x 90	356	368	11.2	18	33.3	50.8	36.5
360 x 122	14 x 82	363	257	13	21.7	36.8	42.9	27.0
360 x 110	14 x 74	361	257	11.4	19.9	35.1	41.3	27.0
360 x 101	14 x 68	356	254	10.5	18.3	33.3	39.7	27.0
360 x 91	14 x 61	353	254	9.53	16.4	31.5	38.1	25.4
360 x 79	14 x 53	353	205	9.4	16.8	31.8	38.1	25.4
360 x 72	14 x 48	351	204	8.64	15.1	30.2	36.5	25.4
360 x 64	14 x 43	348	203	7.75	13.5	28.4	34.9	25.4
360 x 57.8	14 x 38	358	172	7.87	13.1	23.2	31.8	20.6
360 x 51	14 x 34	356	171	7.24	11.6	21.7	30.2	19.1
360 x 44	14 x 30	351	171	6.86	9.78	19.9	28.6	19.1
360 x 39	14 x 26	353	128	6.48	10.7	20.8	28.6	19.1
360 x 32.9	14 x 22	348	127	5.84	8.51	18.7	27	19.1
310 x 500	12 x 336	427	340	45.2	75.2	90.2	98.4	42.9
310 x 454	12 x 305	414	335	41.4	68.8	83.8	92.1	41.3
310 x 415	12 x 279	404	333	38.9	62.7	78	85.7	41.3
310 x 375	12 x 252	391	330	35.6	57.2	72.4	79.4	38.1
310 x 342	12 x 230	384	328	32.8	52.6	67.8	74.6	38.1
310 x 313	12 x 210	373	325	30	48.3	63.5	71.4	36.5
310 x 283	12 x 190	366	323	26.9	44.2	59.2	66.7	34.9
310 x 253	12 x 170	356	320	24.4	39.6	54.9	61.9	33.3
310 x 226	12 x 152	348	318	22.1	35.6	50.8	58.7	31.8
310 x 202	12 x 136	340	315	20.1	31.8	47	54	31.8
310 x 179	12 x 120	333	312	18	28.2	43.2	50.8	30.2
310 x 158	12 x 106	328	310	15.5	25.1	40.4	47.6	28.6
310 x 143	12 x 96	323	310	14	22.9	38.1	46	28.6
310 x 129	12 x 87	318	307	13.1	20.6	35.8	42.9	27.0
310 x 117	12 x 79	315	307	11.9	18.7	33.8	41.3	27.0
310 x 107	12 x 72	312	305	10.9	17	32.3	39.7	27.0
310 x 97	12 x 65	307	305	9.91	15.4	30.5	38.1	25.4
310 x 86	12 x 58	310	254	9.14	16.3	31.5	38.1	23.8
310 x 79	12 x 53	307	254	8.76	14.6	30	34.9	23.8
310 x 74	12 x 50	310	205	9.4	16.3	29	38.1	23.8
310 x 67	12 x 45	307	204	8.51	14.6	27.4	34.9	23.8
310 x 60	12 x 40	302	203	7.49	13.1	25.9	34.9	22.2
310 x 52	12 x 35	318	167	7.62	13.2	20.8	30.2	19.1
310 x 44.5	12 x 30	312	166	6.6	11.2	18.8	28.6	19.1
310 x 38.7	12 x 26	310	165	5.84	9.65	17.3	27	19.1
310 x 32.7	12 x 22	312	102	6.6	10.8	18.4	23.8	15.9
310 x 28.3	12 x 19	310	102	5.97	8.89	16.5	22.2	14.3
310 x 23.8	12 x 16	305	101	5.59	6.73	14.4	20.6	14.3
310 x 21	12 x 14	302	101	5.08	5.72	13.3	19.1	14.3
250 x 167	10 x 112	290	264	19.2	31.8	44.5	49.2	25.4
250 x 149	10 x 100	282	262	17.3	28.4	41.1	46	25.46

A (cm²)	I_x (cm⁴)	S_x (cm³)	r_x (cm)	I_y (cm⁴)	S_y (cm³)	r_y (cm)	Z_x (cm³)	Z_y (cm³)	J (cm⁴)	C_w (cm⁶)	r_{ts} (cm)	h_o (cm)
228	57 400	3 110	15.8	20 600	1 110	9.5	3 470	1 670	390	6 100 000	10.7	34.4
206	51 600	2 830	15.8	18 600	1 000	9.47	3 150	1 520	296	5 420 000	10.6	34.1
188	46 200	2 570	15.7	16 700	905	9.42	2 830	1 370	224	4 830 000	10.5	34.1
171	41 600	2 340	15.6	15 100	818	9.4	2 570	1 240	169	4 300 000	10.4	33.8
155	36 700	2 020	15.4	6 160	480	6.3	2 280	734	211	1 800 000	7.2	34.1
141	33 100	1 840	15.3	5 580	436	6.3	2 060	664	161	1 610 000	7.2	34.1
129	30 100	1 690	15.3	5 040	397	6.25	1 880	605	125	1 440 000	7.1	33.8
115	26 600	1 510	15.2	4 450	352	6.22	1 670	537	91	1 260 000	7.0	33.7
101	22 500	1 270	15	2 400	234	4.88	1 430	361	81	682 000	5.6	33.6
91	20 100	1 150	14.9	2 140	210	4.85	1 280	321	60	602 000	5.6	33.6
81.3	17 800	1 030	14.8	1 880	185	4.8	1 140	283	44	524 000	5.5	33.5
72.3	16 000	895	14.9	1 110	129	3.94	1 010	198	33	330 000	4.6	34.5
64.5	14 200	796	14.8	970	113	3.89	895	174	24	287 000	4.6	34.4
57.1	12 100	688	14.6	816	95	3.78	775	147	16	238 000	4.5	34.1
49.6	10 200	578	14.4	371	58	2.74	659	91	15	109 000	3.3	34.2
41.9	8 280	475	14.1	291	46	2.64	544	72	9	84 300	3.2	33.9
637	169 000	7 910	16.3	49 500	2 900	8.81	9 880	4 490	10 100	15 300 000	10.5	35.2
578	148 000	7 130	16	43 700	2 610	8.69	8 800	4 000	7 700	13 100 000	10.3	34.5
528	129 000	6 440	15.6	39 000	2 340	8.59	7 880	3 610	5 950	11.300 000	10.2	34.1
477	113 000	5 780	15.4	34 500	2 080	8.48	7 010	3 210	4 500	9 610 000	10.0	33.4
437	101 000	5 260	15.2	30 900	1 880	8.41	6 330	2 900	3 490	8 380 000	9.8	33.1
399	89 100	4 790	15	27 600	1 700	8.33	5 700	2 610	2 690	7 300 000	9.7	32.5
360	78 700	4 310	14.8	24 500	1 520	8.26	5 100	2 340	2 030	6 340 000	9.6	32.2
323	68 700	3 850	14.6	21 500	1 350	8.18	4 510	2 060	1 480	5 400 000	9.4	31.6
288	59 500	3 420	14.4	18 900	1 190	8.1	3 980	1 820	1 070	4 620 000	9.3	31.2
257	51 600	3 050	14.2	16 600	1 050	8.03	3 510	1 610	770	3 950 000	9.2	30.8
228	44 500	2 670	14	14 400	918	7.95	3 050	1 400	537	3 330 000	9.1	30.5
201	38 800	2 380	13.9	12 500	808	7.9	2 690	1 230	380	2 870 000	8.9	30.3
182	34 700	2 150	13.8	11 200	728	7.85	2 410	1 110	285	2 530 000	8.8	30.0
165	30 800	1 930	13.7	10 000	651	7.8	2 160	990	212	2 220 000	8.8	29.7
150	27 600	1 750	13.6	8 990	587	7.75	1 950	890	160	1 970 000	8.7	29.6
136	24 800	1 600	13.5	8 120	531	7.72	1 770	806	122	1 760 000	8.6	29.5
123	22 200	1 440	13.4	7 240	477	7.67	1 590	723	91	1 550 000	8.6	29.2
110	19 800	1 280	13.4	4 450	351	6.38	1 420	533	87	959 000	7.1	29.4
101	17 700	1 160	13.3	3 990	315	6.3	1 280	477	66	849 000	7.1	29.2
94.2	16 300	1 050	13.2	2 340	228	4.98	1 180	349	71	505 000	5.7	29.4
84.5	14 500	946	13.1	2 080	203	4.95	1 050	311	52	443 000	5.7	29.2
75.5	12 800	844	13	1 840	180	4.93	934	275	38	387 000	5.6	28.9
66.5	11 900	747	13.3	1 020	122	3.91	839	188	31	236 000	4.6	30.5
56.7	9 910	633	13.2	845	102	3.86	706	157	19	193 000	4.5	30.1
49.4	8 490	547	13.1	720	88	3.84	610	134	13	163 000	4.5	30.0
41.8	6 490	416	12.5	194	38	2.15	480	60	12	44 000	2.7	30.1
35.9	5 410	349	12.2	157	31	2.09	405	49	7	35 200	2.6	30.1
30.4	4 290	280	11.9	117	23	1.96	329	37	4	26 000	2.5	29.8
26.8	3 690	244	11.7	98	20	1.91	285	31	3	21 600	2.4	29.6
212	29 800	2 060	11.8	9 820	742	6.81	2 410	1 130	629	1 620 000	7.8	25.8
190	25 900	1 840	11.7	8 620	655	6.73	2 130	1 000	454	1 380 000	7.7	25.4

Designación (d x peso) (mm x kg/m)	Designación (d x peso) (in x lb/ft)	d (mm)	b_f (mm)	t_w (mm)	t_f (mm)	K_{DIS} (mm)	K_{DET} (mm)	K_1 (mm)
250 x 131	10 x 88	274	262	15.4	25.1	37.8	42.9	23.8
250 x 115	10 x 77	269	259	13.5	22.1	34.8	39.7	22.2
250 x 101	10 x 68	264	257	11.9	19.6	32.3	36.5	22.2
250 x 89	10 x 60	259	257	10.7	17.3	30	34.9	20.6
250 x 80	10 x 54	257	254	9.4	15.6	28.4	33.3	20.6
250 x 73	10 x 49	254	254	8.64	14.2	26.9	31.8	20.6
250 x 67	10 x 45	257	204	8.89	15.7	28.4	33.3	20.6
250 x 58	10 x 39	252	203	8	13.5	26.2	30.2	20.6
250 x 49.1	10 x 33	247	202	7.37	11	23.7	28.6	19.1
250 x 44.8	10 x 30	267	148	7.62	13	20.6	28.6	17.5
250 x 38.5	10 x 26	262	147	6.6	11.2	18.8	27	17.5
250 x 32.7	10 x 22	259	146	6.1	9.14	16.8	23.8	15.9
250 x 28.4	10 x 19	259	102	6.35	10	17.7	23.8	15.9
250 x 25.3	10 x 17	257	102	6.1	8.38	16	22.2	14.3
250 x 22.3	10 x 15	254	102	5.84	6.86	14.5	20.6	14.3
250 x 17.9	10 x 12	251	101	4.83	5.33	13	19.1	14.3
200 x 100	8 x 67	229	210	14.5	23.7	33.8	41.3	23.8
200 x 86	8 x 58	222	209	13	20.6	30.5	38.1	22.2
200 x 71	8 x 48	216	206	10.2	17.4	27.4	34.9	20.6
200 x 59	8 x 40	210	205	9.14	14.2	24.2	31.8	20.6
200 x 52	8 x 35	206	204	7.87	12.6	22.6	30.2	20.6
200 x 46.1	8 x 31	203	203	7.24	11	21.1	28.6	19.1
200 x 41.7	8 x 28	205	166	7.24	11.8	21.8	23.8	15.9
200 x 35.9	8 x 24	201	165	6.22	10.2	20.2	22.2	14.3
200 x 31.3	8 x 21	210	134	6.35	10.2	17.8	22.2	14.3
200 x 26.6	8 x 18	207	133	5.84	8.38	16	20.6	14.3
200 x 22.5	8 x 15	206	102	6.22	8	15.6	20.6	14.3
200 x 19.3	8 x 13	203	102	5.84	6.48	14.1	19.1	14.3
200 x 15	8 x 10	200	100	4.32	5.21	12.8	17.5	12.7
150 x 37.1	6 x 25	162	154	8.13	11.6	17.9	23.8	14.3
150 x 29.8	6 x 20	157	153	6.6	9.27	15.6	22.2	14.3
150 x 22.5	6 x 15	152	152	5.84	6.6	13	19.1	14.3
150 x 24	6 x 16	160	102	6.6	10.3	16.6	22.2	14.3
150 x 18	6 x 12	153	102	5.84	7.11	13.5	19.1	14.3
150 x 13.5	6 x 9	150	100	4.32	5.46	11.8	17.5	12.7
150 x 13	6 x 8.5	148	100	4.32	4.95	11.3	17.5	12.7
130 x 28.1	5 x 19	131	128	6.86	10.9	18.5	20.6	11.1
130 x 23.8	5 x 16	127	127	6.1	9.14	16.8	19.1	11.1
100 x 19.3	4 x 13	106	103	7.11	8.76	15.1	19.1	12.7

A (cm²)	I_x (cm⁴)	S_x (cm³)	r_x (cm)	I_y (cm⁴)	S_y (cm³)	r_y (cm)	Z_x (cm³)	Z_y (cm³)	J (cm⁴)	C_w (cm⁶)	r_{ts} (cm)	h_o (cm)
167	22 200	1 610	11.5	7 450	570	6.68	1 850	870	313	1 160 000	7.6	24.9
146	18 900	1 410	11.4	6 410	493	6.6	1 600	752	213	975 000	7.5	24.7
129	16 400	1 240	11.3	5 580	433	6.58	1 400	657	148	832 000	7.4	24.4
114	14 200	1 090	11.2	4 830	377	6.53	1 220	574	103	709 000	7.3	24.2
102	12 600	983	11.1	4 290	338	6.5	1 090	513	76	623 000	7.3	24.1
92.9	11 300	895	11	3 890	306	6.45	990	464	58	556 000	7.2	24.0
85.8	10 300	805	11	2 220	218	5.11	900	333	63	322 000	5.8	24.1
74.2	8 700	690	10.8	1 870	185	5.03	767	282	41	266 000	5.7	23.9
62.6	7 120	574	10.6	1 520	151	4.93	636	229	24	212 000	5.6	23.6
57	7 080	531	11.1	695	94	3.48	600	145	26	111 000	4.1	25.4
49.1	5 990	457	11	587	80	3.45	513	123	17	92 600	4.0	25.1
41.9	4 910	380	10.8	475	65	3.38	426	100	10	73 800	3.9	25.0
36.3	4 010	308	10.5	179	35	2.22	354	55	10	27 900	2.7	24.9
32.2	3 410	265	10.3	148	29	2.15	306	46	6	22 900	2.6	24.9
28.5	2 870	226	10	120	24	2.06	262	38	4	18 300	2.6	24.7
22.8	2 240	179	9.91	91	18	1.99	206	29	2	13 700	2.5	24.6
127	11 300	990	9.45	3 690	351	5.38	1 150	536	210	387 000	6.2	20.5
110	9 490	852	9.27	3 130	300	5.33	980	457	139	317 000	6.1	20.1
91	7 660	708	9.17	2 530	246	5.28	803	375	82	250 000	6.0	19.9
75.5	6 080	582	8.97	2 040	200	5.18	652	303	47	195 000	5.9	19.6
66.5	5 290	511	8.92	1 770	174	5.16	569	264	32	166 000	5.8	19.3
58.8	4 580	451	8.81	1 540	152	5.13	498	231	22	142 000	5.7	19.2
53.2	4 080	398	8.76	903	109	4.11	446	166	22	83 800	4.7	19.3
45.7	3 440	342	8.69	762	92	4.09	379	140	14	69 600	4.6	19.1
39.7	3 130	298	8.86	407	61	3.2	334	93	12	40 800	3.7	20.0
33.9	2 580	249	8.71	332	50	3.12	279	76	7	32 800	3.6	19.9
28.6	2 000	193	8.36	142	28	2.23	223	44	6	13 900	2.7	19.8
24.8	1 650	162	8.15	114	23	2.14	187	35	4	11 000	2.6	19.7
19.1	1 280	128	8.18	87	17	2.14	145	27	2	8 300	2.6	19.5
47.4	2 220	274	6.86	712	92	3.86	310	140	19	40 300	4.4	15.0
37.9	1 720	220	6.76	554	72	3.81	246	110	10	30 300	4.3	14.8
28.6	1 210	159	6.5	388	51	3.68	177	78	4	20 500	4.2	14.5
30.6	1 340	167	6.6	184	36	2.46	192	56	9	10 300	2.9	15.0
22.9	920	120	6.32	124	25	2.33	136	38	4	6 630	2.7	14.6
17.3	683	91	6.27	92	18	2.3	102	28	2	4 750	2.7	14.5
16.3	620	84	6.17	83	17	2.26	94	26	1	4 240	2.7	14.3
35.9	1 090	167	5.51	380	60	3.25	190	91	13	13 700	3.7	12.0
30.4	891	140	5.41	313	49	3.2	158	75	8	10 900	3.6	11.8
24.7	470	90	4.37	161	31	2.54	103	48	6	3 760	2.9	9.7

CAPITULO

VII

VII.2 IE (S)

Designación (d x peso) (mm x kg/m)	Designación (d x peso) (in x lb/ft)	d (mm)	b_f (mm)	t_w (mm)	t_f (mm)	K (mm)
610 x 180	24 X 121	622	204	20.3	27.7	50.8
610 x 158	24 x 106	622	200	15.7	27.7	50.8
610 x 149	24 x 100	610	184	18.9	22.1	44.5
610 x 134	24 x 90	610	181	15.9	22.1	44.5
610 x 119	24 x 80	610	178	12.7	22.1	44.5
510 x 143	20 x 96	516	183	20.3	23.4	44.5
510 x 128	20 x 86	516	179	16.8	23.4	44.5
510 x 112	20 x 75	508	162	16.1	20.2	41.4
510 x 98.2	20 x 66	508	159	12.8	20.2	41.4
460 x 104	18 x 70	457	159	18.1	17.6	38.1
460 x 81.4	18 x 54.7	457	152	11.7	17.6	38.1
380 x 74	15 x 50	381	143	14	15.8	35.1
380 x 64	15 x 42.9	381	140	10.4	15.8	35.1
310 x 74	12 x 50	305	139	17.4	16.7	36.6
310 x 60.7	12 x 40.8	305	133	11.7	16.7	36.6
310 x 52	12 x 35	305	129	10.9	13.8	30.2
310 x 47.3	12 x 31.8	305	127	8.89	13.8	30.2
250 x 52	10 x 35	254	125	15.1	12.5	28.7
250 x 37.8	10 x 25.4	254	118	7.9	12.5	28.7
200 x 34	8 x 23	203	106	11.2	10.8	25.4
200 x 27.4	8 x 18.4	203	102	6.88	10.8	25.4
150 x 25.7	6 x 17.2	152	90.7	11.8	9.12	20.7
150 x 18.6	6 x 12.5	152	84.6	5.89	9.12	20.7
130 x 15	5 x 10	127	76.2	5.44	8.28	19.1
100 x 14.1	4 x 9.5	102	71.1	8.28	7.44	19.1
100 x 11.5	4 x 7.7	102	67.6	4.9	7.44	19.1
75 x 11.2	3 x 7.5	76.2	63.8	8.86	6.6	15.9
75 x 8.5	3 x 5.7	76.2	59.2	4.32	6.6	15.9

A (cm²)	I_x (cm⁴)	S_x (cm³)	r_x (cm)	I_y (cm⁴)	S_y (cm³)	r_y (cm)	Z_x (cm³)	Z_y (cm³)	J (cm⁴)	C_w (cm⁶)	r_{ts} (cm)	h_o (cm)
229	132 000	4 230	24	3 450	338	3.9	5 010	595	533	3 060 000	4.9	59.4
201	122 000	3 930	24.7	3 200	320	4.0	4 570	547	420	2 820 000	4.9	59.4
189	99 100	3 260	22.9	1 970	215	3.2	3 920	393	316	1 710 000	4.2	58.8
171	93 700	3 060	23.4	1 860	205	3.3	3 640	367	252	1 610 000	4.2	58.8
152	87 400	2 870	24.1	1 750	197	3.4	3 340	341	204	1 510 000	4.2	58.8
182	69 500	2 700	19.6	2 080	228	3.4	3 240	408	350	1 260 000	4.4	49.3
163	65 300	2 540	20	1 940	216	3.5	3 000	379	277	1 170 000	4.3	49.3
142	53 300	2 100	19.4	1 230	152	3.0	2 490	274	191	730 000	3.8	48.8
125	49 500	1 950	19.9	1 140	144	3.0	2 280	252	149	679 000	3.8	48.8
132	38 400	1 690	17	1 000	126	2.7	2 030	234	171	483 000	3.6	43.9
103	33 300	1 460	18	862	113	2.9	1 700	198	97	416 000	3.6	43.9
94.8	20 200	1 060	14.6	649	90.6	2.6	1 260	164	88.2	216 000	3.3	36.5
81.3	18 600	973	15.1	595	85.0	2.7	1 130	149	64.1	198 000	3.3	36.5
94.2	12 600	829	11.6	649	93.2	2.6	998	169	115	135 000	3.4	28.8
76.8	11 200	739	12.1	562	84.1	2.7	864	145	70.3	116 000	3.3	28.8
65.8	9 490	624	12	410	63.6	2.5	731	111	43.7	86 700	3.1	29.1
60.1	9 030	593	12.3	388	61.1	2.5	685	106	36.5	82 200	3.1	29.1
66.5	6 120	482	9.6	345	55.1	2.3	580	101	53.7	50 500	2.9	24.2
48.1	5 120	403	10.3	280	47.4	2.4	464	81.8	25.1	40 800	2.9	24.2
43.6	2 690	265	7.9	178	33.6	2.0	315	60.1	22.9	16 400	2.5	19.2
34.8	2 390	236	8.3	154	30.2	2.1	270	52.1	13.9	14 200	2.5	19.2
32.6	1 090	143	5.8	95.3	21.0	1.7	172	38.5	15.4	4 890	2.2	14.3
23.6	916	120	6.2	74.9	17.7	1.8	138	30.5	7.0	3 840	2.1	14.3
18.9	512	80.3	5.2	49.5	13.0	1.6	92.8	22.5	4.8	1 750	1.9	11.9
18	281	55.4	4.0	36.9	10.4	1.4	66.2	18.5	5.0	819	1.8	9.5
14.6	252	49.7	4.2	31.1	9.21	1.5	57.4	15.9	3.1	690	1.7	9.5
14.2	121	31.8	2.9	24.1	7.55	1.3	38.5	13.5	3.7	290	1.6	7.0
10.7	104	27.4	3.1	18.6	6.28	1.3	31.8	10.7	1.8	225	1.5	7.0

CAPITULO

VII

VII.3 HP

Designación (d x peso) (mm x kg/m)	Designación (d x peso) (in x lb/ft)	d (mm)	b_f (mm)	t_w (mm)	t_f (mm)	K (mm)	K_1 (mm)
360 x 174	14 x 117	361	378	20.4	20.4	38.1	26.99
360 x 152	14 x 102	356	376	17.9	17.9	35.1	25.40
360 x 132	14 x 89	351	373	15.6	15.6	33.3	23.81
360 x 108	14 x 73	345	371	12.8	12.8	30.2	22.23
310 x 125	12 x 84	312	312	17.4	17.4	35.1	25.40
310 x 110	12 x 74	307	310	15.4	15.5	33.3	23.81
310 x 93	12 x 63	302	307	13.1	13.1	31.8	22.23
310 x 79	12 x 53	300	305	11.0	11.0	28.7	22.23
250 x 85	10 x 57	254	259	14.4	14.4	31.8	23.81
250 x 62	10 x 42	246	257	10.5	10.7	28.7	20.64
200 x 53	8 x 36	204	207	11.3	11.3	28.7	22.23

A (cm^2)	I_x (cm^4)	S_x (cm^3)	r_x (cm)	I_y (cm^4)	S_y (cm^3)	r_y (cm)	Z_x (cm^3)	Z_y (cm^3)	J (cm^4)	C_w (cm^6)	r_{ts} (cm)	h_o (cm)
222	50 800	2 820	15.1	18 400	975	9.1	3 180	1 500	334	5 340 000	10.5	34.1
194	43 700	2 460	15	15 800	842	9.0	2 770	1 290	224	4 510 000	10.4	33.8
168	37 600	2 150	14.9	13 600	726	9.0	2 390	1 110	149	3 810 000	10.3	33.5
138	30 300	1 750	14.8	10 900	587	8.9	1 930	895	83.7	3 010 000	10.2	33.2
159	27 100	1 740	13.1	8 870	567	7.5	1 970	872	176	1 920 000	8.7	29.5
141	23 700	1 540	13	7 740	498	7.4	1 720	764	124	1 650 000	8.6	29.2
119	19 600	1 300	12.9	6 370	415	7.3	1 450	634	76.2	1 340 000	8.4	28.9
100	16 400	1 090	12.8	5 290	346	7.3	1 210	528	46.6	1 100 000	8.4	28.9
108	12 200	964	10.6	4 200	323	6.2	1 090	497	82	602 000	7.2	24.0
80	8 740	711	10.5	2 980	233	6.1	791	357	33.8	414 000	7.0	23.5
68.4	4 950	488	8.5	1 680	162	5.0	551	249	32.1	155 000	5.8	19.3

CAPITULO

VII

VII.4 C (CE)

Designación (d x peso) (mm x kg/m)	Designación (d x peso) (in x lb/ft)	d (mm)	b_f (mm)	t_w (mm)	t_f (mm)	K (mm)
380 x 74	15 x 50	381	94.5	18.2	16.5	36.6
380 x 60	15 x 40	381	89.4	13.2	16.5	36.6
380 x 50.4	15 x 33.9	381	86.4	10.2	16.5	36.6
310 x 45	12 x 30	305	80.5	13	12.7	28.7
310 x 37	12 x 25	305	77.5	9.83	12.7	28.7
310 x 30.8	12 x 20.7	305	74.7	7.16	12.7	28.7
250 x 45	10 x 30	254	77	17.1	11.1	25.4
250 x 37	10 x 25	254	73.4	13.4	11.1	25.4
250 x 30	10 x 20	254	69.6	9.63	11.1	25.4
250 x 22.8	10 x 15.3	254	66	6.1	11.1	25.4
230 x 30	9 x 20	229	67.3	11.4	10.5	25.4
230 x 22	9 x 15	229	63.2	7.24	10.5	25.4
230 x 19.9	9 x 13.4	229	61.7	5.92	10.5	25.4
200 x 27.9	8 x 18.7	203	64.3	12.4	9.91	23.8
200 x 20.5	8 x 13.7	203	59.4	7.7	9.91	23.8
200 x 17.1	8 x 11.5	203	57.4	5.59	9.91	23.8
180 x 22	7 x 14.7	178	58.4	10.6	9.3	22.2
180 x 18.2	7 x 12.2	178	55.6	7.98	9.3	22.2
180 x 14.6	7 x 9.8	178	53.1	5.33	9.3	22.2
150 x 19.3	6 x 13	152	54.9	11.1	8.71	20.7
150 x 15.6	6 x 10.5	152	51.6	7.98	8.71	20.7
150 x 12.2	6 x 8.2	152	48.8	5.08	8.71	20.7
130 x 13	5 x 9	127	48	8.26	8.13	19.1
130 x 10.4	5 x 6.7	127	44.5	4.83	8.13	19.1
100 x 10.8	4 x 7.2	102	43.7	8.15	7.52	19.1
100 x 8	4 x 5.4	102	40.1	4.67	7.52	19.1
100 x 6.7	4 x 4.5	102	40.1	3.18	7.52	19.1
75 x 8.9	3 x 6	76.2	40.6	9.04	6.93	17.5
75 x 7.4	3 x 5	76.2	38.1	6.55	6.93	17.5
75 x 6.1	3 x 4.1	76.2	35.8	4.32	6.93	17.5
75 x 5.2	3 x 3.5	76.2	34.8	3.35	6.93	17.5

A (cm²)	x (cm)	e_o (cm)	x_p (cm)	I_x (cm⁴)	S_x (cm³)	r_x (cm)	I_y (cm⁴)	S_y (cm³)	r_y (cm)	J (cm⁴)	Z_x (cm³)	Z_y (cm³)	C_w (cm⁶)	r_{ts} (cm)	h_o (cm)
94.8	2.03	1.48	1.24	16 800	882	13.3	458	61.8	2.2	110	1 120	133	132 000	3.0	36.5
76.1	1.98	1.95	1.00	14 500	762	13.8	382	54.7	2.2	60.4	942	112	110 000	2.9	36.5
64.5	2.00	2.28	0.84	13 100	688	14.3	336	50.6	2.3	42	832	101	96 100	2.9	36.5
56.8	1.71	1.57	0.93	6 740	442	10.9	213	33.6	1.9	35.8	554	70.8	40 500	2.6	29.2
47.4	1.71	1.89	0.78	5 990	393	11.3	185	30.6	2.0	22.4	482	62.6	34 900	2.5	29.2
39.2	1.77	2.21	0.64	5 370	352	11.7	161	28.2	2.0	15.4	420	56.9	30 100	2.5	29.2
56.8	1.65	0.94	1.12	4 290	339	8.7	164	27.0	1.7	50.8	438	61.9	21 300	2.3	24.3
47.4	1.57	1.25	0.93	3 790	298	8.9	139	24.1	1.7	28.6	379	52.1	18 300	2.3	24.3
37.9	1.54	1.62	0.75	3 280	259	9.3	117	21.5	1.8	15.3	318	44.2	15 300	2.3	24.3
28.9	1.61	2.02	0.57	2 800	221	9.8	94.5	18.8	1.8	8.7	261	38.3	12 200	2.2	24.3
37.9	1.48	1.31	0.83	2 530	221	8.2	100	19.2	1.6	17.8	277	40.3	10 600	2.2	21.9
28.5	1.49	1.73	0.62	2 120	185	8.6	79.5	16.6	1.7	8.7	223	33.4	8 320	2.1	21.9
25.4	1.53	1.88	0.56	1 990	174	8.9	72.8	15.6	1.7	7.0	206	31.8	7 570	2.1	21.9
35.5	1.44	1.09	0.87	1 830	180	7.2	82	16.6	1.5	18.1	228	35.6	6 740	2.0	19.3
26.1	1.41	1.53	0.64	1 500	148	7.6	63.3	13.9	1.6	7.7	180	28.3	5 160	2.0	19.3
21.7	1.45	1.77	0.54	1 350	133	7.9	54.5	12.7	1.6	5.4	158	25.7	4 430	1.9	19.3
27.9	1.35	1.12	0.79	1 130	127	6.4	57	12.7	1.4	11.1	160	26.7	3 520	1.9	16.9
23.2	1.33	1.37	0.65	1 010	113	6.6	48.3	11.4	1.4	6.7	139	23.3	3 010	1.8	16.9
18.5	1.37	1.64	0.52	882	100	6.9	39.8	10.1	1.5	4.2	118	20.6	2 460	1.8	16.9
24.6	1.31	0.97	0.81	720	94.7	5.4	43.7	10.5	1.3	9.9	119	22.1	1 930	1.8	14.3
19.9	1.27	1.23	0.65	629	82.6	5.6	35.8	9.19	1.3	5.3	101	18.7	1 590	1.7	14.3
15.4	1.30	1.52	0.51	545	71.3	5.9	28.6	8.00	1.4	3.1	84.6	16.2	1 260	1.6	14.3
17	1.21	1.08	0.67	370	58.3	4.7	26	7.28	1.2	4.5	71.9	15.0	787	1.6	11.9
12.7	1.23	1.40	0.55	311	49.0	5.0	19.6	6.10	1.2	2.3	58.2	12.4	596	1.5	11.9
13.7	1.17	0.98	0.68	191	37.5	3.7	17.7	5.52	1.1	3.4	46.5	11.4	333	1.4	9.4
10.2	1.16	1.27	0.59	160	31.5	4.0	13	4.54	1.1	1.7	37.5	9.26	247	1.3	9.4
8.9	1.25	1.49	0.82	152	30.0	4.1	12	4.34	1.2	1.3	34.7	8.70	234	1.3	9.4
11.4	1.16	0.82	0.75	86.2	22.6	2.7	12.5	4.31	1.1	3.0	28.5	8.90	124	1.3	6.9
9.48	1.12	1.00	0.62	77	20.2	2.8	10	3.74	1.0	1.8	24.9	7.60	102	1.3	6.9
7.74	1.11	1.17	0.67	68.7	18.0	3.0	7.95	3.21	1.0	1.1	21.6	6.54	82	1.2	6.9
7.03	1.13	1.25	0.75	65.3	17.0	3.1	7.03	2.98	1.0	0.94	20.3	5.96	74	1.2	6.9

CAPITULO

VII

VII.5 MC

Designación (d x peso) (mm x kg/m)	Designación (d x peso) (in x lb/ft)	d (mm)	b_f (mm)	t_w (mm)	t_f (mm)	K (mm)
460 x 86	18 x 58	457	107	17.8	15.9	36.6
460 x 77.2	18 x 51.9	457	104	15.2	15.9	36.6
460 x 68.2	18 x 45.8	457	102	12.7	15.9	36.6
460 x 63.5	18 x 42.7	457	100	11.4	15.9	36.6
330 x 74	13 x 50	330	112	20.0	15.5	36.6
330 x 60	13 x 40	330	106	14.2	15.5	36.6
330 x 52	13 x 35	330	103	11.4	15.5	36.6
330 x 47.3	13 x 31.8	330	102	9.5	15.5	36.6
310 x 74	12 x 50	305	105	21.2	17.8	33.3
310 x 67	12 x 45	305	102	18.0	17.8	33.3
310 x 60	12 x 40	305	98.8	15.0	17.8	33.3
310 x 52	12 x 35	305	95.8	11.8	17.8	33.3
310 x 46	12 x 31	305	93.2	9.4	17.8	33.3
310 x 15.8	12 x 10.6	305	38.1	4.8	7.9	19.1
250 x 61.2	10 x 41.1	254	110	20.2	14.6	33.3
250 x 50	10 x 33.6	254	104	14.6	14.6	33.3
250 x 42.4	10 x 28.5	254	100	10.8	14.6	33.3
250 x 37	10 x 25	254	86.6	9.7	14.6	33.3
250 x 33	10 x 22	254	84.3	7.4	14.6	33.3
250 x 12.5	10 x 8.4	254	38.1	4.3	7.1	19.1
250 x 9.7	10 x 6.5	254	29.7	3.9	5.1	14.3
230 x 37.8	9 x 25.4	229	88.9	11.4	14.0	31.8
230 x 35.6	9 x 23.9	229	87.6	10.2	14.0	31.8
200 x 33.9	8 x 22.8	203	88.9	10.8	13.3	30.2
200 x 31.8	8 x 21.4	203	87.6	9.5	13.3	30.2
200 x 29.8	8 x 20	203	77	10.2	12.7	28.7
200 x 27.8	8 x 18.7	203	75.7	9.0	12.7	28.7
200 x 12.6	8 x 8.5	203	47.5	4.6	7.9	20.7
180 x 33.8	7 x 22.7	178	91.4	12.8	12.7	28.7
180 x 28.4	7 x 19.1	178	87.6	8.9	12.7	28.7
150 x 26.8	6 x 18	152	88.9	9.6	12.1	26.9
150 x 22.8	6 x 15.3	152	88.9	8.6	9.8	22.2
150 x 24.3	6 x 16.3	152	76.2	9.5	12.1	26.9
150 x 22.5	6 x 15.1	152	74.7	8.0	12.1	26.9
150 x 17.9	6 x 12	152	63.5	7.9	9.5	22.2
150 x 10.4	6 x 7	152	47.8	4.6	7.4	19.1
150 x 9.7	6 x 6.5	152	47	3.9	7.4	19.1
100 x 20.5	4 x 13.8	102	63.5	12.7	12.7	25.4
75 x 10.6	3 x 7.1	76.2	49.3	7.9	8.9	20.7

A (cm²)	x (cm)	e_o (cm)	x_p (cm)	I_x (cm⁴)	S_x (cm³)	r_x (cm)	I_y (cm⁴)	S_y (cm³)	r_y (cm)	Z_x (cm³)	Z_y (cm³)	J (cm⁴)	C_w (cm⁶)	r_{ts} (cm)	h_o (cm)
110	2.2	1.8	1.2	28 100	1 230	16	733	86.5	2.6	1 560	175	117	287 000	3.4	44.1
98.7	2.2	2.0	1.1	26 100	1 140	16.3	678	82.3	2.6	1 430	162	84.5	265 000	3.4	44.1
87.1	2.2	2.3	1.0	24 100	1 050	16.6	620	78.2	2.7	1 300	150	60.4	241 000	3.4	44.1
81.3	2.2	2.5	0.9	23 100	1 010	16.9	595	76.0	2.7	1 230	145	51.2	229 000	3.4	44.1
94.8	2.5	2.1	1.4	13 100	791	11.7	683	78.2	2.7	996	167	123	150 000	3.6	31.5
76.1	2.5	2.6	1.2	11 400	687	12.2	570	69.5	2.7	839	142	64.5	124 000	3.5	31.5
66.5	2.5	3.0	1.0	10 500	636	12.6	512	65.1	2.8	762	132	47	111 000	3.4	31.5
60.3	2.5	3.2	0.9	10 000	601	12.8	475	62.1	2.8	711	126	39	102 000	3.4	31.5
94.8	2.7	1.9	1.6	11 200	736	10.9	724	92.4	2.8	926	179	134	110 000	3.5	28.7
85.2	2.6	2.1	1.4	10 400	687	11.1	658	86.9	2.8	852	166	97	100 000	3.4	28.7
76.1	2.6	2.4	1.2	9 740	639	11.3	591	81.6	2.8	782	153	70.3	90 200	3.4	28.7
66.5	2.7	2.7	1.1	8 990	590	11.7	524	76.0	2.8	708	141	51.6	79 800	3.3	28.7
58.8	2.7	3.0	1.1	8 410	552	12	470	71.6	2.8	651	134	41.6	71 700	3.2	28.7
20	0.7	0.7	0.3	2 300	151	10.7	16	5.03	0.89	190	10.4	2.5	3 140	1.2	29.7
78.1	2.8	2.2	1.5	6 530	516	9.2	653	79.5	2.9	644	156	94.1	72 200	3.6	23.9
63.7	2.8	2.7	1.3	5 790	456	9.5	545	71.3	2.9	552	136	49.9	60 200	3.5	23.9
54	2.8	3.1	1.1	5 240	415	9.9	470	65.4	3.0	492	124	32.9	51 800	3.4	23.9
47.4	2.4	2.6	0.9	4 580	361	9.8	302	48.5	2.5	429	92.6	26.6	33 300	3.0	23.9
41.6	2.5	2.8	1.2	4 250	336	10.1	266	45.1	2.5	392	86.7	21.2	29 500	2.9	23.9
15.9	0.7	0.8	0.3	1 330	105	9.2	14	4.39	0.93	130	8.98	1.7	1 880	1.2	24.7
12.6	0.5	0.5	0.2	953	75	8.7	6	2.25	0.67	97	4.65	0.80	741	0.9	24.9
48.2	2.5	2.5	1.1	3 660	320	8.7	315	49.0	2.6	385	93.4	28.8	27 900	3.0	21.5
45.3	2.5	2.6	1.0	3 530	310	8.8	297	47.4	2.6	369	90.3	24.9	26 300	3.0	21.5
43.2	2.6	2.6	1.1	2 660	261	7.9	292	46.0	2.6	313	88.0	23.8	20 200	3.1	19.0
40.5	2.6	2.8	1.2	2 560	252	8.0	274	44.4	2.6	298	84.9	20.6	19 000	3.0	19.0
37.9	2.1	2.1	0.9	2 260	223	7.7	184	33.1	2.2	269	63.3	18.4	12 800	2.6	19.0
35.5	2.2	2.3	0.9	2 180	215	7.9	173	32.0	2.2	256	61.0	15.8	12 100	2.6	19.0
16.1	1.1	1.4	0.4	970	95	7.8	26	7.06	1.3	114	14.3	2.4	2 200	1.6	19.5
43	2.6	2.6	1.2	1 970	221	6.8	301	46.4	2.6	269	88.2	26	15 700	3.1	16.5
36.2	2.7	2.9	1.5	1 790	202	7.0	252	41.8	2.6	238	79.5	16.9	13 200	3.0	16.5
34.1	2.8	3.0	1.6	1 240	162	6.0	245	40.5	2.7	192	76.7	15.8	9 290	3.1	14.0
29	2.7	3.0	1.3	1 050	138	6.1	204	32.9	2.7	162	63.1	9.3	8 060	3.0	14.2
30.9	2.4	2.4	1.2	1 080	142	5.9	157	29.8	2.3	170	56.9	14	5 930	2.6	14.0
28.6	2.4	2.5	1.4	1 040	136	6.0	144	28.3	2.2	161	54.1	11.9	5 510	2.6	14.0
22.8	1.8	1.8	0.7	778	102	5.8	77	16.9	1.8	122	32.3	6.5	3 030	2.2	14.2
13.5	1.3	1.5	0.4	475	62	5.9	25	7.19	1.4	74	14.2	1.9	1 070	1.6	14.5
12.6	1.3	1.6	0.5	458	60	6.1	24	6.92	1.4	70	13.7	1.7	1 010	1.6	14.5
26	2.2	1.6	1.3	368	73	3.8	89	21.1	1.9	91	39.3	15.5	1 300	2.2	8.9
13.6	1.7	1.5	1.1	113	30	2.9	28	8.49	1.4	37	16.4	3.9	246	1.7	6.7

CAPITULO

VII

VII.6 L (LI-LD)

Designación (tamaños x t) (mm x mm x mm)	Designación (tamaños x t) (in x in x in)	W (kg/m)	k (mm)	A (cm^2)	I_x (cm^4)	S_x (cm^3)	r_x (cm)	y_p (cm)
203 x 203 x 28.6	8 x 8 x 1-1/8	84.7	44.5	108	4 080	287	6.12	2.67
203 x 203 x 25.4	8 x 8 x 1	75.9	41.4	96.8	3 710	259	6.17	2.4
203 x 203 x 22.2	8 x 8 x 7/8	67	38.1	85.2	3 320	229	6.22	2.11
203 x 203 x 19	8 x 8 x 3/4	57.9	35.1	73.5	2 910	200	6.25	1.83
203 x 203 x 15.9	8 x 8 x 5/8	48.7	31.8	62	2 480	169	6.3	1.54
203 x 203 x 14.3	8 x 8 x 9/16	44	30.2	56	2 260	153	6.32	1.39
203 x 203 x 12.7	8 x 8 x 1/2	39.3	28.7	50	2 030	137	6.32	1.24
203 x 152 x 25.4	8 x 6 x 1	65.5	38.1	83.9	3 370	247	6.32	3.73
203 x 152 x 22.2	8 x 6 x 7/8	57.9	35.1	74.2	3 010	220	6.35	3.58
203 x 152 x 19	8 x 6 x 3/4	50.1	31.8	64.1	2 640	192	6.4	3.4
203 x 152 x 15.9	8 x 6 x 5/8	42.2	28.7	53.9	2 260	162	6.45	3.23
203 x 152 x 14.3	8 x 6 x 9/16	38.1	26.9	48.8	2 060	147	6.48	3.12
203 x 152 x 12.7	8 x 6 x 1/2	34.1	25.4	43.5	1 850	131	6.48	3.05
203 x 152 x 11.1	8 x 6 x 7/16	29.9	23.8	38.3	1 640	116	6.5	2.95
203 x 102 x 25.4	8 x 4 x 1	55.4	38.1	71	2 900	229	6.38	6.27
203 x 102 x 22.2	8 x 4 x 7/8	49.3	35.1	62.8	2 610	205	6.43	6.12
203 x 102 x 19	8 x 4 x 3/4	42.5	31.8	54.5	2 290	179	6.48	5.94
203 x 102 x 15.9	8 x 4 x 5/8	36	28.7	45.9	1 960	151	6.5	5.77
203 x 102 x 14.3	8 x 4 x 9/16	32.4	26.9	41.5	1 790	137	6.53	5.66
203 x 102 x 12.7	8 x 4 x 1/2	29	25.4	37.1	1 610	123	6.55	5.59
203 x 102 x 11.1	8 x 4 x 7/16	25.6	23.8	32.6	1 420	108	6.58	5.49
178 x 102 x 19	7 x 4 x 3/4	38.8	31.8	49.6	1 570	137	5.61	4.75
178 x 102 x 15.9	7 x 4 x 5/8	32.7	28.7	41.8	1 350	117	5.66	4.57
178 x 102 x 12.7	7 x 4 x 1/2	26.5	25.4	33.9	1 110	94.9	5.72	4.42
178 x 102 x 11.1	7 x 4 x 7/16	23.4	23.8	29.8	982	83.7	5.74	4.32
178 x 102 x 9.5	7 x 4 x 3/8	20.2	22.2	25.7	853	72.4	5.77	4.24
152 x 152 x 25.4	6 x 6 x 1	55.7	38.1	71	1 470	140	4.55	2.33
152 x 152 x 22.2	6 x 6 x 7/8	49.3	35.1	62.9	1 330	125	4.6	2.07
152 x 152 x 19	6 x 6 x 3/4	42.7	31.8	54.6	1 170	109	4.62	1.79
152 x 152 x 15.9	6 x 6 x 5/8	36	28.7	46	1 000	92,4	4.67	1.51
152 x 152 x 14.3	6 x 6 x 9/16	32.6	26.9	41.6	916	83.9	4.7	1.37
152 x 152 x 12.7	6 x 6 x 1/2	29.2	25.4	37.2	828	75.2	4.72	1.22
152 x 152 x 11.1	6 x 6 x 7/16	25.6	23.8	32.8	733	66.5	4.72	1.07
152 x 152 x 9.5	6 x 6 x 3/8	22.2	22.2	28.3	641	57.5	4.75	0.927
152 x 152 x 7.9	6 x 6 x 5/16	18.5	20.7	23.7	541	48.3	4.78	0.777
152 x 102 x 22.2	6 x 4 x 7/8	40.3	35.1	51.5	1 150	117	4.72	3.66
152 x 102 x 19	6 x 4 x 3/4	35	31.8	44.8	1 020	102	4.78	3.51
152 x 102 x 15.9	6 x 4 x 5/8	29.6	28.7	37.8	874	86.7	4.8	3.33
152 x 102 x 14.3	6 x 4 x 9/16	3	26.9	34.3	799	78.8	4.83	3.25
152 x 102 x 12.7	6 x 4 x 1/2	24	25.4	30.6	720	70.6	4.85	3.18
152 x 102 x 11.1	6 x 4 x 7/16	21.2	23.8	27	641	62.4	4.88	3.1
152 x 102 x 9.5	6 x 4 x 3/8	18.2	22.2	23.3	558	54.1	4.9	3.02
152 x 102 x 7.9	6 x 4 x 5/16	15.3	20.7	19.5	475	45.4	4.93	2.95
152 x 89 x 12.7	6 x 3-1/2 x 1/2	22.7	25.4	29	691	69.3	4.88	3.76
152 x 89 x 9.5	6 x 3-1/2 x 3/8	17.3	22.2	22.1	537	52.9	4.9	3.58
152 x 89 x 7.9	6 x 3-1/2 x 5/16	14.5	20.7	18.5	454	44.6	4.93	3.51
127 x 127 x 22.2	5 x 5 x 7/8	40.5	35.1	51.5	741	84.6	3.78	2.04

I_y (cm^4)	S_y (cm^3)	r_y (cm)	r_p (cm)	Z_x (cm^3)	Z_y (cm^3)	J (cm^4)	C_w (cm^6)	Tan α	r_{ts} (cm)
4 080	287	6.12	2.67	518	518	297	8 730	1.00	4.6
3 710	259	6.17	2.4	467	467	211	6 280	1.00	4.3
3 320	229	6.22	2.11	415	415	144	4 320	1.00	4.1
2 910	200	6.25	1.83	361	361	92	2 790	1.00	3.8
2 480	169	6.3	1.54	305	305	54.1	1 650	1.00	3.5
2 260	153	6.32	1.39	275	275	40	1 220	1.00	3.3
2 030	137	6.32	1.24	247	247	28.4	867	1.00	3.1
1 610	146	4.37	2.07	447	265	181	4 380	0.542	3.3
1 450	130	4.42	1.83	398	236	123	3 030	0.546	3.1
1 280	113	4.45	1.58	346	205	79.1	1 950	0.550	2.9
1 100	96.4	4.5	1.34	293	172	46.6	1 160	0.554	2.6
1 000	87.5	4.52	1.21	265	156	34.3	859	0.556	2.5
903	78.5	4.55	1.08	239	140	24.3	612	0.557	2.4
803	69.3	4.57	0.95	211	123	16.5	416	0.559	2.2
483	64.6	2.62	1.76	398	127	153	3 460	0.247	2.4
437	57.5	2.64	1.55	356	111	104	2 390	0.252	2.2
390	50.3	2.67	1.35	310	95.4	67	1 540	0.257	2.1
338	42.9	2.69	1.14	264	79.6	39.8	918	0.262	1.9
310	39	2.72	1.03	239	71.9	29.3	679	0.264	1.8
281	35.2	2.74	0.922	215	64.1	20.9	483	0.266	1.7
251	31.1	2.77	0.813	190	56.0	14.2	328	0.268	1.6
375	49.3	2.74	1.4	243	91.8	61.2	1 070	0.324	2.2
324	42	2.79	1.18	205	76.9	36.1	636	0.329	2.0
270	34.4	2.82	0.955	167	61.8	19	336	0.334	1.8
241	30.5	2.84	0.841	148	54.2	12.9	229	0.337	1.7
211	26.4	2.84	0.726	128	46.5	8.24	146	0.339	1.6
1 470	140	4.55	2.33	252	252	153	2 480	1.00	3.7
1 330	125	4.6	2.07	225	225	104	1 720	1.00	3.5
1 170	109	4.62	1.79	195	195	67	1 120	1.00	3.2
1 000	92.4	4.67	1.51	166	166	39.8	671	1.00	3.0
916	83.9	4.7	1.37	150	150	29.3	497	1.00	2.8
828	75.2	4.72	1.22	135	135	20.9	354	1.00	2.7
733	66.5	4.72	1.07	119	119	14.2	241	1.00	2.5
641	57.5	4.75	0.927	103	103	9.07	154	1.00	2.3
541	48.3	4.78	0.777	86,2	86.2	5.37	91	1.00	2.1
404	55.2	2.79	1.69	208	103	84.5	1 080	0.421	2.4
359	48.3	2.84	1.47	182	88.8	54.5	709	0.428	2.2
311	41.3	2.87	1.24	155	74.7	32.3	427	0.435	2.1
286	37.5	2.9	1.12	141	67.7	23.8	317	0.438	2.0
259	33.8	2.9	1.01	126	60.5	16.9	226	0.440	1.9
231	30	2.92	0.886	112	53.1	11.5	154	0.443	1.7
202	25.9	2.95	0.765	96.5	45.7	7.37	99	0.446	1.6
172	22	2.97	0.64	81.3	38.2	4.33	58	0.449	1.5
176	26.1	2.46	0.955	123	47.2	16.1	209	0.343	1.7
139	20	2.5	0.729	94.1	35.7	6.99	92	0.349	1.5
118	16.9	2.52	0.612	79.3	29.8	4.12	54	0.352	1.3
741	84.6	3.78	2.04	153	152	86.2	948	1.00	3.1

Designación (tamaños x t) (mm x mm x mm)	Designación (tamaños x t) (in x in x in)	W (kg/m)	k (mm)	A (cm^2)	I_x (cm^4)	S_x (cm^3)	r_x (cm)	y_p (cm)
127 x 127 x 19	5 x 5 x 3/4	35.1	31.8	44.8	653	74.1	3.81	1.77
127 x 127 x 15.9	5 x 5 x 5/8	29.8	28.7	37.8	566	63.1	3.86	1.5
127 x 127 x 12.7	5 x 5 x 1/2	24.1	25.4	30.6	470	51.6	3.89	1.22
127 x 127 x 11.1	5 x 5 x 7/16	21.3	23.8	27	416	45.6	3.91	1.07
127 x 127 x 9.5	5 x 5 x 3/8	18.3	22.2	23.3	365	39.5	3.94	0.927
127 x 127 x 7.9	5 x 5 x 5/16	15.3	20.7	19.5	310	33.4	3.96	0.78
127 x 89 x 19	5 x 3-1/2 x 3/4	29.3	30.2	37.5	579	69.8	3.94	2.84
127 x 89 x 15.9	5 x 3-1/2 x 5/8	24.9	26.9	31.7	499	59.5	3.96	2.69
127 x 89 x 12.7	5 x 3-1/2 x 1/2	20.2	23.8	25.8	415	48.7	4.01	2.53
127 x 89 x 9.5	5 x 3-1/2 x 3/8	15.4	20.7	19.7	323	37.4	4.04	2.37
127 x 89 x 7.9	5 x 3-1/2 x 5/16	12.9	19.1	16.5	274	31.5	4.06	2.29
127 x 89 x 6.4	5 x 3-1/2 x 1/4	10.4	17.5	13.3	223	25.4	4.09	2.2
127 x 76 x 12.7	5 x 3 x 1/2	19	23.8	24.2	393	47.4	4.01	3.18
127 x 76 x 11.1	5 x 3 x 7/16	16.7	22.2	21.4	350	42.0	4.04	3.07
127 x 76 x 9.5	5 x 3 x 3/8	14.5	20.7	18.5	306	36.4	4.06	3
127 x 76 x 7.9	5 x 3 x 5/16	12.1	19.1	15.5	260	30.6	4.09	2.92
127 x 76 x 6.4	5 x 3 x 1/4	9.8	17.5	12.5	212	24.7	4.11	2.84
102 x 102 x 19	4 x 4 x 3/4	27.5	28.7	35.1	317	45.7	3	1.72
102 x 102 x 15.9	4 x 4 x 5/8	23.4	25.4	29.7	276	39.0	3.05	1.46
102 x 102 x 12.7	4 x 4 x 1/2	19	22.2	24.2	230	32.1	3.07	1.19
102 x 102 x 11.1	4 x 4 x 7/16	16.8	20.7	21.4	205	28.3	3.1	1.05
102 x 102 x 9.5	4 x 4 x 3/8	14.6	19.1	18.5	180	24.6	3.12	0.907
102 x 102 x 7.9	4 x 4 x 5/16	12.2	17.5	15.5	153	20.8	3.15	0.762
102 x 102 x 6.4	4 x 4 x 1/4	9.8	15.9	12.5	125	16.9	3.18	0.615
102 x 89 x 12.7	4 x 3-1/2 x 1/2	17.6	22.2	22.6	221	31.5	3.12	1.26
102 x 89 x 9.5	4 x 3-1/2 x 3/8	13.5	19.1	17.2	173	24.3	3.18	1.1
102 x 89 x 7.9	4 x 3-1/2 x 5/16	11.4	17.5	14.5	147	20.5	3.18	1.02
102 x 89 x 6.4	4 x 3-1/2 x 1/4	9.2	15.9	11.7	120	16.6	3.2	0.935
102 x 76 x 15.9	4 x 3 x 5/8	20.2	25.4	25.1	250	37.4	3.12	2.06
102 x 76 x 12.7	4 x 3 x 1/2	16.4	22.2	21	209	30.6	3.15	1.9
102 x 76 x 9.5	4 x 3 x 3/8	12.6	19.1	16	164	23.6	3.2	1.73
102 x 76 x 7.9	4 x 3 x 5/16	10.7	17.5	13.5	140	20.0	3.23	1.65
102 x 76 x 6.4	4 x 3 x 1/4	8.6	15.9	10.9	114	16.2	3.23	1.57
89 x 89 x 12.7	3-1/2 x 3-1/2 x 1/2	16.5	22.2	21	151	24.3	2.67	1.18
89 x 89 x 11.1	3-1/2 x 3-1/2 x 7/16	14.6	20.7	18.5	135	21.6	2.69	1.05
89 x 89 x 9.5	3-1/2 x 3-1/2 x 3/8	12.6	19.1	16	119	18.8	2.72	0.907
89 x 89 x 7.9	3-1/2 x 3-1/2 x 5/16	10.7	17.5	13.5	102	15.9	2.74	0.765
89 x 89 x 6.4	3-1/2 x 3-1/2 x 1/4	8.6	15.9	10.9	83	12.9	2.77	0.617
89 x 76 x 12.7	3-1/2 x 3 x 1/2	15.1	22.2	19.4	144	23.8	2.72	1.22
89 x 76 x 11.1	3-1/2 x 3 x 7/16	13.5	20.7	17.1	129	21.1	2.74	1.13
89 x 76 x 9.5	3-1/2 x 3 x 3/8	11.7	19.1	14.8	114	18.4	2.77	1.04
89 x 76 x 7.9	3-1/2 x 3 x 5/16	9.8	17.5	12.5	97	15.6	2.77	0.953
89 x 76 x 6.4	3-1/2 x 3 x 1/4	8	15.9	10.1	80	12.7	2.79	0.853
89 x 64 x 12.7	3-1/2 x 2-1/2 x 1/2	13.9	22.2	17.7	135	23.1	2.74	1.87
89 x 64 x 9.5	3-1/2 x 2-1/2 x 3/8	10.7	19.1	13.6	107	17.9	2.79	1.7
89 x 64 x 7.9	3-1/2 x 2-1/2 x 5/16	9	17.5	11.5	92	15.2	2.82	1.61
89 x 64 x 6.4	3-1/2 x 2-1/2 x 1/4	7.3	15.9	9.29	75	12.3	2.84	1.51

I_y (cm^4)	S_y (cm^3)	r_y (cm)	r_p (cm)	Z_x (cm^3)	Z_y (cm^3)	J (cm^4)	C_w (cm^6)	Tan α	r_{ts} (cm)
653	74.1	3.81	1.77	133	133	55.4	623	1.00	2.9
566	63.1	3.86	1.5	114	113	33	376	1.00	2.7
470	51.6	3.89	1.22	92.8	92.8	17.4	200	1.00	2.4
416	45.6	3.91	1.07	81.9	81.9	11.8	136	1.00	2.3
365	39.5	3.94	0.927	71.0	71.0	7.62	88	1.00	2.1
310	33.4	3.96	0.78	59.8	59.8	4.5	52	1.00	1.9
230	36.1	2.47	1.48	125	66.7	45.4	408	0.464	2.1
200	30.8	2.51	1.25	107	56.2	27.1	247	0.472	1.9
167	25.4	2.54	1.02	87.3	45.7	14.3	132	0.479	1.7
131	19.5	2.59	0.775	67.0	34.7	6.24	58	0.485	1.5
112	16.6	2.59	0.65	56.5	29.0	3.68	34	0.489	1.4
92	13.4	2.62	0.526	45.6	23.3	1.93	18	0.491	1.3
106	18.5	2.09	0.953	83.9	34.1	13.4	119	0.357	1.5
95	16.4	2.11	0.841	74.2	29.8	9.16	82	0.361	1.4
84	14.3	2.13	0.726	64.4	25.7	5.87	53	0.364	1.4
72	12.1	2.15	0.612	54.4	21.5	3.46	31	0.368	1.2
59	9.83	2.17	0.493	43.9	17.2	1.82	16	0.371	1.1
317	45.7	3	1.72	82.3	82.1	42.5	301	1.00	2.6
276	39	3.05	1.46	70.1	70.1	25.4	183	1.00	2.4
230	32.1	3.07	1.19	57.4	57.4	13.4	98	1.00	2.2
205	28.3	3.1	1.05	50.8	50.8	9.16	68	1.00	2.0
180	24.6	3.12	0.907	44.1	43.9	5.87	44	1.00	1.9
153	20.8	3.15	0.762	37.0	37.0	3.46	26	1.00	1.7
125	16.9	3.18	0.615	29.8	29.8	1.82	14	1.00	1.6
157	24.6	2.64	1.11	56.7	44.1	12.5	81	0.750	1.9
123	19	2.67	0.848	43.6	33.8	5.49	36	0.755	1.7
105	16.1	2.69	0.714	36.7	28.5	3.25	21	0.757	1.5
86	13	2.72	0.577	29.7	22.9	1.71	11	0.759	1.4
119	22	2.15	1.26	66.9	40.1	22	127	0.534	1.8
100	18	2.18	1.03	55.1	32.6	11.7	69	0.542	1.6
79	13.9	2.22	0.79	42.6	24.9	5.12	31	0.551	1.4
67	11.8	2.24	0.665	35.9	21.0	3.04	18	0.554	1.3
55	9.59	2.25	0.536	29.0	16.9	1.61	10	0.558	1.2
151	24.3	2.67	1.18	43.6	43.6	11.7	64	1.00	2.0
135	21.6	2.69	1.05	38.7	38.7	7.99	44	1.00	1.9
119	18.8	2.72	0.907	33.8	33.6	5.12	29	1.00	1.8
102	15.9	2.74	0.765	28.5	28.5	3.04	17	1.00	1.6
83	12.9	2.77	0.617	23.1	23.1	1.61	9	1.00	1.5
97	17.9	2.23	1.09	42.8	32.3	10.8	51	0.713	1.7
87	15.9	2.25	0.97	38.0	28.7	7.41	35	0.717	1.6
77	13.9	2.27	0.841	33.3	24.9	4.75	23	0.720	1.5
66	11.8	2.29	0.709	28.2	21.0	2.83	14	0.722	1.4
54	9.59	2.31	0.574	22.8	17.0	1.5	7	0.725	1.2
57	12.4	1.78	1	41.3	22.8	9.74	43	0.485	1.5
45	9.65	1.82	0.77	32.1	17.5	4.29	19	0.495	1.3
39	8.21	1.84	0.65	27.4	14.7	2.54	11	0.500	1.2
32	6.72	1.86	0.526	22.3	11.9	1.34	6	0.504	1.1

Designación (tamaños x t) (mm x mm x mm)	Designación (tamaños x t) (in x in x in)	W (kg/m)	k (mm)	A (cm^2)	I_x (cm^4)	S_x (cm^3)	r_x (cm)	y_p (cm)
76 x 76 x 12.7	3 x 3 x 1/2	14	22.2	17.7	92	17.4	2.27	1.16
76 x 76 x 11.1	3 x 3 x 7/16	12.4	20.7	15.7	82	15.5	2.29	1.03
76 x 76 x 9.5	3 x 3 x 3/8	10.7	19.1	13.6	73	13.5	2.31	0.892
76 x 76 x 7.9	3 x 3 x 5/16	9.1	17.5	11.5	62	11.5	2.33	0.752
76 x 76 x 6.4	3 x 3 x 1/4	7.3	15.9	9.29	51	9.32	2.35	0.607
76 x 76 x 4.8	3 x 3 x 3/16	5.5	14.3	7.03	40	7.10	2.37	0.46
76 x 64 x 12.7	3 x 2-1/2 x 1/2	12.6	22.2	16.1	86	16.9	2.31	1.25
76 x 64 x 11.1	3 x 2-1/2 x 7/16	11.3	20.7	14.3	78	15.1	2.33	1.17
76 x 64 x 9.5	3 x 2-1/2 x 3/8	9.8	19.1	12.4	69	13.2	2.35	1.09
76 x 64 x 7.9	3 x 2-1/2 x 5/16	8.3	17.5	10.8	59	11.2	2.37	1.01
76 x 64 x 6.4	3 x 2-1/2 x 1/4	6.7	15.9	8.45	48	9.09	2.39	0.922
76 x 64 x 4.8	3 x 2-1/2 x 3/16	5.1	14.3	6.43	37	6.93	2.41	0.833
76 x 51 x 12.7	3 x 2 x 1/2	11.5	20.7	14.5	80	16.4	2.34	1.87
76 x 51 x 9.5	3 x 2 x 3/8	8.8	17.5	11.2	64	12.8	2.38	1.7
76 x 51 x 7.9	3 x 2 x 5/16	7.4	15.9	9.42	55	10.8	2.4	1.61
76 x 51 x 6.4	3 x 2 x 1/4	6.1	14.3	7.68	45	8.87	2.42	1.51
76 x 51 x 4.8	3 x 2 x 3/16	4.6	12.7	5.82	35	6.78	2.44	1.41
64 x 64 x 12.7	2-1/2 x 2-1/2 x 1/2	11.4	19.1	14.5	51	11.7	1.87	1.14
64 x 64 x 9.5	2-1/2 x 2-1/2 x 3/8	8.7	15.9	11.2	41	9.14	1.9	0.881
64 x 64 x 7.9	2-1/2 x 2-1/2 x 5/16	7.4	14.3	9.42	35	7.77	1.92	0.744
64 x 64 x 6.4	2-1/2 x 2-1/2 x 1/4	6.1	12.7	7.68	29	6.34	1.94	0.602
64 x 64 x 4.8	2-1/2 x 2-1/2 x 3/16	4.6	11.1	5.81	22	4.83	1.96	0.457
64 x 51 x 9.5	2-1/2 x 2 x 3/8	7.9	15.9	10	38	8.95	1.95	1.08
64 x 51 x 7.9	2-1/2 x 2 x 5/16	6.7	14.3	8.45	33	7.62	1.97	0.993
64 x 51 x 6.4	2-1/2 x 2 x 1/4	5.4	12.7	6.84	27	6.24	1.99	0.904
64 x 51 x 4.8	2-1/2 x 2 x 3/16	4.2	11.1	5.22	21	4.80	2.01	0.808
64 x 38 x 6.4	2-1/2 x 1-1/2 x 1/4	4.8	12.7	6.05	25	5.96	2.01	1.54
64 x 38 x 4.8	2-1/2 x 1-1/2 x 3/16	3.6	11.1	4.61	19	4.59	2.03	1.44
51 x 51 x 9.5	2 x 2 x 3/8	7	15.9	8.77	20	5.70	1.5	0.869
51 x 51 x 7.9	2 x 2 x 5/16	5.8	14.3	7.42	17	4.88	1.52	0.737
51 x 51 x 6.4	2 x 2 x 1/4	4.7	12.7	6.05	14	4.00	1.54	0.599
51 x 51 x 4.8	2 x 2 x 3/16	3.6	11.1	4.61	11	3.08	1.55	0.457
51 x 51 x 3.2	2 x 2 x 1/8	2.4	9.53	3.12	8	2.11	1.57	0.312

I_y (cm^4)	S_y (cm^3)	r_y (cm)	r_p (cm)	Z_x (cm^3)	Z_y (cm^3)	J (cm^4)	C_w (cm^6)	Tan α	r_{ts} (cm)
92	17.4	2.27	1.16	31.3	31.3	9.57	39	1.00	1.8
82	15.5	2.29	1.03	27.9	27.9	6.53	27	1.00	1.7
73	13.5	2.31	0.892	24.3	24.3	4.2	18	1.00	1.6
62	11.5	2.33	0.752	20.6	20.5	2.48	11	1.00	1.5
51	9.32	2.35	0.607	16.7	16.7	1.3	6	1.00	1.3
40	7.1	2.37	0.46	12.7	12.7	0.566	2	1.00	1.2
54	12.1	1.82	1.06	30.5	22.0	8.87	30	0.666	1.5
49	10.7	1.84	0.94	27.2	19.5	6.08	21	0.671	1.5
43	9.39	1.86	0.815	23.8	16.9	3.93	14	0.675	1.4
37	7.98	1.88	0.688	20.2	14.3	2.33	8	0.679	1.2
31	6.51	1.89	0.559	16.4	11.6	1.23	4	0.683	1.1
24	4.97	1.91	0.424	12.5	8.78	0.541	2	0.687	1.0
28	7.7	1.38	0.958	29.2	14.5	7.99	24	0.413	1.3
22	6.03	1.41	0.739	22.8	11.1	3.56	11	0.426	1.1
19	5.15	1.43	0.627	19.5	9.37	2.12	7	0.432	1.0
16	4.23	1.45	0.508	15.9	7.59	1.12	4	0.437	0.9
13	3.24	1.47	0.389	12.2	5.75	0.495	2	0.442	0.8
51	11.7	1.87	1.14	21.1	21.1	7.83	21	1.00	1.7
41	9.14	1.9	0.881	16.6	16.4	3.47	10	1.00	1.5
35	7.77	1.92	0.744	14.0	14.0	2.06	6	1.00	1.4
29	6.34	1.94	0.602	11.4	11.4	1.09	3	1.00	1.2
22	4.83	1.96	0.457	8.67	8.65	0.475	1	1.00	1.1
21	5.92	1.46	0.79	16.1	10.8	3.11	7	0.612	1.2
19	5.06	1.48	0.671	13.7	9.13	1.85	4	0.618	1.1
16	4.15	1.5	0.544	11.3	7.44	0.978	2	0.624	1.0
12	3.2	1.52	0.417	8.67	5.69	0.429	1	0.628	0.9
7	2.33	1.04	0.48	10.6	4.28	0.87	2	0.354	0.8
5	1.8	1.06	0.368	8.14	3.24	0.383	1	0.360	0.7
20	5.7	1.5	0.869	10.3	10.3	2.74	5	1.00	1.3
17	4.88	1.52	0.737	8.80	8.78	1.64	3	1.00	1.2
14	4	1.54	0.599	7.21	7.21	0.87	2	1.00	1.1
11	3.08	1.55	0.457	5.54	5.54	0.383	1	1.00	0.9
8	2.11	1.57	0.312	3.77	3.77	0.122	0	1.00	0.8

CAPITULO

VII

VII.7 WT (TR)

Designación (d x peso) (mm x kg/m)	Designación (d x peso) (in x lb/ft)	d (mm)	b_f (mm)	t_w (mm)	t_f (mm)	k (mm)
550 x 249.5	22 x 167.5	559	404	26.2	45.0	65.0
550 x 216.5	22 x 145	554	401	22.0	40.1	60.2
550 x 195	22 x 131	551	401	19.9	36.1	56.1
550 x 171.5	22 x 115	546	401	18.0	31.0	51.1
500 x 441.5	20 x 296.5	546	424	45.5	82.0	112.0
500 x 374	20 x 251.5	533	417	39.1	70.1	100.0
500 x 321	20 x 215.5	523	411	34.0	59.9	89.9
500 x 295.5	20 x 198.5	521	409	31.0	55.9	85.9
500 x 277	20 x 186	516	409	29.5	52.1	82.0
500 x 269.5	20 x 181	516	406	28.4	51.1	81.0
500 x 241.5	20 x 162	511	404	25.4	46.0	75.9
500 x 221.5	20 x 148.5	505	401	23.6	41.9	71.9
500 x 206	20 x 138.5	503	401	21.1	40.1	70.1
500 x 185.5	20 x 124.5	500	401	19.1	36.1	66.0
500 x 160.5	20 x 107.5	495	401	16.5	31.0	61.0
500 x 148	20 x 99.5	490	401	16.5	27.2	57.2
500 x 292	20 x 196	528	315	36.1	64.0	94.0
500 x 247	20 x 165.5	518	310	31.0	54.1	84.1
500 x 243	20 x 163.5	518	307	30.0	54.1	84.1
500 x 219	20 x 147	513	305	26.9	49.0	79.0
500 x 207.5	20 x 139	511	305	26.2	46.0	75.9
500 x 196.5	20 x 132	508	302	24.4	43.9	73.9
500 x 175	20 x 117.5	503	302	21.1	40.1	70.1
500 x 157	20 x 105.5	500	300	19.1	36.1	66.0
500 x 136	20 x 91.5	495	300	16.5	30.5	61.0
500 x 124.5	20 x 83.5	490	300	16.5	26.2	56.1
500 x 111	20 x 74.5	485	300	16.0	21.1	51.1
460 x 595.5	18 x 400	533	457	60.5	109.0	133.0
460 x 485	18 x 326	513	447	50.0	89.9	114.0
460 x 393.5	18 x 264.5	498	437	40.9	73.9	98.0
460 x 362.5	18 x 243.5	500	434	38.1	68.1	92.2
460 x 328	18 x 220.5	485	432	34.5	62.0	86.1
460 x 294	18 x 197.5	480	427	31.0	55.9	80.0
460 x 268.5	18 x 180.5	475	424	28.4	51.1	75.2
460 x 245.5	18 x 165	470	422	25.9	47.0	71.1
460 x 224.5	18 x 151	467	424	24.0	42.7	66.8
460 x 210	18 x 141	465	422	22.5	39.9	64.0
460 x 195	18 x 131	460	422	21.3	36.6	60.7
460 x 184	18 x 123.5	457	419	20.3	34.3	58.4
460 x 172.5	18 x 116	472	307	22.1	39.9	58.9
460 x 190.5	18 x 128	475	310	24.4	43.9	63.0
460 x 172.5	18 x 115.5	472	307	22.1	39.9	58.9
460 x 156.5	18 x 105	465	310	21.1	34.5	53.6
460 x 144.5	18 x 97	462	307	19.4	32.0	51.1
460 x 135.5	18 x 91	462	307	18.4	30.0	49.0
460 x 126.5	18 x 85	460	305	17.3	27.9	47.0
460 x 119	18 x 80	457	305	16.5	25.9	45.0

A (cm²)	I_x (cm⁴)	S_x (cm³)	r_x (cm)	y_p (cm)	I_y (cm⁴)	S_y (cm³)	r_y (cm)	Z_x (cm³)	Z_y (cm³)	J (cm⁴)	C_w (cm⁶)	r_{ts} (cm)	h_o (cm)
317	90 300	2 150	16.8	3.91	25 000	1 230	8.86	3 830	1 930	1 550	118 000	5.0	51.4
275	76 200	1 820	16.6	3.43	21 700	1 080	8.86	3 210	1 670	1 060	73 800	4.7	51.4
248	68 300	1 630	16.6	3.1	19 200	960	8.81	2 880	1 490	774	53 700	4.4	51.5
218	59 900	1 450	16.6	2.72	16 600	828	8.71	2 570	1 280	516	37 300	4.1	51.5
563	138 000	3 420	15.6	6.63	52 400	2 470	9.65	6 210	3 930	9 200	628 000	7.3	46.4
477	114 000	2 850	15.4	5.72	42 500	2 030	9.45	5 150	3 230	5 740	376 000	6.7	46.3
409	95 300	2 430	15.3	4.95	35 100	1 700	9.27	4 360	2 690	3 670	237 000	6.1	46.3
377	86 200	2 200	15.1	4.6	32 100	1 570	9.22	3 930	2 460	2 940	182 000	5.9	46.5
352	80 300	2 060	15.1	4.32	29 500	1 450	9.14	3 690	2 260	2 400	150 000	5.7	46.4
344	77 800	2 000	15	4.22	28 800	1 410	9.14	3 560	2 210	2 260	137 000	5.6	46.5
308	68 700	1 770	14.9	3.81	25 300	1 260	9.07	3 150	1 950	1 650	97 200	5.3	46.5
282	62 400	1 620	14.9	3.51	22 700	1 130	8.99	2 880	1 750	1 270	74 900	5.0	46.3
263	56 600	1 450	14.7	3.28	21 700	1 080	9.09	2 570	1 670	1 070	58 500	5.0	46.3
237	50 400	1 300	14.6	2.95	19 300	964	9.02	2 290	1 490	791	42 400	4.7	46.4
205	42 900	1 110	14.5	2.57	16 600	828	8.99	1 970	1 270	516	27 100	4.4	46.4
188	41 100	1 090	14.8	2.36	14 400	723	8.76	1 920	1 120	380	22 400	4.1	46.3
372	94 500	2 510	15.9	5.92	16 700	1 060	6.71	4 510	1 740	3 550	214 000	4.9	46.4
314	78 300	2 100	15.8	5.08	13 400	867	6.53	3 790	1 400	2 190	130 000	4.5	46.4
310	76 600	2 050	15.7	5.03	13 300	864	6.55	3 670	1 390	2 140	121 000	4.4	46.4
278	67 800	1 820	15.6	4.57	11 700	765	6.48	3 260	1 230	1 590	86 500	4.2	46.4
265	64 500	1 740	15.6	4.34	10 900	713	6.4	3 130	1 150	1 350	75 700	4.1	46.5
250	60 400	1 630	15.5	4.14	10 200	677	6.4	2 920	1 080	1 160	62 600	3.9	46.4
223	52 400	1 400	15.3	3.68	9 240	611	6.45	2 510	967	857	41 900	3.7	46.3
200	46 600	1 260	15.3	3.33	8 120	541	6.38	2 250	854	633	30 300	3.5	46.4
172	39 800	1 080	15.2	2.87	6 870	459	6.32	1 920	721	402	19 100	3.3	46.5
159	37 400	1 040	15.4	2.79	5 870	392	6.1	1 880	619	291	16 900	3.1	46.4
141	33 900	978	15.5	4.37	4 750	318	5.82	1 770	506	194	13 900	2.9	46.4
761	170 000	4 330	15	8.33	87 400	3 830	10.7	8 050	6 080	21 900	1 560 000	9.2	42.4
620	132 000	3 410	14.6	6.93	67 000	3 020	10.4	6 280	4 750	12 300	824 000	8.3	42.3
502	102 000	2 690	14.2	5.74	51 600	2 380	10.2	4 880	3 720	6 780	430 000	7.4	42.4
463	92 400	2 460	14.1	5.33	46 600	2 150	10.1	4 460	3 380	5 330	336 000	7.1	43.2
419	82 400	2 200	14	4.85	41 500	1 920	10	3 970	3 020	4 020	245 000	6.8	42.3
375	72 400	1 950	13.9	4.39	36 500	1 700	9.86	3 490	2 650	2 940	175 000	6.4	42.4
342	65 300	1 750	13.8	4.04	32 700	1 540	9.78	3 150	2 390	2 250	132 000	6.1	42.4
313	58 700	1 590	13.7	3.71	29 600	1 400	9.73	2 830	2 160	1 750	100 000	5.8	42.3
286	53 300	1 460	13.6	3.38	27 000	1 270	9.7	2 590	1 970	1 340	76 500	5.6	42.4
268	49 500	1 350	13.6	3.18	24 900	1 180	9.65	2 390	1 840	1 090	62 000	5.4	42.5
248	46 200	1 270	13.6	2.95	22 700	1 080	9.55	2 250	1 670	866	49 700	5.1	42.3
234	43 300	1 200	13.6	2.79	21 100	1 010	9.5	2 110	1 550	720	41 600	5.0	42.3
223	40 700	1 130	13.6	2.62	19 600	934	9.42	2 000	1 440	595	34 600	4.8	43.2
243	50 400	1 430	14.4	3.91	11 000	708	6.73	2 560	1 120	1 100	55 100	4.1	43.1
220	45 000	1 290	14.3	3.56	9 740	633	6.65	2 290	998	820	40 500	3.9	43.2
199	41 000	1 200	14.4	3.23	8 570	554	6.55	2 150	875	579	32 000	3.7	43.1
184	37 500	1 100	14.3	3	7 780	506	6.5	1 970	800	462	24 900	3.6	43.0
173	35 200	1 030	14.3	2.82	7 240	472	6.48	1 850	742	383	20 800	3.5	43.2
161	32 700	965	14.2	2.64	6 660	436	6.43	1 720	685	313	17 000	3.3	43.2
152	30 800	914	14.2	2.49	6 120	403	6.35	1 640	633	257	14 400	3.2	43.1

Designación (d x peso) (mm x kg/m)	Designación (d x peso) (in x lb/ft)	d (mm)	b_f (mm)	t_w (mm)	t_f (mm)	k (mm)
460 x 111.5	8 x 75	455	305	15.9	23.9	42.9
460 x 100.5	18 x 67.5	452	305	15.2	20.1	39.1
420 x 288	16.5 x 193.5	457	411	32.0	57.9	78.0
420 x 249	16.5 x 177	452	409	29.5	53.1	73.2
420 x 236.5	16.5 x 159	447	406	26.4	48.0	68.1
420 x 216.5	16.5 x 145.5	442	404	24.4	43.9	64.0
420 x 196	16.5 x 131.5	439	401	22.1	39.9	59.9
420 x 179.5	16.5 x 120.5	434	404	21.1	35.6	55.6
420 x 164.5	16.5 x 110.5	432	401	19.7	32.5	52.3
420 x 149.5	16.5 x 100.5	427	399	18.2	29.2	49.3
420 x 125.5	16.5 x 84.5	429	292	17.0	31.0	48.8
420 x 113	16.5 x 76	424	295	16.1	26.9	44.7
420 x 105	16.5 x 70.5	424	292	15.4	24.4	42.2
420 x 96.5	16.5 x 65	419	292	14.7	21.7	39.6
420 x 88	16.5 x 59	417	292	14.0	18.8	36.6
380 x 291	15 x 195.5	422	396	34.5	62.0	82.0
380 x 265.5	15 x 178.5	417	394	31.5	56.9	77.0
380 x 242	15 x 163	411	391	29.0	52.1	72.1
380 x 217	15 x 146	406	389	25.9	47.0	67.1
380 x 194.5	15 x 130.5	401	386	23.6	41.9	62.0
380 x 175	15 x 117.5	399	384	21.1	38.1	58.2
380 x 157	15 x 105.5	394	384	19.7	33.5	53.3
380 x 142	15 x 95.5	389	381	18.0	30.2	50.0
380 x 128.5	15 x 86.5	386	381	16.6	27.2	47.0
380 x 110	15 x 74	389	267	16.5	30.0	46.5
380 x 98	15 x 66	386	267	15.6	25.4	41.9
380 x 92.5	15 x 62	384	267	14.9	23.6	40.1
380 x 86.5	15 x 58	381	267	14.4	21.6	38.1
380 x 80.5	15 x 54	378	267	13.8	19.3	35.8
380 x 73.5	15 x 49.5	376	267	13.2	17.0	33.5
380 x 67	15 x 45	376	264	11.9	15.5	32.0
345 x 401	13.5 x 269.5	414	389	50.0	89.9	110.0
345 x 274	13.5 x 184	386	373	35.1	63.0	83.1
345 x 250	13.5 x 168	381	371	32.0	57.9	78.0
345 x 228.5	13.5 x 153.5	376	366	29.5	53.1	73.2
345 x 209.5	13.5 x 140.5	371	366	26.9	49.0	69.1
345 x 192	13.5 x 129	368	363	24.9	45.0	65.0
345 x 175	13.5 x 117.5	363	361	23.1	40.9	61.0
345 x 161.5	13.5 x 108.5	361	358	21.1	38.1	58.2
345 x 144.5	13.5 x 97	358	356	19.1	34.0	54.1
345 x 132.5	13.5 x 89	353	358	18.4	30.2	50.3
345 x 120	13.5 x 80.5	351	356	16.8	27.4	47.5
345 x 108.5	13.5 x 73	348	356	15.4	24.8	44.7
345 x 96	13.5 x 64.5	351	254	15.5	27.9	43.2
345 x 85	13.5 x 57	345	257	14.5	23.6	38.9
345 x 76	13.5 x 51	343	254	13.1	21.1	36.3
345 x 70	13.5 x 47	343	254	12.4	18.9	34.0

A (cm²)	I_x (cm⁴)	S_x (cm³)	r_x (cm)	y_p (cm)	I_y (cm⁴)	S_y (cm³)	r_y (cm)	Z_x (cm³)	Z_y (cm³)	J (cm⁴)	C_w (cm⁶)	r_{ts} (cm)	h_o (cm)
143	29 100	870	14.3	2.34	5 620	369	6.27	1 560	580	210	12 400	3.1	43.1
128	26 500	814	14.4	3.12	4 700	310	6.05	1 480	488	145	10 000	2.9	43.2
368	60 800	1 750	12.9	4.47	33 700	1 640	9.58	3 160	2 560	3 080	165 000	6.5	39.9
336	54 900	1 590	12.8	4.11	30 300	1 480	9.5	2 850	2 310	2 380	126 000	6.2	39.9
302	48 300	1 410	12.7	3.71	26 800	1 320	9.42	2 520	2 050	1 750	90 000	5.9	39.9
276	44 100	1 280	12.6	3.43	24 200	1 200	9.35	2 290	1 850	1 350	68 700	5.6	39.8
250	39 300	1 150	12.5	3.12	21 500	1 070	9.27	2 050	1 660	1 010	50 500	5.4	39.9
229	36 300	1 080	12.6	2.84	19 400	964	9.19	1 900	1 490	749	39 200	5.1	39.8
210	33 300	996	12.6	2.62	17 500	872	9.12	1 750	1 350	579	30 300	4.8	40.0
191	30 200	909	12.6	2.39	15 600	780	9.04	1 600	1 200	433	22 800	4.6	39.8
160	27 000	837	13	2.74	6 450	442	6.35	1 490	690	367	14 900	3.4	39.8
145	24 600	777	13.1	2.46	5 660	387	6.27	1 380	605	256	11 500	3.2	39.7
134	23 000	733	13.1	2.29	5 120	349	6.17	1 310	547	201	9 510	3.1	40.0
124	21 400	690	13.2	2.11	4 540	310	6.05	1 240	487	153	7 870	2.9	39.7
112	19 500	642	13.2	2.19	3 890	267	5.89	1 160	420	110	6 280	2.8	39.8
372	50 800	1 590	11.7	4.7	32 200	1 630	9.32	2 900	2 540	3 590	171 000	6.8	36.0
339	45 400	1 430	11.6	4.32	28 800	1 470	9.25	2 610	2 290	2 770	128 000	6.5	36.0
309	40 800	1 290	11.5	3.96	25 900	1 330	9.14	2 340	2 060	2 130	96 900	6.2	35.9
277	35 800	1 140	11.4	3.58	22 900	1 180	9.09	2 050	1 820	1 560	69 000	5.9	35.9
248	31 800	1 020	11.3	3.23	20 000	1 040	8.97	1 840	1 600	1 120	49 400	5.6	35.9
223	28 100	903	11.2	2.92	17 800	931	8.92	1 610	1 430	837	35 700	5.3	36.1
201	25 400	828	11.3	2.62	15 700	821	8.86	1 470	1 270	587	25 900	4.9	36.1
181	22 900	749	11.2	2.37	14 000	733	8.79	1 320	1 130	437	19 100	4.7	35.9
165	20 700	683	11.2	2.16	12 400	654	8.69	1 200	1 010	324	14 200	4.4	35.9
140	19 400	665	11.8	2.64	4 750	356	5.79	1 180	556	301	10 100	3.2	35.9
125	17 500	613	11.8	2.34	4 080	305	5.72	1 090	479	202	7 650	3.0	36.1
117	16 500	578	11.8	2.2	3 760	282	5.66	1 030	442	166	6 420	2.9	36.0
110	15 500	552	11.9	2.07	3 420	256	5.56	990	403	134	5 510	2.8	35.9
103	14 500	524	11.9	1.92	3 040	228	5.46	946	359	104	4 650	2.7	35.9
93.5	13 400	492	12	2.32	2 660	200	5.33	891	316	78	3 840	2.5	35.9
85.2	12 100	444	11.9	2.12	2 390	180	5.31	803	283	59	2 820	2.4	36.1
512	63 700	2 100	11.2	6.6	44 100	2 260	9.27	3 970	3 570	10 300	467 000	8.3	32.4
350	39 100	1 340	10.6	47	27 300	1 460	8.84	2 470	2 290	3 520	143 000	6.8	32.3
319	34 900	1 200	10.5	4.32	24 400	1 320	8.76	2 210	2 060	2 720	108 000	6.5	32.3
292	31 300	1 090	10.4	3.96	21 900	1 190	8.66	1 980	1 850	2 100	81 600	6.2	32.3
267	28 200	982	10.3	3.66	19 900	1 090	8.61	1 790	1 690	1 650	62 300	6.0	32.2
245	25 500	896	10.2	3.38	17 900	987	8.53	1 620	1 530	1 280	47 800	5.7	32.3
224	23 100	819	10.2	3.1	16 000	888	8.46	1 470	1 370	974	36 300	5.4	32.2
206	20 900	741	10.1	2.87	14 700	818	8.43	1 330	1 260	783	28 200	5.2	32.3
185	18 500	660	10	2.59	12 900	723	8.36	1 180	1 110	562	20 000	4.9	32.4
169	17 200	626	10.1	2.37	11 600	646	8.26	1 110	996	416	15 500	4.6	32.3
154	15 500	564	10	2.16	10 300	580	8.2	996	893	313	11 500	4.4	32.4
139	14 000	511	10	1.96	9 240	519	8.13	901	800	234	8 510	4.2	32.3
122	13 400	508	10.5	2.4	3 840	302	5.61	903	472	231	6 440	3.1	32.3
108	12 000	464	10.5	2.11	3 300	259	5.54	826	403	152	4 700	2.9	32.1
96.8	10 700	415	10.5	1.91	2 900	228	5.46	737	356	109	3 380	2.7	32.2
89	10 000	390	10.6	1.76	2 580	203	5.38	695	318	84	2 740	2.6	32.4

Designación (d x peso) (mm x kg/m)	Designación (d x peso) (in x lb/ft)	d (mm)	b_f (mm)	t_w (mm)	t_f (mm)	k (mm)
345 x 62.5	13.5 x 42	340	254	11.7	16.3	31.5
305 x 275.5	12 x 185	356	348	38.6	69.1	81.8
305 x 249	12 x 167.5	351	343	35.1	63.0	75.7
305 x 227.5	12 x 153	345	340	32.0	57.9	70.6
305 x 207.5	12 x 139.5	340	338	29.5	53.1	65.8
305 x 186	12 x 125	335	335	26.4	48.0	60.7
305 x 170.5	12 x 114.5	330	333	24.4	43.9	56.6
305 x 153.5	12 x 103.5	328	330	22.1	39.9	52.6
305 x 142.5	12 x 96	323	330	20.6	37.1	49.8
305 x 131	12 x 88	320	328	19.1	34.0	46.7
305 x 120.5	12 x 81	318	330	17.9	31.0	43.7
305 x 108.5	12 x 73	315	328	16.5	27.7	40.4
305 x 97.5	12 x 65.5	310	328	15.4	24.4	37.1
305 x 87	12 x 58.5	307	325	14.0	21.6	34.3
305 x 77.5	12 x 52	305	325	12.7	19.1	31.8
305 x 76.5	12 x 51.5	312	229	14.0	24.9	37.6
305 x 70	12 x 47	310	230	13.1	22.2	35.1
305 x 62.5	12 x 42	307	229	11.9	19.6	32.3
305 x 56.5	12 x 38	305	228	11.2	17.3	30.0
305 x 50.5	12 x 34	302	228	10.5	14.9	27.7
305 x 46	12 x 31	302	179	10.9	15.0	30.2
305 x 41	12 x 27.5	300	178	10.0	12.8	25.7
265 x 150	10.5 x 100.5	292	320	23.1	41.4	54.1
265 x 136	10.5 x 91	290	318	21.1	37.6	50.3
265 x 124	10.5 x 83	284	315	19.1	34.5	47.2
265 x 109.5	10.5 x 73.5	279	318	18.3	29.2	41.9
265 x 98	10.5 x 66	277	315	16.5	26.4	39.1
265 x 91	10.5 x 61	274	315	15.2	24.4	37.1
265 x 82.5	10.5 x 55.5	274	312	14.0	22.2	35.1
265 x 75	10.5 x 50.5	272	312	12.7	20.3	33.0
265 x 69	10.5 x 46.5	274	214	14.7	23.6	36.3
265 x 61.5	10.5 x 41.5	272	212	13.1	21.2	34.0
265 x 54.5	10.5 x 36.5	269	211	11.6	18.8	31.5
265 x 50.5	10.5 x 34	269	210	10.9	17.4	30.2
265 x 46	10.5 x 31	267	209	10.2	15.6	28.4
265 x 41	10.5 x 27.5	264	209	9.5	13.3	25.9
265 x 36	10.5 x 24	262	207	8.9	10.9	23.6
265 x 42.5	10.5 x 28.5	267	167	10.3	16.5	29.2
265 x 37	10.5 x 25	264	166	9.7	13.6	26.4
265 x 33	10.5 x 22	262	165	8.9	11.4	24.1
230 x 232	9 x 155.5	284	305	38.6	69.6	82.3
230 x 210.5	9 x 141.5	277	302	35.6	63.5	76.2
230 x 192	9 x 129	272	300	32.5	58.4	68.6
230 x 174.5	9 x 117	267	297	29.5	53.6	63.8
230 x 157.5	9 x 105.5	262	295	26.9	48.5	58.7
230 x 143	9 x 96	259	292	24.4	44.5	54.6
230 x 130	9 x 87.5	254	290	22.6	40.4	50.5

A (cm²)	I_x (cm⁴)	S_x (cm³)	r_x (cm)	y_p (cm)	I_y (cm⁴)	S_y (cm³)	r_y (cm)	Z_x (cm³)	Z_y (cm³)	J (cm⁴)	C_w (cm⁶)	r_{ts} (cm)	h_o (cm)
80	8 990	359	10.6	1.58	2 200	174	5.26	642	272	58	2 090	2.4	32.4
351	32 400	1 220	9.6	5.05	24 200	1 390	8.31	2 290	2 180	4 160	149 000	7.0	28.7
317	28 600	1 090	9.47	4.62	21 400	1 240	8.2	2 020	1 950	3 150	109 000	6.7	28.8
290	25 400	973	9.37	4.24	19 100	1 120	8.13	1 800	1 750	2 430	81 900	6.4	28.7
265	22 700	878	9.27	3.91	17 100	1 010	8.05	1 620	1 580	1 880	61 800	6.1	28.7
237	19 900	773	9.17	3.53	15 100	900	7.98	1 420	1 400	1 380	44 300	5.8	28.7
217	17 900	703	9.09	3.25	13 600	814	7.9	1 280	1 260	1 060	33 600	5.5	28.6
196	15 900	628	9.02	2.97	12 000	728	7.82	1 140	1 120	795	24 500	5.2	28.8
181	14 600	577	8.97	2.77	11 000	670	7.8	1 040	1 030	637	19 500	5.0	28.6
166	13 300	528	8.92	2.54	10 000	610	7.72	947	939	495	15 000	4.8	28.6
154	12 200	490	8.89	2.34	9 200	560	7.75	873	862	384	11 800	4.6	28.7
139	11 000	446	8.89	2.12	8 120	497	7.65	790	764	279	8 570	4.3	28.7
125	9 910	406	8.94	1.91	7 080	434	7.54	719	667	197	6 200	4.0	28.6
111	8 820	365	8.92	1.71	6 200	380	7.47	642	585	139	4 400	3.8	28.5
98.7	7 870	328	8.92	1.52	5 410	333	7.39	575	511	98	3 120	3.5	28.6
97.4	8 490	361	9.32	2.14	2 480	218	5.05	642	339	147	3 300	2.8	28.7
89	7 740	333	9.32	1.94	2 270	197	5.03	592	306	109	2 570	2.7	28.8
80	6 910	300	9.32	1.74	1 960	172	4.95	533	267	77	1 850	2.5	28.7
72.3	6 290	277	9.35	1.58	1 720	150	4.88	493	234	56	1 420	2.4	28.8
64.5	5 700	256	9.4	1.42	1 470	129	4.75	457	202	39	1 100	2.2	28.7
58.8	5 450	256	9.63	3.25	716	80	3.51	465	129	35	1 050	1.8	28.7
52.3	4 870	231	9.65	3.89	604	68	3.4	420	109	25	787	1.7	28.7
191	11 900	523	7.87	3	11 300	706	7.67	960	1 090	849	22 900	5.5	25.1
173	10 500	467	7.8	2.72	10 000	633	7.62	854	975	637	16 900	5.3	25.2
157	9 410	418	7.72	2.5	9 030	574	7.59	759	883	491	12 700	5.1	25.0
139	8 490	388	7.82	2.19	7 830	492	7.49	695	759	320	8 730	4.6	25.0
125	7 530	346	7.77	1.98	6 910	438	7.44	616	674	234	6 280	4.4	25.1
115	6 910	316	7.72	1.84	6 330	403	7.39	562	619	186	4 940	4.2	25.0
105	6 240	287	7.7	1.68	5 700	364	7.37	508	559	142	3 710	4.0	25.2
96.1	5 620	259	7.65	1.54	5 160	331	7.34	457	505	108	2 790	3.8	25.2
88.4	5 990	293	8.26	2.06	1 930	180	4.67	521	283	125	2 510	2.7	25.0
78.7	5 290	257	8.18	1.85	1 690	160	4.65	459	249	90	1 750	2.6	25.1
69	4 580	226	8.15	1.64	1 470	139	4.6	400	218	63	1 190	2.4	25.0
64.5	4 290	211	8.13	1.54	1 350	128	4.57	375	200	51	972	2.3	25.2
58.9	3 900	195	8.15	1.41	1 190	114	4.5	346	179	38	747	2.2	25.1
52.3	3 510	179	8.2	1.25	1 010	97	4.39	318	150	26	559	2.0	25.1
45.6	3 120	162	8.28	1.17	807	78	4.22	292	122	17	408	1.9	25.1
54	3 760	193	8.36	1.62	637	77	3.43	347	121	37	671	1.8	25.1
47.5	3 340	175	8.38	1.96	520	63	3.3	318	100	24	508	1.7	25.0
41.9	2 960	159	8.41	2.69	429	52	3.2	288	83	16	376	1.6	25.1
295	15 900	764	7.34	4.85	16 600	1 080	7.49	1 480	1 700	3 630	91 000	7.1	21.4
268	14 000	680	7.24	4.45	14 700	970	7.39	1 310	1 520	2 770	67 400	6.8	21.4
245	12 400	606	7.11	4.09	13 100	875	7.32	1 160	1 360	2 130	50 800	6.5	21.4
222	10 900	536	6.99	3.76	11 600	785	7.24	1 020	1 220	1 630	37 600	6.2	21.3
201	9 530	477	6.91	3.4	10 200	700	7.16	901	1 080	1 210	27 400	5.9	21.4
182	8 410	423	6.81	3.12	9 160	629	7.09	795	973	928	20 300	5.7	21.5
166	7 530	383	6.76	2.87	8 160	564	7.01	714	870	699	15 200	5.4	21.4

Designación (d x peso) (mm x kg/m)	Designación (d x peso) (in x lb/ft)	d (mm)	b_f (mm)	t_w (mm)	t_f (mm)	k (mm)
230 x 117.5	9 x 79	250	287	20.6	36.6	46.7
230 x 106.5	9 x 71.5	248	284	18.5	33.5	43.7
230 x 96.5	9 x 65	245	284	17.0	30.5	40.6
230 x 88.5	9 x 59.5	241	287	16.6	26.9	37.1
230 x 79	9 x 53	238	284	15.0	23.9	34.0
230 x 72	9 x 48.5	236	282	13.6	22.1	32.3
230 x 64	9 x 43	234	282	12.2	19.6	29.7
230 x 56.5	9 x 38	231	279	10.8	17.3	27.4
230 x 53	9 x 35.5	235	194	12.6	20.6	30.7
230 x 48.5	9 x 32.5	233	193	11.4	19.1	29.2
230 x 44.5	9 x 30	232	192	10.5	17.7	27.9
230 x 41	9 x 27.5	230	191	9.9	16.0	26.2
230 x 37	9 x 25	229	191	9.0	14.5	24.7
230 x 34	9 x 23	229	154	9.1	15.4	25.7
230 x 30	9 x 20	227	153	8.0	13.3	23.5
230 x 26	9 x 17.5	225	152	7.6	10.8	21.0
205 x 74.5	8 x 50	216	264	14.9	25.0	35.3
205 x 66	8 x 44.5	213	264	13.3	22.2	40.1
205 x 57	8 x 38.5	210	262	11.6	19.3	37.3
205 x 50	8 x 33.5	208	259	10.0	16.9	34.8
205 x 42.5	8 x 28.5	209	181	10.9	18.2	28.4
205 x 37.5	8 x 25	207	180	9.7	16.0	26.2
205 x 33.5	8 x 22.5	205	179	8.8	14.4	24.6
205 x 30	8 x 20	203	178	7.8	12.8	23.0
205 x 26.5	8 x 18	201	178	7.5	10.9	21.1
205 x 23.05	8 x 15.5	202	140	7.0	11.2	21.4
205 x 19.4	8 x 13	199	140	6.4	8.8	19.0
180 x 543	7 x 365	284	455	78.0	125.0	140.0
180 x 495	7 x 332.5	274	450	71.9	115.0	130.0
180 x 450	7 x 302.5	267	442	66.0	106.0	121.0
180 x 409	7 x 275	257	437	60.5	97.0	112.0
180 x 372	7 x 250	249	432	55.6	88.9	104.0
180 x 338.5	7 x 227.5	242	427	51.3	81.5	96.8
180 x 317	7 x 213	237	424	47.8	77.2	92.2
180 x 296	7 x 199	232	422	45.0	72.4	87.4
180 x 275.5	7 x 185	228	419	42.2	67.6	82.8
180 x 254.5	7 x 171	223	417	39.1	62.7	78.0
180 x 231.5	7 x 155.5	217	411	35.8	57.4	72.6
180 x 210.5	7 x 141.5	213	409	32.8	52.6	67.8
180 x 191	7 x 128.5	208	406	30.0	48.0	63.2
180 x 173.5	7 x 116.5	204	404	27.2	43.7	58.9
180 x 157	7 x 105.5	200	401	24.9	39.6	54.9
180 x 143.5	7 x 96.5	197	399	22.6	36.6	51.8
180 x 131	7 x 88	193	399	21.1	33.3	48.5
180 x 118.5	7 x 79.5	190	396	18.9	30.2	45.5
180 x 108	7 x 72.5	188	394	17.3	27.7	42.9
180 x 98	7 x 66	186	373	16.4	26.2	41.4

A (cm²)	I_x (cm⁴)	S_x (cm³)	r_x (cm)	y_p (cm)	I_y (cm⁴)	S_y (cm³)	r_y (cm)	Z_x (cm³)	Z_y (cm³)	J (cm⁴)	C_w (cm⁶)	r_{ts} (cm)	h_o (cm)
150	6 660	341	6.68	2.59	7 240	503	6.96	631	777	520	11 100	5.1	21.3
135	5 910	303	6.6	2.38	6 490	454	6.91	557	700	399	8 240	4.9	21.5
123	5 290	274	6.55	2.17	5 790	408	6.86	500	628	301	6 120	4.7	21.5
113	4 950	261	6.6	1.98	5 240	369	6.83	470	565	221	4 670	4.4	21.4
101	4 330	231	6.58	1.77	4 580	323	6.76	413	495	155	3 250	4.1	21.4
92.3	3 900	208	6.5	1.63	4 160	295	6.73	370	452	122	2 490	3.9	21.4
81.9	3 430	184	6.48	1.45	3 650	259	6.68	326	397	85	1 720	3.7	21.4
72.3	2 990	161	6.45	1.28	3 170	226	6.63	283	346	59	1 170	3.5	21.4
67.1	3 250	184	6.96	1.73	1 250	129	4.32	328	202	72	1 060	2.5	21.4
61.6	2 940	166	6.91	1.6	1 140	118	4.29	295	184	57	808	2.4	21.4
56.9	2 690	152	6.88	1.48	1 040	109	4.27	270	169	45	631	2.3	21.4
52.3	2 480	141	6.88	1.37	937	98	4.24	251	152	35	494	2.2	21.4
47.3	2 230	128	6.86	1.24	832	88	4.19	226	136	26	365	2.1	21.5
43.7	2 170	127	7.04	1.42	470	61	3.28	228	96	25	322	1.8	21.4
37.9	1 860	110	7.01	1.24	398	52	3.23	197	81	17	212	1.6	21.4
33.2	1 670	102	7.09	1.14	319	42	3.1	184	66	11	161	1.5	21.4
94.8	3 200	187	5.79	1.79	3 880	293	6.38	339	449	160	2 790	4.2	19.1
84.5	2 800	166	5.77	1.6	3 380	257	6.32	297	393	113	1 930	3.9	19.1
72.9	2 370	141	5.69	1.39	2 880	220	6.27	251	336	74	1 240	3.7	19.1
63.5	2 020	121	5.64	1.22	2 480	190	6.25	213	290	50	808	3.4	19.1
54.1	2 030	127	6.12	1.5	899	99	4.06	226	154	46	534	2.3	19.1
47.5	1 760	111	6.1	1.32	774	86	4.04	197	134	32	360	2.2	19.1
42.8	1 570	100	6.07	1.2	683	77	3.99	177	118	23	262	2.1	19.1
38	1 380	88	6.02	1.07	599	68	3.96	155	104	17	181	1.9	19.0
34.1	1 270	83	6.12	0.96	508	57	3.86	146	89	11	139	1.8	19.0
29.4	1 140	76	6.22	1.05	258	37	2.97	136	58	10	98	1.4	19.1
24.8	978	67	6.27	0.945	199	29	2.84	121	45	5	65	1.3	19.0
690	30 800	1 560	6.65	7.62	98 200	4 330	11.9	3 460	6 690	29 700	1 410 000	15.4	15.9
631	25 900	1 350	6.4	7.04	86 600	3 870	11.7	2 980	5 980	23 100	1 050 000	14.9	15.9
574	21 800	1 160	6.17	6.48	76 600	3 460	11.6	2 570	5 340	17 900	787 000	14.5	16.1
522	18 400	998	5.94	5.97	67 800	3 100	11.4	2 230	4 790	13 800	585 000	14.1	16.0
474	15 600	864	5.74	5.49	59 900	2 770	11.3	1 920	4 280	10 600	435 000	13.7	16.0
432	13 400	752	5.56	5.05	53 300	2 490	11.1	1 670	3 830	8 160	325 000	13.2	16.1
404	11 900	678	5.44	4.78	49 100	2 310	11	1 500	3 560	6 830	266 000	13.0	16.0
377	10 700	616	5.33	4.47	45 400	2 150	10.9	1 360	3 290	5 620	215 000	12.7	16.0
351	9 530	556	5.21	4.19	41 400	1 980	10.8	1 220	3 030	4 580	172 000	12.3	16.0
325	8 450	498	5.11	3.91	37 600	1 800	10.8	1 080	2 770	3 680	135 000	12.0	16.0
295	7 330	438	4.98	3.58	33 600	1 630	10.7	946	2 490	2 810	101 000	11.5	16.0
268	6 370	385	4.88	3.28	30 100	1 470	10.6	826	2 250	2 160	75 500	11.1	16.0
244	5 540	339	4.78	3	26 800	1 320	10.5	719	2 020	1 640	56 100	10.7	16.0
221	4 830	298	4.67	2.74	24 000	1 190	10.4	626	1 800	1 230	41 400	10.3	16.0
200	4 250	265	4.6	2.49	21 400	1 070	10.3	547	1 620	924	30 300	9.8	16.0
183	3 740	236	4.52	2.29	19 400	972	10.3	482	1 480	720	23 400	9.5	16.0
167	3 350	213	4.47	2.1	17 400	877	10.2	431	1 330	549	17 500	9.1	16.0
151	2 920	187	4.39	1.91	15 600	788	10.2	374	1 200	410	12 900	8.7	16.0
137	2 600	167	4.34	1.75	14 100	716	10.1	331	1 080	315	9 750	8.4	16.0
125	2 410	157	4.39	1.67	11 400	610	9.55	305	926	255	7 140	7.6	16.0

Designación (d x peso) (mm x kg/m)	Designación (d x peso) (in x lb/ft)	d (mm)	b_f (mm)	t_w (mm)	t_f (mm)	k (mm)
180 x 89.5	7 x 60	184	373	15.0	23.9	39.1
180 x 81	7 x 54.5	182	371	13.3	21.8	37.1
180 x 73.5	7 x 49.5	180	371	12.3	19.8	35.1
180 x 67	7 x 45	178	368	11.2	18.0	33.3
180 x 61	7 x 41	182	257	13.0	21.7	36.8
180 x 55	7 x 37	180	257	11.4	19.9	35.1
180 x 50.5	7 x 34	178	254	10.5	18.3	33.3
180 x 45.5	7 x 30.5	177	254	9.5	16.4	31.5
180 x 39.5	7 x 26.5	177	205	9.4	16.8	31.8
180 x 36	7 x 24	175	204	8.6	15.1	30.2
180 x 32	7 x 21.5	173	203	7.8	13.5	28.4
180 x 28.9	7 x 19	179	172	7.9	13.1	23.2
180 x 25.5	7 x 17	178	171	7.2	11.6	21.7
180 x 22	7 x 15	176	171	6.9	9.8	19.9
180 x 19.5	7 x 13	177	128	6.5	10.7	20.8
180 x 16.45	7 x 11	174	127	5.8	8.5	18.7
155 x 250	6 x 168	214	340	45.2	75.2	90.2
155 x 227	6 x 152.5	207	335	41.4	68.8	83.8
155 x 207.5	6 x 139.5	201	333	38.9	62.7	78.0
155 x 187.5	6 x 126	196	330	35.6	57.2	72.4
155 x 171	6 x 115	191	328	32.8	52.6	67.8
155 x 156.5	6 x 105	187	325	30.0	48.3	63.5
155 x 141.5	6 x 95	183	323	26.9	44.2	59.2
155 x 126.5	6 x 85	178	320	24.4	39.6	54.9
155 x 113	6 x 76	174	318	22.1	35.6	50.8
155 x 101	6 x 68	170	315	20.1	31.8	47.0
155 x 89.5	6 x 60	167	312	18.0	28.2	43.2
155 x 79	6 x 53	164	310	15.5	25.1	40.4
155 x 71.5	6 x 48	162	310	14.0	22.9	38.1
155 x 64.5	6 x 43.5	159	307	13.1	20.6	35.8
155 x 58.5	6 X 39.5	157	307	11.9	18.7	33.8
155 x 53.5	6 x 36	156	305	10.9	17.0	32.3
155 x 48.5	6 x 32.5	154	305	9.9	15.4	30.5
155 x 43	6 x 29	155	254	9.1	16.3	31.5
155 x 39.5	6 x 26.5	153	254	8.8	14.6	29.7
155 x 37	6 x 25	155	205	9.4	16.3	29.0
155 x 33.5	6 x 22.5	153	204	8.5	14.6	27.4
155 x 30	6 x 20	152	203	7.5	13.1	25.9
155 x 26	6 x 17.5	159	167	7.6	13.2	20.8
155 x 22.25	6 x 15	157	166	6.6	11.2	18.8
155 x 19.35	6 x 13	155	165	5.8	9.7	17.3
155 x 16.35	6 x 11	156	102	6.6	10.8	18.4
155 x 14.15	6 x 9.5	154	102	6.0	8.9	16.5
155 x 11.9	6 x 8	152	101	5.6	6.7	14.4
155 x 10.5	6 x 7	151	101	5.1	5.7	13.3
125 x 83.5	5 x 56	144	264	19.2	31.8	44.5
125 x 74.5	5 x 50	141	262	17.3	28.4	41.1

A (cm²)	I_x (cm⁴)	S_x (cm³)	r_x (cm)	y_p (cm)	I_y (cm⁴)	S_y (cm³)	r_y (cm)	Z_x (cm³)	Z_y (cm³)	J (cm⁴)	C_w (cm⁶)	r_{ts} (cm)	h_o (cm)
114	2 150	141	4.34	1.53	10 300	552	9.5	270	839	194	5 370	7.3	16.0
103	1 890	124	4.27	1.39	9 280	501	9.47	236	759	148	4 030	7.0	16.0
94.2	1 700	113	4.24	1.27	8 370	452	9.42	211	685	112	2 980	6.6	16.0
85.2	1 520	101	4.22	1.16	7 530	410	9.4	188	619	85	2 230	6.4	16.0
77.4	1 710	117	4.7	1.51	3 080	239	6.3	216	367	105	1 510	4.3	16.0
70.3	1 500	102	4.62	1.37	2 780	218	6.3	188	331	80	1 130	4.2	16.0
64.5	1 360	93	4.6	1.26	2 530	198	6.25	170	302	62	862	4.0	16.0
57.8	1 200	83	4.57	1.14	2 240	175	6.22	150	269	45	615	3.8	16.1
50.3	1 150	81	4.78	1.23	1 200	117	4.88	145	180	40	392	2.9	16.0
45.6	1 040	74	4.78	1.12	1 070	105	4.85	131	161	30	287	2.7	16.0
40.7	912	65	4.72	1	941	93	4.8	116	142	22	202	2.6	16.0
36	970	69	5.18	1.05	554	65	3.94	122	100	17	149	2.0	16.6
32.3	870	63	5.18	0.942	483	57	3.89	110	87	12	107	1.9	16.6
28.5	791	58	5.26	0.836	407	48	3.78	102	74	8	77	1.7	16.6
24.8	720	54	5.38	0.973	185	29	2.74	97	45	7	56	1.4	16.6
21	616	48	5.44	0.826	146	23	2.64	85	36	4	36	1.2	16.5
319	7 910	511	4.98	4.67	24 700	1 450	8.81	1 120	2 250	4 990	129 000	10.5	13.9
289	6 740	442	4.83	4.29	21 900	1 300	8.69	968	2 000	3 830	95 600	10.2	13.8
265	5 870	395	4.72	3.96	19 500	1 170	8.59	850	1 800	2 950	71 700	9.7	13.8
239	5 040	342	4.6	3.61	17 200	1 040	8.48	734	1 600	2 230	52 400	9.4	13.9
219	4 410	303	4.5	3.33	15 400	942	8.41	646	1 450	1 730	39 700	9.0	13.8
199	3 830	269	4.39	3.07	13 800	850	8.33	565	1 310	1 340	30 100	8.7	13.9
180	3 290	233	4.27	2.79	12 300	762	8.26	488	1 170	1 010	22 000	8.4	13.9
161	2 820	202	4.19	2.52	10 800	675	8.18	420	1 030	737	15 700	8.0	13.8
145	2 430	177	4.11	2.28	9 450	596	8.1	361	911	533	11 100	7.6	13.8
129	2 110	155	4.04	2.04	8 280	526	8.03	311	801	383	7 760	7.2	13.8
114	1 810	135	3.99	1.82	7 160	459	7.95	265	700	267	5 290	6.8	13.9
101	1 510	113	3.89	1.62	6 290	405	7.9	223	615	189	3 650	6.5	13.9
91	1 330	100	3.84	1.47	5 620	364	7.85	195	552	142	2 710	6.2	13.9
82.6	1 200	92	3.81	1.34	4 990	326	7.8	175	495	106	1 970	5.8	13.8
74.8	1 070	82	3.78	1.22	4 500	293	7.75	156	444	80	1 460	5.6	13.8
68.4	966	74	3.76	1.12	4 060	265	7.72	139	403	61	1 090	5.3	13.9
61.5	857	67	3.73	1.01	3 630	238	7.67	123	361	45	798	5.1	13.9
55	795	62	3.81	1.08	2 230	175	6.38	114	265	44	559	4.3	13.9
50.2	737	58	3.84	0.988	1 990	157	6.3	106	238	33	411	3.9	13.8
47.1	778	62	4.06	1.15	1 170	114	4.98	113	174	36	330	3.2	13.9
42.3	691	56	4.04	1.04	1 040	102	4.95	100	155	26	238	3.0	13.8
37.7	599	48	3.99	0.927	916	90	4.93	87	137	19	166	2.8	13.9
33.4	666	53	4.47	1	508	61	3.91	94	94	15	117	2.1	14.6
28.4	562	45	4.45	0.856	425	51	3.86	79	78	9	72	2.0	14.6
24.6	487	39	4.45	0.749	360	44	3.84	69	67	6	47	1.8	14.5
20.9	487	42	4.83	1.02	97	19	2.15	76	30	6	37	1.2	14.5
18	420	37	4.83	0.884	78	15	2.09	67	24	4	25	1.1	14.5
15.2	362	33	4.88	1.62	59	12	1.96	61	19	2	18	1.0	14.5
13.4	319	30	4.88	1.93	49	10	1.91	54	16	1	13	0.9	14.5
106	1 190	105	3.35	2.01	4 910	370	6.78	220	567	312	4 540	6.7	11.2
94.8	1 020	91	3.28	1.81	4 290	328	6.73	187	500	225	3 200	6.4	11.3

Designación (d x peso) (mm x kg/m)	Designación (d x peso) (in x lb/ft)	d (mm)	b_f (mm)	t_w (mm)	t_f (mm)	k (mm)
125 x 65.5	5 x 44	138	262	15.4	25.1	37.8
125 x 57.5	5 x 38.5	135	259	13.5	22.1	34.8
125 x 50.5	5 x 34	132	257	11.9	19.6	32.3
125 x 44.5	5 x 30	130	257	10.7	17.3	30.0
125 x 40	5 x 27	128	254	9.4	156	28.4
125 x 36.5	5 x 24.5	127	254	8.6	14.2	26.9
125 x 33.5	5 x 22.5	128	204	8.9	15.7	28.4
125 x 29	5 x 19.5	126	203	8.0	13.5	26.2
125 x 24.55	5 x 16.5	124	202	7.4	11.0	23.7
125 x 22.4	5 x 15	133	148	7.6	13.0	20.6
125 x 19.25	5 x 13	131	147	6.6	11.2	18.8
125 x 16.35	5 x 11	129	146	6.1	9.1	16.8
125 x 14.2	5 x 9.5	130	102	6.4	10.0	17.7
125 x 12.65	5 x 8.5	129	102	6.1	8.4	16.0
125 x 11.15	5 x 7.5	127	102	5.8	6.9	14.5
125 x 8.95	5 x 6	125	101	4.8	5.3	13.0
100 x 50	4 x 33.5	114	210	14.5	23.7	33.8
100 x 43	4 x 29	111	209	13.0	20.6	30.5
100 x 35.5	4 x 24	108	206	10.2	17.4	27.4
100 x 29.5	4 x 20	105	205	9.1	14.2	24.2
100 x 26	4 x 17.5	103	204	7.9	12.6	22.6
100 x 23.05	4 x 15.5	102	203	7.2	11.0	21.1
100 x 20.85	4 x 14	102	166	7.2	11.8	21.8
100 x 17.95	4 x 12	101	165	6.2	10.2	20.2
100 x 15.65	4 x 10.5	105	134	6.4	10.2	17.8
100 x 13.3	4 x 9	103	133	5.8	8.4	16.0
100 x 11.25	4 x 7.5	103	102	6.2	8.0	15.6
100 x 9.65	4 x 6.5	102	102	5.8	6.5	14.1
100 x 7.5	4 x 5	100	100	4.3	5.2	12.8
75 x 18.55	3 x 12.5	81	154	8.1	11.6	17.9
75 x 14.9	3 x 10	78.7	153	6.6	9.3	16.9
75 x 11.25	3 x 7.5	76.2	152	5.8	6.6	14.2
75 x 12	3 x 8	79.8	102	6.6	10.3	16.6
75 x 9	3 x 6	76.7	102	5.8	7.1	13.5
75 x 6.75	3 x 4.5	74.9	100	4.3	5.5	11.8
75 x 6.5	3 x 4.25	74.2	100	4.3	5.0	11.3
65 x 14.05	2.5 x 9.5	65.5	128	6.9	10.9	18.5
65 x 11.9	2.5 x 8	63.8	127	6.1	9.1	16.8
50 x 9.65	2 x 6.5	52.8	103	7.1	8.8	15.1

A (cm²)	I_x (cm⁴)	S_x (cm³)	r_x (cm)	y_p (cm)	I_y (cm⁴)	S_y (cm³)	r_y (cm)	Z_x (cm³)	Z_y (cm³)	J (cm⁴)	C_w (cm⁶)	r_{ts} (cm)	h_o (cm)
83.2	866	78	3.23	1.6	3 720	285	6.68	158	434	156	2 150	6.0	11.3
72.9	724	66	3.15	1.41	3 200	247	6.6	132	375	106	1 430	5.7	11.3
64.5	620	57	3.1	1.25	2 780	216	6.55	112	328	74	972	5.4	11.2
56.9	537	50	3.07	1.11	2 420	188	6.53	96	287	51	661	5.0	11.3
51	462	43	3.02	1	2 150	169	6.5	83	256	38	478	4.8	11.2
46.5	416	39	3	0.917	1 940	153	6.45	74	231	29	357	4.6	11.3
42.8	425	41	3.15	1.05	1 110	109	5.11	76	166	31	263	3.7	11.2
37	368	35	3.15	0.912	937	92	5.03	65	140	20	165	3.3	11.3
31.3	321	32	3.2	0.775	762	75	4.93	57	115	12	96	2.9	11.3
28.5	386	37	3.68	0.965	348	47	3.48	66	72	13	73	2.1	12.0
24.6	327	31	3.66	0.838	293	40	3.45	56	62	8	47	1.9	12.0
20.9	286	28	3.71	0.716	238	33	3.38	50	50	5	29	1.7	12.0
18.1	278	29	3.91	0.886	90	18	2.22	51	27	5	21	1.2	12.0
16.1	252	27	3.96	0.79	74	15	2.14	48	23	3	16	1.1	12.1
14.3	227	25	3.99	0.775	60	12	2.06	44	19	2	13	1.1	12.0
11.4	181	20	3.99	0.818	45	9	1.99	36	14	1	7	0.9	12.0
63.5	454	50	2.67	1.51	1 840	175	5.38	103	267	104	956	5.2	9.0
55.1	380	43	2.62	1.32	1 560	150	5.33	86	228	69	612	4.8	9.0
45.5	285	32	2.5	1.1	1 270	123	5.28	65	187	41	349	4.5	9.1
37.9	239	28	2.51	0.925	1 020	100	5.18	53	151	23	192	4.0	9.1
33.2	201	23	2.46	0.815	887	87	5.16	44	132	16	129	3.8	9.0
29.4	178	21	2.46	0.724	770	76	5.13	39	115	11	88	3.5	9.1
26.6	176	21	2.57	0.8	450	54	4.11	39	83	11	62	2.8	9.0
22.8	147	18	2.54	0.691	380	46	4.09	32	70	7	39	2.6	9.1
19.9	162	19	2.84	0.742	203	30	3.2	35	47	6	25	1.9	9.5
17	142	17	2.9	0.638	166	25	3.12	31	38	4	15	1.7	9.5
14.3	137	18	3.1	0.701	71	14	2.23	31	22	3	10	1.2	9.5
12.4	120	16	3.12	0.61	57	11	2.14	29	18	2	7	1.1	9.6
9.55	90	12	3.05	0.478	44	9	2.13	21	14	1	3	1.0	9.5
23.7	95	15	2	0.767	355	46	3.86	28	70	10	46	3.0	6.9
19	73	11	1.97	0.62	276	36	3.81	21	55	5	23	2.6	6.9
14.3	59	9	2.02	0.47	194	26	3.68	17	39	2	9	2.1	7.0
15.3	70	11	2.14	0.747	92	18	2.45	21	28	5	11	1.7	7.0
11.5	55	9	2.19	0.564	62	12	2.33	17	19	2	5	1.4	7.0
8.65	40	7	2.14	0.432	46	9	2.3	12	14	1	2	1.2	6.9
8.13	38	7	2.15	0.406	41	8	2.26	12	13	1	2	1.1	6.9
17.9	42	8	1.53	0.701	190	30	3.25	16	45	7	21	2.8	5.5
15.2	35	7	1.52	0.597	156	25	3.2	13	37	4	12	2.5	5.5
12.3	22	5	1.33	0.599	80	16	2.54	10	24	3	6	2.1	4.4

CAPITULO

VII

VII.8 MT

Designación (d x peso) (mm x kg/m)	Designación (d x peso) (in x lb/ft)	d (mm)	b_f (mm)	t_w (mm)	t_f (mm)	k (mm)
159 x 9.70	6.25 x 6.2	159	95.3	3.94	5.79	14.3
159 x 8.65	6.25 x 5.9	159	88.9	3.94	5.36	14.3
155 x 8.8	6 x 5.9	152	78.0	4.50	5.72	14.3
155 x 8.05	6 x 5.4	152	78.0	4.06	5.33	14.3
155 x 7.45	6 x 5	152	82.6	3.78	4.57	12.7
125 x 6.7	5 x 4.5	127	68.3	3.99	5.23	14.3
125 x 5.95	5 x 4	126	68.3	3.58	4.62	14.3
125 x 5.6	5 x 3.75	127	68.3	3.30	4.39	11.1
100 x 4.85	4 x 3.25	102	57.9	3.43	4.80	14.3
100 x 4.6	4 x 3.1	102	57.9	3.28	4.50	11.1
75 x 3.3	3 x 2.2	76.2	46.7	2.90	4.34	9.5
75 x 2.75	3 x 1.85	75.2	50.8	2.49	3.28	8.0
65 x 14.05	2.5 x 9.45	63.5	127.0	8.03	10.60	20.7
50 x 4.45	2 x 3	48.3	96.5	3.30	4.06	12.7

A (cm²)	I_x (cm⁴)	S_x (cm³)	r_x (cm)	y_p (cm)	I_y (cm⁴)	S_y (cm³)	r_y (cm)	Z_x (cm³)	Z_y (cm³)	J (cm⁴)	C_w (cm⁶)	r_{ts} (cm)	h_o (cm)
11.6	303	26.4	5.1	0.95	41.6	8.78	1.9	47.9	13.7	1.0	7.63	0.8	15.3
10.9	289	25.7	5.2	2.05	31.5	7.08	1.7	46.9	11.2	0.86	7.20	08	15.4
11.1	275	26.4	5.0	2.87	22.6	5.80	1.4	47.4	9.42	1.0	9.05	0.7	14.6
10.2	251	23.9	5.0	2.67	21.1	5.41	1.4	43.1	8.72	0.82	6.71	0.7	14.7
9.42	234	22.3	5.0	2.74	21.5	5.21	1.5	40.1	8.34	0.60	5.42	0.7	14.7
8.52	144	16.4	4.1	2.05	14	4.10	1.3	29.7	6.60	0.65	3.71	0.7	12.2
7.55	128	14.7	4.1	2.05	12.3	3.61	1.3	26.4	5.80	0.47	2.66	0.6	12.1
7.1	121	13.7	4.1	1.93	11.7	3.42	1.3	24.7	5.47	0.39	2.13	0.6	12.3
6.15	65	9.14	3.3	1.20	7.83	2.70	1.1	16.6	4.33	0.38	1.24	0.6	9.7
5.83	62	8.73	3.3	1.26	7.33	2.52	1.1	15.8	4.05	0.32	1.08	0.6	9.8
4.15	24	4.39	2.4	0.48	3.73	1.59	0.95	7.91	2.54	0.21	0.33	0.5	7.2
3.48	20	3.70	2.4	0.44	3.59	1.41	1.0	6.70	2.23	0.11	0.20	0.5	7.2
17.8	44	8.65	1.6	0.70	181	28.5	3.2	16.9	43.6	6.5	19.70	2.6	5.3
5.52	9	2.18	1.3	0.28	30.5	6.31	2.4	3.95	9.64	0.38	0.52	1.4	4.4

CAPITULO

VII

VII.9 ST (TE)

Designación (d x peso) (mm x kg/m)	Designación (d x peso) (in x lb/ft)	d (mm)	b_f (mm)	t_w (mm)	t_f (mm)	k (mm)
305 x 90	12 x 60.5	312	204	20.3	27.7	50.8
305 x 79	12 x 53	312	200	15.7	27.7	50.8
305 x 74.5	12 x 50	305	184	18.9	22.1	44.5
305 x 67	12 x 45	305	181	15.9	22.1	44.5
305 x 59.5	12 x 40	305	178	12.7	22.1	44.5
255 x 71.5	10 x 48	259	183	20.3	23.4	44.5
255 x 64	10 x 43	259	179	16.8	23.4	44.5
255 x 56	10 x 37.5	254	162	16.1	20.2	41.4
255 x 49.1	10 x 33	254	159	12.8	20.2	41.4
230 x 52	9 x 35	229	159	18.1	17.6	38.1
230 x 40.7	9 x 27.35	229	152	11.7	17.6	38.1
190 x 37	7.5 x 25	191	143	14.0	15.8	35.1
190 x 32	7.5 x 21.45	191	140	10.4	15.8	35.1
155 x 37	6 x 25	152	139	17.4	16.7	36.6
155 x 30.35	6 x 20.4	152	133	11.7	16.7	36.6
155 x 26	6 x 17.5	152	129	10.9	13.8	30.2
155 x 23.65	6 x 15.9	152	127	8.9	13.8	30.2
125 x 26	5 x 17.5	127	125	15.1	12.5	28.7
125 x 18.9	5 x 12.7	127	118	7.9	12.5	28.7
100 x 17	4 x 11.5	102	106	11.2	10.8	25.4
100 x 13.7	4 x 9.2	102	102	6.9	10.8	25.4
75 x 12.85	3 x 8.6	76.2	90.7	11.8	9.1	20.7
75 x 9.3	3 x 6.25	76.2	84.6	5.9	9.1	20.7
65 x 7.5	2.5 x 5	63.5	76.2	5.4	8.3	19.1
50 x 7.05	2 x 4.75	50.8	71.1	8.3	7.4	19.1
50 x 5.75	2 x 3.85	50.8	67.6	4.9	7.4	19.1
37.5 x 5.6	1.5 x 3.75	38.1	63.8	8.9	6.6	15.9
37.5 x 4.25	1.5 x 2.85	38.1	59.2	4.3	6.6	15.9

A (cm²)	I_x (cm⁴)	S_x (cm³)	r_x (cm)	y_p (cm)	I_y (cm⁴)	S_y (cm³)	r_y (cm)	Z_x (cm³)	Z_y (cm³)	J (cm⁴)	C_w (cm⁶)	r_{ts} (cm)	h_o (cm)
115	10 800	493	9.7	3.2	1 730	169	3.89	893	297	266	7 380	2.7	28.4
101	8 990	395	9.45	2.6	1 600	160	3.99	710	274	210	4 030	2.5	28.4
94.8	8 950	431	9.73	5.5	986	107	3.23	778	197	157	5 240	2.3	28.3
85.2	7 910	370	9.63	3.6	928	103	3.3	674	184	125	3 250	2.2	28.3
75.5	6 740	305	9.45	2.3	874	98.3	3.4	551	170	102	1 860	2.0	28.3
91	5 950	333	8.08	3.4	1 040	114	3.38	605	205	173	4 030	2.5	23.6
81.9	5 160	282	7.95	2.5	970	108	3.45	510	190	137	2 460	2.3	23.6
71	4 540	259	8	3.4	616	75.7	2.95	469	137	94.9	1 940	2.1	23.4
62.5	3 870	211	7.87	2.1	570	71.9	3.02	383	126	74.1	1 080	1.9	23.4
66.5	3 520	229	7.29	4.5	499	62.9	2.74	411	117	84.1	1 890	2.1	21.1
51.7	2 590	157	7.09	1.9	433	56.5	2.9	283	99.3	48.3	607	1.8	21.1
47.4	1 690	127	5.97	2.1	324	45.2	2.62	229	81.8	43.7	542	1.8	17.5
40.6	1 370	98.2	5.82	1.5	297	42.4	2.69	177	74.4	31.8	267	1.7	17.5
47.2	1 040	99	4.7	1.9	324	46.5	2.62	180	84.6	56.6	529	2.0	13.5
38.5	787	70	4.52	1.5	281	42.1	2.69	126	72.6	35	211	1.9	13.5
33	716	64.7	4.65	1.4	205	31.8	2.49	117	55.7	21.8	149	1.6	13.8
30	616	54.1	4.52	1.2	194	30.6	2.54	97.3	52.8	18.2	97.7	1.6	13.8
33.2	520	59.3	3.96	1.7	173	27.5	2.28	108	50.8	26.3	195	1.8	11.5
24.1	324	33.6	3.68	1.0	140	23.6	2.41	60.6	40.8	12.5	46.5	1.5	11.5
21.8	208	28.8	3.1	1.1	89	16.7	2.02	52.3	30.2	11.3	45.1	1.5	9.1
17.4	145	18.7	2.9	0.9	77	15.1	2.1	33.9	26.1	7.0	17.2	1.4	9.1
16.3	88	16.7	2.32	1.0	48	10.5	1.71	30.3	19.2	7.5	20.7	1.4	6.7
11.8	52	8.96	2.11	0.7	38	8.87	1.78	16.6	15.2	3.5	5.29	1.3	6.7
9.48	28	5.7	1.72	0.6	25	6.52	1.62	10.7	11.2	2.4	2.69	1.2	5.5
8.97	19	5.23	1.46	0.6	19	5.19	1.43	9.70	9.26	2.5	2.67	1.2	4.3
7.29	13	3.24	1.33	0.5	16	4.6	1.46	6.24	7.95	1.5	1.23	1.2	4.3
7.1	8	3.06	1.08	0.6	12	3.77	1.3	5.75	6.74	1.8	1.33	1.1	3.2
5.35	5	1.59	0.94	0.4	9	3.15	1.32	3.21	5.37	0.90	0.508	1.2	3.2

CAPITULO

VII

VII.10 TUBOS CUADRADOS Y RECTANGULARES (HSS)

Designación (tamaños x espesor) (mm x mm x mm)	Designación (tamaños x espesor) (in x in x in)	W (kg/m)	A (cm^2)	t (mm)	I_x (cm^4)	S_x (cm^3)	r_x (cm)	I_y (cm^4)	S_y (cm^3)	r_y (cm)	Z_x (cm^3)	Z_y (cm^3)	J (cm^4)
508 x 304.8 x 15.9	20 x 12 x 5/8	280	226	14.8	78 300	3 080	18.6	35 400	2 330	12.5	3 770	2 650	78 700
508 x 304.8 x 12.7	20 x 12 x 1/2	227	183	11.8	64 500	2 540	18.8	29 300	1 920	12.7	3 080	2 160	64 100
508 x 304.8 x 9.5	20 x 12 x 3/8	173	139	8.86	49 900	1 970	18.9	22 800	1 490	12.8	2 360	1 670	49 100
508 x 304.8 x 7.9	20 x 12 x 5/16	145	117	7.39	42 000	1 660	19	19 300	1 270	12.9	2 000	1 410	41 500
508 x 203.2 x 15.9	20 x 8 x 5/8	243	195	14.8	59 900	2 360	17.5	14 100	1 390	8.48	3 030	1 580	38 100
508 x 203.2 x 12.7	20 x 8 x 1/2	197	159	11.8	49 500	1 950	17.7	11 800	1 160	8.61	2 490	1 300	31 500
508 x 203.2 x 9.5	20 x 8 x 3/8	151	121	8.86	38 500	1 520	17.9	9 240	911	8.74	1 920	1 010	24 400
508 x 203.2 x 7.9	20 x 8 x 5/16	126	101	7.39	32 700	1 290	18	7 870	777	8.81	1 620	852	20 600
508 x 101.6 x 12.7	20 x 4 x 1/2	167	135	11.8	34 900	1 370	16.1	2 440	480	4.27	1 880	557	8 120
508 x 101.6 x 9.5	20 x 4 x 3/8	128	103	8.86	27 300	1 080	16.3	1 980	390	4.39	1 460	439	6 490
508 x 101.6 x 7.9	20 x 4 x 5/16	108	86.5	7.39	23 300	918	16.4	1 710	338	4.45	1 240	375	5 580
508 x 101.6 x 6.4	20 x 4 x 1/4	87	69.7	5.92	19 100	751	16.5	1 430	280	4.52	1 010	306	4 620
457.2 x 152.4 x 15.9	18 x 6 x 5/8	205	166	14.8	38 400	1 690	15.2	6 580	864	6.3	2 210	1 000	19 200
457.2 x 152.4 x 12.7	18 x 6 x 1/2	167	135	11.8	32 100	1 400	15.4	5 580	731	6.43	1 840	831	16 100
457.2 x 152.4 x 9.5	18 x 6 x 3/8	128	103	8.86	25 100	1 100	15.6	4 410	582	6.55	1 420	647	12 600
457.2 x 152.4 x 7.9	18 x 6 x 5/16	108	86.5	7.39	21 400	934	15.7	3 800	498	6.63	1 200	549	10 700
457.2 x 152.4 x 6.4	18 x 6 x 1/4	87	69.7	5.92	17 400	762	15.8	3 130	410	6.68	973	447	8 740
406.4 x 406.4 x 15.9	16 x 16 x 5/8	280	226	14.8	57 000	2 800	15.9	0	0	0	3 280	0	90 300
406.4 x 406.4 x 12.7	16 x 16 x 1/2	227	183	11.8	47 000	2 310	16	0	0	0	2 690	0	73 700
406.4 x 406.4 x 9.5	16 x 16 x 3/8	173	139	8.86	36 300	1 790	16.2	0	0	0	2 060	0	56 200
406.4 x 406.4 x 7.9	16 x 16 x 5/16	145	117	7.39	30 800	1 510	16.2	0	0	0	1 740	0	47 500
406.4 x 304.8 x 15.9	16 x 12 x 5/8	243	195	14.8	45.400	2 230	15.2	29 100	1 920	12.2	2 700	2 210	57 000
406.4 x 304.8 x 12.7	16 x 12 x 1/2	197	159	11.8	37.600	1 850	15.4	24 200	1 590	12.3	2 210	1 820	46 600
406.4 x 304.8 x 9.5	16 x 12 x 3/8	151	121	8.86	29.200	1 440	15.5	18 800	1 230	12.5	1 700	1 400	35 900
406.4 x 304.8 x 7.9	16 x 12 x 5/16	127	101	7.39	24.800	1 220	15.6	16 000	1 050	12.5	1 440	1 180	30 300
406.4 x 203.2 x 15.9	16 x 8 x 5/8	205	166	14.8	33.900	1 670	14.3	11 400	1 120	8.31	2 110	1 300	28 300
406.4 x 203.2 x 12.7	16 x 8 x 1/2	167	135	11.8	28.300	1 390	14.5	9 570	944	8.43	1 740	1 070	23 400
406.4 x 203.2 x 9.5	16 x 8 x 3/8	128	103	8.86	22.100	1 090	14.7	7 530	742	8.56	1 350	832	18 100
406.4 x 203.2 x 7.9	16 x 8 x 5/16	108	86.5	7.39	18.800	924	14.7	6 450	634	8.64	1 140	705	15 400
406.4 x 203.2 x 6.4	16 x 8 x 1/4	87	69.7	5.92	15.300	755	14.8	5 290	519	8.69	924	574	12 500
406.4 x 101.6 x 15.9	16 x 4 x 5/8	168	135	14.8	22.400	1 100	12.9	2 250	442	4.06	1 520	533	7 240
406.4 x 101.6 x 12.7	16 x 4 x 1/2	137	111	11.8	18.900	932	13.1	1 960	385	4.19	1 270	449	6 240
406.4 x 101.6 x 9.5	16 x 4 x 3/8	106	85.2	8.86	15.000	737	13.3	1 590	313	4.34	987	356	4 990
406.4 x 101.6 x 7.9	16 x 4 x 5/16	89	71.6	7.39	12.800	631	13.4	1 380	272	4.39	837	303	4 290
406.4 x 101.6 x 6.4	16 x 4 x 1/4	72	57.8	5.92	10.500	518	13.5	1 150	226	4.47	683	249	3 550
406.4 x 101.6 x 4.8	16 x 4 x 3/16	54,4	43.6	4.42	8.030	397	13.6	895	177	4.52	519	192	2 730
355.6 x 355.6 x 15.9	14 x 14 x 5/8	243	195	14.8	37 300	2 100	13.8	0	0	0	2 470	0	59 500
355.6 x 355.6 x 12.7	14 x 14 x 1/2	197	159	11.8	30 900	1 740	13.9	0	0	0	2 030	0	48 700
355.6 x 355.6 x 9.5	14 x 14 x 3/8	150	121	8.86	24 000	1 350	14.1	0	0	0	1 560	0	37 500
355.6 x 355.6 x 7.9	14 x 14 x 5/16	126	101	7.39	20 400	1 150	14.2	0	0	0	1 320	0	31 600
355.6 x 254 x 15.9	14 x 10 x 5/8	205	166	14.8	28 600	1 610	13.1	16 900	1 340	10.1	1 970	1 560	34 600
355.6 x 254 x 12.7	14 x 10 x 1/2	167	135	11.8	23 900	1 340	13.3	14 200	1 120	10.3	1 620	1 290	28 500
355.6 x 254 x 9.5	14 x 10 x 3/8	128	103	8.86	18 600	1 050	13.4	11 100	875	10.4	1 250	995	22 000
355.6 x 254 x 7.9	14 x 10 x 5/16	108	86.5	7.39	15 800	890	13.5	9 450	746	10.5	1 060	842	18 600
355.6 x 254 x 6.4	14 x 10 x 1/4	87	69.7	5.92	12 900	726	13.6	7 740	610	10.5	859	685	15 100
355.6 x 152.4 x 15.9	14 x 6 x 5/8	168	135	14.8	19 900	1 120	12.1	5 160	675	6.17	1 450	793	13 900
355.6 x 152.4 x 12.7	14 x 6 x 1/2	137	111	11.8	16 700	941	12.3	4 370	575	6.3	1 210	662	11 600

Designación (tamaños x espesor) (mm x mm x mm)	Designación (tamaños x espesor) (in x in x in)	W (kg/m)	A (cm^2)	t (mm)	I_x (cm^4)	S_x (cm^3)	r_x (cm)	I_y (cm^4)	S_y (cm^3)	r_y (cm)	Z_x (cm^3)	Z_y (cm^3)	J (cm^4)
355.6 x 152.4 x 9.5	14 x 6 x 3/8	106	85.2	8.86	13 200	742	12.5	3 500	459	6.43	939	518	9 120
355.6 x 152.4 x 7.9	14 x 6 x 5/16	89	71.6	7.39	11 300	634	12.5	3 010	395	6.48	796	441	7 740
355.6 x 152.4 x 6.4	14 x 6 x 1/4	72	57.8	5.92	9 240	519	12.6	2 480	326	6.55	649	361	6 330
355.6 x 152.4 x 4.8	14 x 6 x 3/16	54,4	43.6	4.42	7 080	398	12.7	1 910	251	6.63	493	274	4 830
355.6 x 101.6 x 15.9	14 x 4 x 5/8	149	121	14.8	15 500	873	11.4	1 960	387	4.04	1 200	467	6 160
355.6 x 101.6 x 12.7	14 x 4 x 1/2	122	98.7	11.8	13 200	742	11.6	1 710	338	4.17	1 000	395	5 290
355.6 x 101.6 x 9.5	14 x 4 x 3/8	94,2	76.1	8.86	10 500	590	11.8	1 400	275	4.29	783	313	4 250
355.6 x 101.6 x 7.9	14 x 4 x 5/16	79,6	64	7.39	8 990	506	11.9	1 220	239	4.37	665	269	3 650
355.6 x 101.6 x 6.4	14 x 4 x 1/4	64,5	51.8	5.92	7 410	416	12	1 020	200	4.42	544	221	3 010
355.6 x 101.6 x 4.8	14 x 4 x 3/16	48,8	39.1	4.42	5 700	320	12	791	155	4.5	415	169	2 320
304.8 x 304.8 x 15.9	12 x 12 x 5/8	205	166	14.8	22 800	1 500	11.7	0	0	0	1 790	0	36 800
304.8 x 304.8 x 12.7	12 x 12 x 1/2	167	135	11.8	19 000	1 250	11.9	0	0	0	1 470	0	30 300
304.8 x 304.8 x 9.5	12 x 12 x 3/8	128	103	8.86	14 900	975	12	0	0	0	1 130	0	23 400
304.8 x 304.8 x 7.9	12 x 12 x 5/16	108	86.5	7.39	12 700	831	12.1	0	0	0	960	0	19 700
304.8 x 304.8 x 6.4	12 x 12 x 1/4	86.9	69.7	5.92	10 300	678	12.2	0	0	0	780	0	16 000
304.8 x 304.8 x 4.8	12 x 12 x 3/16	65.7	52.6	4.42	7 870	516	12.2	0	0	0	590	0	12 100
304.8 x 254 x 12.7	12 x 10 x 1/2	152	123	11.8	16 400	1 080	11.6	12 400	978	10.1	1 290	1 140	22 700
304.8 x 254 x 9.5	12 x 10 x 3/8	117	94.2	8.86	12 900	846	11.7	9 740	769	10.2	1 000	885	17 500
304.8 x 254 x 7.9	12 x 10 x 5/16	98.4	78.7	7.39	11 000	721	11.8	8 320	655	10.3	847	749	14 800
304.8 x 254 x 6.4	12 x 10 x 1/4	79.4	63.9	5.92	8 990	590	11.9	6 830	536	10.3	690	610	12 000
304.8 x 203.2 x 15.9	12 x 8 x 5/8	168	135	14.8	16 500	1 080	11	8 740	860	8.03	1 350	1 010	18 900
304.8 x 203.2 x 12.7	12 x 8 x 1/2	137	111	11.8	13 900	911	11.2	7 410	728	8.15	1 120	844	15 700
304.8 x 203.2 x 9.5	12 x 8 x 3/8	105	85.2	8.86	10 900	716	11.4	5 830	575	8.31	869	657	12 200
304.8 x 203.2 x 7.9	12 x 8 x 5/16	89	71.6	7.39	9 320	613	11.4	4 990	493	8.36	736	559	10 300
304.8 x 203.2 x 6.4	12 x 8 x 1/4	71.9	57.8	5.92	7 660	501	11.5	4 110	405	8.43	600	456	8 410
304.8 x 203.2 x 4.8	12 x 8 x 3/16	54.6	43.6	4.42	5 830	383	11.6	3 150	310	8.51	456	346	6 370
304.8 x 152.4 x 15.9	12 x 6 x 5/8	149	121	14.8	13 400	875	10.5	4.450	582	6.07	1 130	690	11 300
304.8 x 152.4 x 12.7	12 x 6 x 1/2	122	98.7	11.8	11 300	741	10.7	3.790	498	6.2	941	577	9 450
304.8 x 152.4 x 9.5	12 x 6 x 3/8	94.2	76.1	8.86	8 950	588	10.9	3.030	398	6.32	734	454	7 410
304.8 x 152.4 x 7.9	12 x 6 x 5/16	79.6	64	7.39	7 660	503	10.9	2.610	342	6.4	624	387	6 330
304.8 x 152.4 x 6.4	12 x 6 x 1/4	64.4	51.8	5.92	6 290	413	11	2.160	283	6.45	510	316	5 160
304.8 x 152.4 x 4.8	12 x 6 x 3/16	49	39.1	4.42	4 830	318	11.1	1.660	218	6.53	388	241	3 940
304.8 x 101.6 x 15.9	12 x 4 x 5/8	130	106	14.8	10 200	669	9.83	1.680	331	3.99	909	401	5 080
304.8 x 101.6 x 12.7	12 x 4 x 1/2	107	87.1	11.8	8 740	572	10	1.470	290	4.11	765	342	4 370
304.8 x 101.6 x 9.5	12 x 4 x 3/8	82.9	67.1	8.86	6 990	459	10.2	1.200	238	4.24	601	272	3 500
304.8 x 101.6 x 7.9	12 x 4 x 5/16	70.2	56.5	7.39	5 990	395	10.3	1.050	206	4.32	513	233	3 010
304.8 x 101.6 x 6.4	12 x 4 x 1/4	56.9	45.8	5.92	4 950	326	10.4	874	172	4.37	420	192	2 490
304.8 x 101.6 x 4.8	12 x 4 x 3/16	43.3	34.6	4.42	3 820	251	10.5	683	134	4.45	321	147	1 920
304.8 x 88.9 x 9.5	12 x 3-1/2 x 3/8	80.1	64.5	8.86	6 490	426	10	887	200	3.71	569	229	2 690
304.8 x 88.9 x 7.9	12 x 3-1/2 x 5/16	67.8	54.6	7.39	5 580	367	10.1	774	174	3.76	485	198	2 330
304.8 x 76.2 x 7.9	12 x 3 x 5/16	65.5	52.7	7.39	5 160	339	9.91	545	143	3.23	457	164	1 720
304.8 x 76.2 x 6.4	12 x 3 x 1/4	53.1	42.8	5.92	4 290	282	10	462	121	3.28	375	136	1 440
304.8 x 76.2 x 4.8	12 x 3 x 3/16	40.5	32.4	4.42	3 310	218	10.1	363	95	3.35	287	105	1 120
304.8 x 50.8 x 7.9	12 x 2 x 5/16	60.8	49	7.39	4 330	285	9.42	212	84	2.08	401	99	733
304.8 x 50.8 x 6.4	12 x 2 x 1/4	49.4	39.8	5.92	3 620	238	9.53	184	72	2.15	329	83	629
304.8 x 50.8 x 4.8	12 x 2 x 3/16	37.7	30.1	4.42	2 810	184	9.65	148	58	2.21	254	65	499
254 x 254 x 15.9	10 x 10 x 5/8	168	135	14.8	12 700	996	9.65	0	0	0	1 200	0	20 700

Designación (tamaños x espesor) (mm x mm x mm)	Designación (tamaños x espesor) (in x in x in)	W (kg/m)	A (cm^2)	t (mm)	I_x (cm^4)	S_x (cm^3)	r_x (cm)	I_y (cm^4)	S_y (cm^3)	r_y (cm)	Z_x (cm^3)	Z_y (cm^3)	J (cm^4)
254 x 254 x 12.7	10 x 10 x 1/2	137	111	11.8	10 700	839	9.8	0	0	0	995	0	17 100
254 x 254 x 9.5	10 x 10 x 3/8	105	85.2	8.86	8 410	662	10	0	0	0	773	0	13 300
254 x 254 x 7.9	10 x 10 x 5/16	88.8	71.6	7.39	7 160	565	10	0	0	0	657	0	11 300
254 x 254 x 6.4	10 x 10 x 1/4	71.9	57.8	5.92	5 870	464	10.1	0	0	0	536	0	9 160
254 x 254 x 4.8	10 x 10 X 3/16	54.5	43.6	4.42	4 500	354	10.2	0	0	0	406	0	6 950
254 x 203.2 x 15.9	10 x 8 x 5/8	149	121	14.8	10 500	828	9.35	7 410	729	7.85	1 020	873	14 400
254 x 203.2 x 12.7	10 x 8 x 1/2	122	98.7	11.8	8 910	700	9.47	6 290	619	7.98	850	729	12 000
254 x 203.2 x 9.5	10 x 8 x 3/8	94.2	76.1	8.86	7 030	556	9.63	4 990	492	8.1	664	570	9 320
254 x 203.2 x 7.9	10 x 8 x 5/16	79.6	64	7.39	6 040	475	9.7	4 290	421	8.18	564	485	7 910
254 x 203.2 x 6.4	10 x 8 x 1/4	64.4	51.8	5.92	4 950	390	9.78	3 530	347	8.26	460	397	6 450
254 x 203.2 x 4.8	10 x 8 x 3/16	49	39.1	4.42	3 800	300	9.86	2 710	267	8.33	351	302	4 910
254 x 152.4 x 15.9	10 x 6 x 5/8	130	106	14.8	8 370	659	8.89	3 720	488	5.94	841	587	8 700
254 x 152.4 x 12.7	10 x 6 x 1/2	107	87.1	11.8	7 120	562	9.07	3 200	420	6.07	705	493	7 330
254 x 152.4 x 9.5	10 x 6 x 3/8	82.9	67.1	8.86	5 700	449	9.22	2 570	338	6.2	554	388	5 790
254 x 152.4 x 7.9	10 x 6 x 5/16	70.2	56.5	7.39	4 910	385	9.3	2 220	292	6.27	472	331	4 910
254 x 152.4 x 6.4	10 x 6 x 1/4	56.9	45.8	5.92	4 030	318	9.37	1 840	241	6.32	387	272	4 020
254 x 152.4 x 4.8	10 x 6 x 3/16	43.3	34.6	4.42	3 110	244	9.47	1 420	187	6.4	295	208	3 070
254 x 127 x 9.5	10 x 5 x 3/8	77.3	62.4	8.86	4 990	395	8.97	1 690	265	5.21	498	306	4 160
254 x 127 x 7.9	10 x 5 x 5/16	65.5	52.7	7.39	4 330	341	9.04	1 470	231	5.26	426	262	3 580
254 x 127 x 6.4	10 x 5 x 1/4	53.1	42.8	5.92	3 570	282	9.14	1 220	192	5.33	349	216	2 940
254 x 127 x 4.8	10 x 5 x 3/16	40.5	32.4	4.42	2 760	216	9.22	945	149	5.41	267	166	2 250
254 x 101.6 x 15.9	10 x 4 x 5/8	112	90.3	14.8	6 200	490	8.28	1 390	275	3.91	660	338	3 980
254 x 101.6 x 12.7	10 x 4 x 1/2	92.4	74.8	11.8	5 370	423	8.48	1 230	241	4.04	559	288	3 440
254 x 101.6 x 9.5	10 x 4 x 3/8	71.7	57.9	8.86	4 330	341	8.66	1 010	198	4.17	442	229	2 770
254 x 101.6 x 7.9	10 x 4 x 5/16	60.8	49	7.39	3 750	295	8.74	882	174	4.24	379	198	2 390
254 x 101.6 x 6.4	10 x 4 x 1/4	49.4	39.8	5.92	3 110	244	8.84	737	145	4.32	311	164	1 970
254 x 101.6 x 4.8	10 x 4 x 3/16	37.7	30.1	4.42	2 410	190	8.94	579	114	4.37	239	126	1 520
254 x 101.6 x 3.2	10 x 4 x 1/8	25.5	20.4	2.95	1 660	131	9.02	402	79	4.45	163	86	1 040
254 x 88.9 x 4.8	10 x 3-1/2 x 1/2	88.7	71.6	11.8	4 910	388	8.28	891	200	3.53	523	241	2 630
254 x 88.9 x 9.5	10 x 3-1/2 x 3/8	68.9	55.6	8.86	4 000	315	8.48	741	167	3.66	415	193	2 140
254 x 88.9 x 7.9	10 x 3-1/2 x 5/16	58.5	47.1	7.39	3 460	272	8.59	649	146	3.71	356	167	1 860
254 x 88.9 x 6.4	10 x 3-1/2 x 1/4	47.5	38.3	5.92	2 880	226	8.66	545	123	3.78	293	138	1 540
254 x 88.9 x 4.8	10 x 3-1/2 x 3/16	36.3	29	4.42	2 230	175	8.76	429	97	3.84	225	107	1 190
254 x 88.9 x 3.2	10 x 3-1/2 x 1/8	24.5	19.6	2.95	1 540	121	8.86	301	68	3.91	154	73	824
254 x 76.2 x 9.5	10 x 3 x 3/8	66	53.4	8.86	3 660	288	8.28	516	136	3.1	388	159	1 570
254 x 76.2 x 7.9	10 x 3 x 5/16	56.1	45.2	7.39	3 180	251	8.38	458	120	3.18	333	138	1 370
254 x 76.2 x 6.4	10 x 3 x 1/4	45.6	36.8	5.92	2 650	208	8.48	386	101	3.25	274	115	1 150
254 x 76.2 x 4.8	10 x 3 x 3/16	34.9	27.9	4.42	2 060	162	8.59	305	80	3.3	210	89	895
254 x 76.2 x 3.2	10 x 3 x 1/8	23.6	18.9	2.95	1 420	112	8.69	215	56	3.38	144	61	620
254 x 50.8 x 9.5	10 x 2 x 3/8	60.4	48.9	8.86	2 980	234	7.82	196	77	2	333	94	662
254 x 50.8 x 7.9	10 x 2 x 5/16	51.4	41.5	7.39	2 610	205	7.92	176	70	2.06	287	83	591
254 x 50.8 x 6.4	10 x 2 x 1/4	41.9	33.8	5.92	2 190	172	8.05	153	60	2.13	236	70	508
254 x 50.8 x 4.8	10 x 2 x 3/16	32.1	25.7	4.42	1 710	134	8.15	124	49	2.19	182	55	405
254 x 50.8 x 3.2	10 x 2 x 1/8	21.7	17.4	2.95	1 190	93	8.26	89	35	2.26	125	38	287
228.6 x 228.6 x 15.9	9 x 9 x 5/8	149	121	14.8	8 990	785	8.64	0	0	0	952	0	14 800
228.6 x 228.6 x 12.7	9 x 9 x 1/2	122	98.7	11.8	7 620	665	8.76	0	0	0	793	0	12 300
228.6 x 228.6 x 9.5	9 x 9 x 3/8	94.2	76.1	8.86	6 040	528	8.92	0	0	0	619	0	9 620

Designación (tamaños x espesor) (mm x mm x mm)	Designación (tamaños x espesor) (in x in x in)	W (kg/m)	A (cm^2)	t (mm)	I_x (cm^4)	S_x (cm^3)	r_x (cm)	I_y (cm^4)	S_y (cm^3)	r_y (cm)	Z_x (cm^3)	Z_y (cm^3)	J (cm^4)
228.6 x 228.6 x 7.9	9 x 9 x 5/16	79.5	64	7.39	5 160	452	8.99	0	0	0	526	0	8 160
228.6 x 228.6 x 6.4	9 x 9 x 1/4	64.4	51.8	5.92	4 250	372	9.04	0	0	0	429	0	6 620
228.6 x 228.6 x 74.8	9 x 9 x 3/16	48.9	39.1	4.42	3 250	285	9.12	0	0	0	328	0	5 040
228.6 x 228.6 x 3.2	9 x 9 x 1/8	33	26.4	2.95	2 230	195	9.19	0	0	0	223	0	3 410
228.6 x 177.8 x 15.9	9 x 7 x 5/8	130	106	14.8	7 240	634	8.28	4 870	549	6.81	791	664	9 780
228.6 x 177.8 x 12.7	9 x 7 x 1/2	107	87.1	11.8	6 200	541	8.43	4. 160	470	6.93	664	557	8 200
228.6 x 177.8 x 9.5	9 x 7 x 3/8	82.9	67.1	8.86	4 950	433	8.59	3 350	377	7.06	521	438	6 410
228.6 x 177.8 x 7.9	9 x 7 x 5/16	70.2	56.5	7.39	4 250	370	8.66	2 880	324	7.14	444	374	5 450
228.6 x 177.8 x 6.4	9 x 7 x 1/4	56.9	45.8	5.92	3 500	306	8.74	2 380	267	7.21	364	306	4 450
228.6 x 177.8 x 4.8	9 x 7 x 3/16	43.3	34.6	4.42	2 690	236	8.81	1 840	206	7.29	277	234	3 400
228.6 x 127 x 15.9	9 x 5 x 5/8	112	90.3	14.8	5 540	485	7.82	2 160	341	4.88	631	415	5 330
228.6 x 127 x 12.7	9 x 5 x 1/2	92.4	74.8	11.8	4 790	418	7.98	1 880	297	5	533	352	4 540
228.6 x 127 x 9.5	9 x 5 x 3/8	71.7	57.9	8.86	3 850	336	8.15	1 530	241	5.16	421	280	3 620
228.6 x 127 x 7.9	9 x 5 x 5/16	60.8	49	7.39	3 320	290	8.23	1 330	210	5.21	361	239	3 100
228.6 x 127 x 6.4	9 x 5 x 1/4	49.4	39.8	5.92	2 750	241	8.31	1 110	174	5.28	297	197	2 550
228.6 x 127 x 4.8	9 x 5 x 3/16	37.7	30.1	4.42	2 130	187	8.41	862	136	5.33	226	152	1 950
228.6 x 76.2 x 12.7	9 x 3 x 1/2	77.4	62.8	11.8	3 360	295	7.32	549	144	2.97	403	177	1 660
228.6 X 76.2 x 9.5	9 x 3 x 3/8	60.4	48.9	8.86	2 760	241	7.52	466	122	3.07	323	144	1 380
228.6 x 76.2 x 7.9	9 x 3 x 5/16	51.4	41.5	7.39	2 400	210	7.62	411	108	3.15	277	125	1 200
228.6 x 76.2 x 6.4	9 x 3 x 1/4	41.9	33.8	5.92	2 010	175	7.72	349	92	3.23	229	104	1 010
228.6 x 76.2 x 4.8	9 x 3 x 3/16	32.1	25.7	4.42	1 570	137	7.8	276	72	3.28	177	81	787
203.2 x 203.2 x 15.9	8 x 8 x 5/8	130	106	14.8	6 080	598	7.59	0	0	0	733	0	10 200
203.2 x 203.2 x 12.7	8 x 8 x 1/2	107	87.1	11.8	5 200	511	7.72	0	0	0	615	0	8 490
203.2 x 203.2 x 9.5	8 x 8 x 3/8	82.9	67.1	8.86	4 160	408	7.87	0	0	0	482	0	6 660
203.2 x 203.2 x 7.9	8 x 8 x 5/16	70.1	56.5	7.39	3 560	351	7.95	0	0	0	411	0	5 660
203.2 x 203.2 x 6.4	8 x 8 x 1/4	56.9	45.8	5.92	2 940	290	8	0	0	0	336	0	4 620
203.2 x 203.2 x 4.8	8 x 8 x 3/16	43.2	34.6	4.42	2 260	223	8.08	0	0	0	257	0	3 520
203.2 x 203.2 x 3.2	8 x 8 x 1/8	29.2	23.4	2.95	1 560	153	8.15	0	0	0	175	0	2 390
203.2 x 152.4 x 15.9	8 x 6 x 5/8	112	90.3	14.8	4 750	467	7.24	3 010	395	5.77	592	483	6 240
203.2 x 152.4 x 12.7	8 x 6 x 1/2	92.4	74.8	11.8	4 090	403	7.39	2 600	341	5.89	500	408	5 290
203.2 x 152.4 x 9.5	8 x 6 x 3/8	71.7	57.9	8.86	3 290	324	7.54	2 110	277	6.05	395	324	4 160
203.2 x 152.4 x 7.9	8 x 6 x 5/16	60.8	49	7.39	2 840	280	7.62	1 820	239	6.1	338	277	3 570
203.2 x 152.4 x 6.4	8 x 6 x 1/4	49.4	39.8	5.92	2 360	233	7.7	1 520	198	6.17	277	228	2 930
203.2 x 152.4 x 4.8	8 x 6 x 3/16	37.7	30.1	4.42	1 820	179	7.77	1 170	154	6.25	213	175	2 240
203.2 x 101.6 x 15.9	8 x 4 x 5/8	92.8	75.5	14.8	3 410	336	6.71	1 110	218	3.84	449	272	2 930
203.2 x 101.6 x 12.7	8 x 4 x 1/2	77.4	62.8	11.8	2 990	293	6.88	982	193	3.96	385	234	2 540
203.2 x 101.6 x 9.5	8 x 4 x 3/8	60.4	48.9	8.86	2 440	241	7.06	816	161	4.09	308	188	2 050
203.2 x 101.6 x 7.9	8 x 4 x 5/16	51.4	41.5	7.39	2 120	210	7.16	716	141	4.14	264	162	1 770
203.2 x 101.6 x 6.4	8 x 4 x 1/4	41.9	33.8	5.92	1 770	174	7.24	599	118	4.22	218	134	1 470
203.2 x 101.6 x 4.8	8 x 4 x 3/16	32.1	25.7	4.42	1 380	136	7.32	470	93	4.29	167	104	1 130
203.2 x 101.6 x 3.2	8 x 4 x 1/8	21.7	17.4	2.95	953	94	7.42	329	65	4.34	115	71	778
203.2 x 76.2 x 12.7	8 x 3 x 1/2	69.9	56.8	11.8	2 440	239	6.55	487	128	2.92	328	158	1 430
203.2 x 76.2 x 9.5	8 x 3 x 3/8	54.8	44.4	8.86	2 020	198	6.73	414	109	3.05	264	129	1 190
203.2 x 76.2 x 7.9	8 x 3 x 5/16	46.7	37.7	7.39	1 760	174	6.83	367	96	3.12	228	112	1 040
203.2 x 76.2 x 6.4	8 x 3 x 1/4	38.1	30.8	5.92	1 480	146	6.93	312	82	3.18	188	93	866
203.2 x 76.2 x 4.8	8 x 3 x 3/16	29.2	23.4	4.42	1 160	114	7.04	247	65	3.25	145	73	674
203.2 x 76.2 x 3.2	8 x 3 x 1/8	19.8	15.9	2.95	803	79	7.11	175	46	3.33	100	50	470

Designación (tamaños x espesor) (mm x mm x mm)	Designación (tamaños x espesor) (in x in x in)	W (kg/m)	A (cm^2)	t (mm)	I_x (cm^4)	S_x (cm^3)	r_x (cm)	I_y (cm^4)	S_y (cm^3)	r_y (cm)	Z_x (cm^3)	Z_y (cm^3)	J (cm^4)
203.2 x 50.8 x 9.5	8 x 2 x 3/8	49.2	39.9	8.86	1 590	157	6.32	155	61	1.97	220	76	504
203.2 x 50.8 x 7.9	8 x 2 x 5/16	42	33.9	7.39	1 400	138	6.43	141	55	2.04	190	67	454
203.2 x 50.8 x 6.4	8 x 2 x 1/4	34.4	27.7	5.92	1 190	117	6.53	122	48	2.1	159	56	390
203.2 x 50.8 x 4.8	8 x 2 x 3/16	26.4	21.2	4.42	932	92	6.63	100	39	2.17	123	44	311
203.2 x 50.8 x 3.2	8 x 2 x 1/8	18	14.4	2.95	653	64	6.73	72	28	2.23	85	31	221
177.8 x 177.8 x 15.9	7 x 7 x 5/8	112	90.3	14.8	3 890	438	6.55	0	0	0	542	0	6 580
177.8 x 177.8 x 12.7	7 x 7 x 1/2	92.4	74.8	11.8	3 350	377	6.68	0	0	0	457	0	5 540
177.8 x 177.8 x 9.5	7 x 7 x 3/8	71.7	57.9	8.86	2 710	305	6.83	0	0	0	362	0	4 370
177.8 x 177.8 x 7.9	7 x 7 x 5/16	60.7	49	7.39	2 340	262	6.91	0	0	0	310	0	3 730
177.8 x 177.8 x 6.4	7 x 7 x 1/4	49.4	39.8	5.92	1 940	218	6.99	0	0	0	254	0	3 060
177.8 x 177.8 x 4.8	7 x 7 x 3/16	37.6	30.1	4.42	1 500	169	7.04	0	0	0	195	0	2 340
177.8 x 177.8 x 3.2	7 x 7 x 1/8	25.5	20.4	2.95	1 030	116	7.11	0	0	0	133	0	1 590
177.8 x 127 x 12.7	7 x 5 x 1/2	77.4	62.8	11.8	2 520	283	6.35	1 480	233	4.85	359	283	3 160
177.8 x 127 x 9.5	7 x 5 x 3/8	60.4	48.9	8.86	2 060	231	6.5	1 220	192	5	287	226	2 520
177.8 x 127 x 7.9	7 x 5 x 5/16	51.4	41.5	7.39	1 790	202	6.58	1 060	167	5.05	246	195	2 170
177.8 x 127 x 6.4	7 x 5 x 1/4	41.9	33.8	5.92	1 490	167	6.65	887	140	5.13	203	161	1 790
177.8 x 127 x 4.8	7 x 5 x 3/16	32.1	25.7	4.42	1 160	130	6.73	691	109	5.21	156	124	1 370
177.8 x 127 x 3.2	7 x 5 x 1/8	21.7	17.4	2.95	803	91	6.81	483	76	5.26	107	85	937
177.8 x 101.6 x 12.7	7 x 4 x 1/2	69.9	56.8	11.8	2 110	238	6.1	862	170	3.89	308	206	2 100
177.8 x 101.6 x 9.5	7 x 4 x 3/8	54.8	44.4	8.86	1 740	195	6.25	720	141	4.01	247	167	1 710
177.8 x 101.6 x 7.9	7 x 4 x 5/16	46.7	37.7	7.39	1 520	170	6.35	633	124	4.09	215	145	1 470
177.8 x 101.6 x 6.4	7 x 4 x 1/4	38.1	30.8	5.92	1 270	143	6.43	533	105	4.17	177	120	1 220
177.8 x 101.6 x 4.8	7 x 4 x 3/16	29.2	23.4	4.42	991	112	6.5	416	82	4.22	137	93	945
177.8 x 101.6 x 3.2	7 x 4 x 1/8	19.8	15.9	2.95	691	78	6.58	293	58	4.29	94	64	649
177.8 x 76.2 x 12.7	7 x 3 x 1/2	62.4	50.8	11.8	1 690	190	5.77	425	111	2.9	259	139	1 190
177.8 x 76.2 x 9.5	7 x 3 x 3/8	49.2	39.9	8.86	1 420	159	5.97	363	95	3.02	210	114	995
177.8 x 76.2 x 7.9	7 x 3 x 5/16	42	33.9	7.39	1 240	140	6.05	322	85	3.07	182	99	870
177.8 x 76.2 x 6.4	7 x 3 x 1/4	34.4	27.7	5.92	1 050	118	6.15	275	72	3.15	151	83	728
177.8 x 76.2 x 4.8	7 x 3 x 3/16	26.4	21.2	4.42	824	93	6.22	218	57	3.2	117	65	570
177.8 x 76.2 x 3.2	7 x 3 x 1/8	18	14.4	2.95	574	65	6.32	154	41	3.28	81	45	395
177.8 x 50.8 x 6.4	7 x 2 x 1/2	30.6	24.8	5.92	824	93	5.77	107	42	2.08	125	50	331
177.8 x 50.8 x 4.8	7 x 2 x 3/16	23.6	18.9	4.42	653	74	5.87	87	34	2.15	98	39	264
177.8 x 50.8 x 3.2	7 x 2 x 1/4	16.1	12.9	2.95	462	52	5.97	63	25	2.21	68	28	188
152.4 x 152.4 x 15.9	6 x 6 x 5/8	92.8	75.5	14.8	2 300	302	5.51	0	0	0	380	0	3 950
152.4 x 152.4 x 12.7	6 x 6 x 1/2	77.4	62.8	11.8	2 010	264	5.66	0	0	0	324	0	3 380
152.4 x 152.4 x 9.5	6 x 6 x 3/8	60.4	48.9	8.86	1 640	216	5.79	0	0	0	259	0	2 690
152.4 x 152.4 x 7.9	6 x 6 x 5/16	51.3	41.5	7.39	1 430	187	5.87	0	0	0	223	0	2 310
152.4 x 152.4 x 6.4	6 x 6 x 1/4	41.9	33.8	5.92	1 190	156	5.94	0	0	0	184	0	1 900
152.4 x 152.4 x 4.8	6 x 6 x 3/16	32	25.7	4.42	928	122	6.02	0	0	0	141	0	1 460
152.4 x 152.4 x 3.2	6 x 6 x 1/8	21.7	17.4	2.95	645	84	6.07	0	0	0	97	0	995
152.4 x 127 x 12.7	6 x 5 x 1/2	69.9	56.8	11.8	1 710	225	5.49	1 280	202	4.75	282	249	2 490
152.4 x 127 x 9.5	6 x 5 x 3/8	54.8	44.4	8.86	1 410	185	5.64	1 060	167	4.88	226	200	2 000
152.4 x 127 x 7.9	6 x 5 x 5/16	46.7	37.7	7.39	1 230	161	5.72	928	146	4.95	195	172	1 720
152.4 x 127 x 6.4	6 x 5 x 1/4	38.1	30.8	5.92	1 030	135	5.79	778	122	5.03	162	143	1 420
152.4 x 127 x 4.8	6 x 5 x 3/16	29.2	23.4	4.42	803	106	5.87	608	96	5.11	125	110	1 090
152.4 x 127 x 3.2	6 x 5 x 1/8	19.8	15.9	2.95	558	73	5.94	425	67	5.16	86	76	749
152.4 x 101.6 x 12.7	6 x 4 x 1/2	62.4	50.8	11.8	1 420	185	5.28	741	146	3.81	239	180	1 680

Designación (tamaños x espesor) (mm x mm x mm)	Designación (tamaños x espesor) (in x in x in)	W (kg/m)	A (cm^2)	t (mm)	I_x (cm^4)	S_x (cm^3)	r_x (cm)	I_y (cm^4)	S_y (cm^3)	r_y (cm)	Z_x (cm^3)	Z_y (cm^3)	J (cm^4)
152.4 x 101.6 x 9.5	6 x 4 x 3/8	49.2	39.9	8.86	1 180	155	5.44	620	122	3.94	195	147	1 370
152.4 x 101.6 x 7.9	6 x 4 x 5/16	42	33.9	7.39	1 030	136	5.51	549	108	4.01	169	127	1 180
152.4 x 101.6 x 6.4	6 x 4 x 1/4	34.4	27.7	5.92	870	114	5.59	462	91	4.09	140	106	982
152.4 x 101.6 x 4.8	6 x 4 x 3/16	26.4	21.2	4.42	683	90	5.66	365	72	4.14	108	82	758
152.4 x 101.6 x 3.2	6 x 4 x 1/8	18	14.4	2.95	475	62	5.74	256	51	4.22	75	57	524
152.4 x 76.2 x 12.7	6 x 3 x 1/2	54.9	44.8	11.8	1 120	147	5	362	95	2.84	198	119	962
152.4 x 76.2 x 9.5	6 x 3 x 3/8	43.5	35.4	8.86	945	124	5.18	311	82	2.97	162	99	803
152.4 x 76.2 x 7.9	6 x 3 x 5/16	37.3	30.2	7.39	837	110	5.26	278	73	3.02	141	86	703
152.4 x 76.2 x 6.4	6 x 3 x 1/4	30.6	24.8	5.92	708	93	5.33	237	62	3.1	118	72	591
152.4 x 76.2 x 4.8	6 x 3 x 3/16	23.6	18.9	4.42	558	73	5.44	189	50	3.18	92	57	462
152.4 x 76.2 x 3.2	6 x 3 x 1/8	16.1	12.9	2.95	393	52	5.51	134	35	3.23	63	39	322
152.4 x 50.8 x 9.5	6 x 2 x 3/8	37.9	30.8	8.86	712	94	4.8	115	45	1.93	130	57	350
152.4 x 50.8 x 7.9	6 x 2 x 5/16	32.6	26.5	7.39	637	84	4.9	105	41	1.99	114	50	316
152.4 x 50.8 x 6.4	6 x 2 x 1/4	26.9	21.7	5.92	545	72	5	92	36	2.06	96	43	273
152.4 x 50.8 x 4.8	6 x 2 x 3/16	20.8	16.6	4.42	437	57	5.11	75	30	2.12	75	34	218
152.4 x 50.8 x 3.2	6 x 2 x 1/8	14.2	11.4	2.95	309	41	5.21	55	22	2.19	52	24	155
139.7 x 139.7 x 9.5	5-1/2 x 5-1/2 x 3/8	54.8	44.4	8.86	1 240	177	5.28	0	0	0	215	0	2 040
139.7 x 139.7 x 7.9	5-1/2 x 5-1/2 x 5/16	46.6	37.7	7.39	1 080	155	5.36	0	0	0	185	0	1 760
139.7 x 139.7 x 6.4	5-1/2 x 5-1/2 x 1/4	38.1	30.8	5.92	903	129	5.41	0	0	0	153	0	1 450
139.7 x 139.7 x 4.8	5-1/2 x 5-1/2 x 3/16	29.2	23.4	4.42	708	101	5.49	0	0	0	118	0	1 110
139.7 x 139.7 x 3.2	5-1/2 x 5-1/2 x 1/8	19.8	15.9	2.95	491	71	5.56	0	0	0	81	0	762
127 x 127 x 12.7	5 x 5 x 1/2	62.4	50.8	11.8	1 080	170	4.62	0	0	0	215	0	1 860
127 x 127 x 9.5	5 x 5 x 3/8	49.2	39.9	8.86	903	142	4.75	0	0	0	174	0	1 500
127 x 127 x 7.9	5 x 5 x 5/16	42	33.9	7.39	791	125	4.83	0	0	0	150	0	1 300
127 x 127 x 6.4	5 x 5 x 1/4	34.4	27.7	5.92	666	105	4.9	0	0	0	125	0	1 070
127 x 127 x 4.8	5 x 5 x 3/16	26.4	21.2	4.42	524	82	4.98	0	0	0	97	0	828
127 x 127 x 3.2	5 x 5 x 1/8	18	14.4	2.95	366	58	5.05	0	0	0	67	0	570
127 x 101.6 x 12.7	5 x 4 x 1/2	54.9	44.8	11.8	882	139	4.45	620	122	3.71	179	153	1 260
127 x 101.6 x 9.5	5 x 4 x 3/8	43.5	35.4	8.86	745	117	4.6	524	103	3.86	147	126	1 040
127 x 101.6 x 7.9	5 x 4 x 5/16	37.3	30.2	7.39	658	104	4.67	462	91	3.91	128	109	903
127 x 101.6 x 6.4	5 x 4 x 1/4	30.6	24.8	5.92	558	88	4.75	394	78	3.99	106	91	749
127 x 101.6 x 4.8	5 x 4 x 3/16	23.6	18.9	4.42	441	69	4.83	311	61	4.06	83	71	583
127 x 101.6 x 3.2	5 x 4 x 1/8	16.1	12.9	2.95	309	49	4.9	219	43	4.11	57	49	402
127 x 76.2 x 12.7	5 x 3 x 1/2	47.4	38.8	11.8	683	108	4.19	299	78	2.77	145	100	733
127 x 76.2 x 9.5	5 x 3 x 3/8	37.9	30.8	8.86	587	93	4.37	260	68	2.9	120	84	620
127 x 76.2 x 7.9	5 x 3 x 5/16	32.6	26.5	7.39	524	82	4.45	233	61	2.97	105	73	545
127 x 76.2 x 6.4	5 x 3 x 1/4	26.9	21.7	5.92	445	70	4.52	200	53	3.02	88	62	458
127 x 76.2 x 4.8	5 x 3 x 3/16	20.8	16.6	4.42	355	56	4.62	160	42	3.1	69	49	360
127 x 76.2 x 3.2	5 x 3 x 1/8	14.2	11.4	2.95	251	40	4.7	114	30	3.18	48	34	251
101.6 x 101.6 x 4.8	4 x 4 x 3/16	20.7	16.6	4.42	258	51	3.94	0	0	0	60	0	416
101.6 x 101.6 x 3.2	4 x 4 x 1/8	14.2	11.4	2.95	183	36	4.01	0	0	0	42	0	288
101.6 x 76.2 x 9.5	4 x 3 x 3/8	32.3	26.4	8.86	330	65	3.53	209	55	2.82	84	69	441
101.6 x 76.2 x 7.9	4 x 3 x 5/16	27.9	22.7	7.39	297	59	3.61	188	50	2.87	74	61	392
101.6 x 76.2 x 6.4	4 x 3 x 1/4	23.1	18.8	5.92	256	50	3.68	163	43	2.95	62	51	331
101.6 x 76.2 x 4.8	4 x 3 x 3/16	18	14.5	4.42	205	41	3.78	132	34	3.02	49	40	261
101.6 x 76.2 x 3.2	4 x 3 x 1/8	12.3	9.94	2.95	147	29	3.86	95	25	3.07	35	28	182
101.6 x 63.5 x 9.5	4 x 2-1/2 x 3/8	29.5	24.1	8.86	282	55	3.43	132	42	2.34	73	52	315

Designación (tamaños x espesor) (mm x mm x mm)	Designación (tamaños x espesor) (in x in x in)	W (kg/m)	A (cm^2)	t (mm)	I_x (cm^4)	S_x (cm^3)	r_x (cm)	I_y (cm^4)	S_y (cm^3)	r_y (cm)	Z_x (cm^3)	Z_y (cm^3)	J (cm^4)
101.6 x 63.5 x 7.9	4 x 2-1/2 x 5/16	25.6	20.8	7.39	255	50	3.51	120	38	2.41	65	47	282
101.6 x 63.5 x 6.4	4 x 2-1/2 x 1/4	21.2	17.2	5.92	221	44	3.58	105	33	2.47	55	40	241
101.6 x 63.5 x 4.8	4 x 2-1/2 x 3/16	16.5	13.3	4.42	179	35	3.66	86	27	2.54	44	32	191
101.6 x 63.5 x 3.2	4 x 2-1/2 x 1/8	11.4	9.16	2.95	129	25	3.73	62	20	2.62	31	22	134
101.6 x 50.8 x 9.5	4 x 2 x 3/8	26.7	21.9	8.86	233	46	3.28	75	30	1.85	63	38	201
101.6 x 50.8 x 7.9	4 x 2 x 5/16	23.2	19	7.39	214	42	3.35	70	27	1.92	56	34	183
101.6 x 50.8 x 6.4	4 x 2 x 1/4	19.4	15.7	5.92	187	37	3.45	62	24	1.98	48	29	159
101.6 x 50.8 x 4.8	4 x 2 x 3/16	15.1	12.2	4.42	152	30	3.53	51	20	2.04	38	23	128
101.6 x 50.8 x 3.2	4 x 2 x 1/8	10.5	8.39	2.95	110	22	3.63	37	15	2.11	27	17	92
88.9 x 88.9 x 9.5	3-1/2 x 3-1/2 x 3/8	32.3	26.4	8.86	270	61	3.2	0	0	0	77	0	466
88.9 x 88.9 x 7.9	3-1/2 x 3-1/2 x 5/16	27.9	22.7	7.39	243	55	3.28	0	0	0	68	0	412
88.9 x 88.9 x 6.4	3-1/2 x 3-1/2 x 1/4	23.1	18.8	5.92	210	47	3.35	0	0	0	57	0	348
88.9 x 88.9 x 4.8	3-1/2 x 3-1/2 x 3/16	17.9	14.5	4.42	169	38	3.43	0	0	0	45	0	273
88.9 x 88.9 x 3.2	3-1/2 x 3-1/2 x 1/8	12.3	9.94	2.95	121	27	3.48	0	0	0	32	0	191
88.9 x 50.8 x 6.4	3-1/2 x 2 x 1/4	17.5	14.3	5.92	132	30	3.05	54	21	1.95	39	26	132
88.9 x 50.8 x 4.8	3-1/2 x 2 x 3/16	13.7	11	4.42	109	24	3.12	45	18	2.01	31	21	106
88.9 x 50.8 x 3.2	3-1/2 x 2 x 1/8	9.53	7.68	2.95	79	18	3.23	33	13	2.08	22	15	76
88.9 x 38.1 x 6.4	3-1/2 x 1-1/2 x 1/4	15.6	12.7	5.92	106	24	2.9	27	14	1.45	32	17	75
88.9 x 38.1 x 4.8	3-1/2 x 1-1/2 x 3/16	12.3	9.94	4.42	88	20	2.97	23	12	1.51	26	14	62
88.9 x 318.1 x 3.2	3-1/2 x 1-1/2 x 1/8	8.59	6.9	2.95	65	15	3.07	17	9	1.57	19	10	45
76.2 x 76.2 x 9.5	3 x 3 x 3/8	26.7	21.9	8.86	157	41	2.69	0	0	0	53	0	276
76.2 x 76.2 x 7.9	3 x 3 x 5/16	23.2	19	7.39	144	38	2.74	0	0	0	48	0	247
76.2 x 76.2 x 6.4	3 x 3 x 1/4	19.4	15.7	5.92	126	33	2.82	0	0	0	41	0	211
76.2 x 76.2 x 4.8	3 x 3 x 3/16	15.1	12.2	4.42	102	27	2.9	0	0	0	32	0	168
76.2 x 76.2 x 3.2	3 x 3 x 1/8	10.5	8.39	2.95	74	20	2.97	0	0	0	23	0	118
76.2 x 63.5 x 7.9	3 x 2-1/2 x 5/16	20.9	17	7.39	122	32	2.67	91	29	2.31	41	36	181
76.2 x 63.5 x 6.4	3 x 2-1/2 x 1/4	17.5	14.3	5.92	107	28	2.74	80	25	2.37	35	31	156
76.2 x 63.5 x 4.8	3 x 2-1/2 x 3/16	13.7	11	4.42	88	23	2.82	66	21	2.45	28	25	125
76.2 x 63.5 x 3.2	3 x 2-1/2 x 1/8	9.53	7.68	2.95	64	17	2.9	48	15	2.51	20	18	89
76.2 x 50.8 x 7.9	3 x 2 x 5/16	18.5	15.2	7.39	99	26	2.57	52	20	1.84	35	26	119
76.2 x 50.8 x 6.4	3 x 2 x 1/4	15.6	12.7	5.92	89	23	2.64	46	18	1.91	30	23	105
76.2 x 50.8 x 4.8	3 x 2 x 3/16	12.3	9.94	4.42	74	19	2.72	39	15	1.98	24	18	85
76.2 x 50.8 x 3.2	3 x 2 x 1/8	8.59	6.9	2.95	54	14	2.79	29	11	2.04	17	13	61
76.2 x 38.1 x 6.4	3 x 1-1/2 x 1/4	13.7	11.2	5.92	70	18	2.49	23	12	1.42	25	15	60
76.2 x 38.1 x 4.8	3 x 1-1/2 x 3/16	10.9	8.84	4.42	59	16	2.59	19	10	1.48	20	12	50
76.2 x 38.1 x 3.2	3 x 1-1/2 x 1/8	7.65	6.17	2.95	44	12	2.67	15	8	1.55	15	9	37
76.2 x 25.4 x 4.8	3 x 1 x 3/16	9.5	7.68	4.42	45	12	2.41	7	6	0.965	16	7	22
76.2 x 25.4 x 3.2	3 x 1 x 1/8	6.71	5.42	2.95	34	9	2.51	6	5	1.03	12	5	17
63.5 x 63.5 x 7.9	2-1/2 x 2-1/2 x 5/16	18.5	15.2	7.39	76	24	2.24	0	0	0	31	0	133
63.5 x 63.5 x 6.4	2-1/2 x 2-1/2 x 1/4	15.6	12.7	5.92	68	21	2.31	0	0	0	27	0	116
63.5 x 63.5 x 4.8	2-1/2 x 2-1/2 x 3/16	12.3	9.94	4.42	56	18	2.38	0	0	0	22	0	94
63.5 x 63.5 x 3.2	2-1/2 x 2-1/2 x 1/8	8.59	6.9	2.95	42	13	2.45	0	0	0	16	0	67
63.5 x 50.8 x 6.4	2-1/2 x 2 x 1/4	13.7	11.2	5.92	55	17	2.22	39	15	1.86	23	19	79
63.5 x 50.8 x 4.8	2-1/2 x 2 x 3/16	10.9	8.84	4.42	47	15	2.3	33	13	1.93	18	16	65
63.5 x 50.8 x 3.2	2-1/2 x 2 x 1/8	7.65	6.17	2.95	35	11	2.37	25	10	1.99	13	11	47
63.5 x 38.1 x 6.4	2-1/2 x 1-1/2 x 1/4	11.9	9.74	5.92	43	14	2.1	19	10	1.39	18	13	46
63.5 x 38.1 x 4.8	2-1/2 x 1-1/2 x 3/16	9.5	7.68	4.42	37	12	2.18	16	9	1.45	15	10	39

Designación (tamaños x espesor) (mm x mm x mm)	Designación (tamaños x espesor) (in x in x in)	W (kg/m)	A (cm^2)	t (mm)	I_x (cm^4)	S_x (cm^3)	r_x (cm)	I_y (cm^4)	S_y (cm^3)	r_y (cm)	Z_x (cm^3)	Z_y (cm^3)	J (cm^4)
63.5 x 38.1 x 3.2	2-1/2 x 1-1/2 x 1/8	6.71	5.42	2.95	28	9	2.27	13	7	1.52	11	8	29
63.5 x 25.4 x 4.8	2-1/2 x 1 x 3/16	8.09	6.58	4.42	27	8	2.02	6	5	0.95	12	6	17
63.5 x 25.4 x 3.2	2-1/2 x 1 x 1/8	5.78	4.67	2.95	21	7	2.12	5	4	1.01	9	4	13
57.2 x 57.2 x 6.4	2-1/4 x 2-1/4 x 1/4	13.7	11.2	5.92	47	17	2.05	0	0	0	21	0	82
57.2 x 57.2 x 4.8	2-1/4 x 2-1/4 x 3/16	10.9	8.84	4.42	40	14	2.12	0	0	0	17	0	67
57.2 x 57.2 x 3.2	2-1/4 x 2-1/4 x 1/8	7.65	6.17	2.95	30	10	2.19	0	0	0	12	0	48
57.2 x 50.8 x 4.8	2-1/4 x 2 x 3/16	10.2	8.26	4.42	36	13	2.08	30	12	1.9	16	14	55
57.2 x 50.8 x 3.2	2-1/4 x 2 x 1/8	7.18	5.79	2.95	27	9	2.15	22	9	1.97	11	11	40
50.8 x 50.8 x 6.4	2 x 2 x 1/4	11.9	9.74	5.92	31	12	1.79	0	0	0	16	0	55
50.8 x 50.8 x 4.8	2 x 2 x 3/16	9.48	7.68	4.42	27	11	1.86	0	0	0	13	0	45
50.8 x 50.8 x 3.2	2 x 2 x 1/8	6.71	5.42	2.95	20	8	1.93	0	0	0	10	0	33
50.8 x 38.1 x 4.8	2 x 1-1/2 x 3/16	8.09	6.58	4.42	21	8	1.77	13	7	1.41	11	9	28
50.8 x 38.1 x 3.2	2 x 2 x 1/8	5.78	4.67	2.95	16	6	1.85	10	5	1.48	8	6	21
50.8 x 25.4 x 4.8	2 x 1 x 3/16	6.68	5.45	4.42	15	6	1.63	5	4	0.927	8	5	13
50.8 x 25.4 x 3.2	2 x 1 x 1/8	4.84	3.92	2.95	12	5	1.72	4	3	0.991	6	4	10
508 x 12.7	20 x 0.500	229	184	11.8	56 600	2 230	17.6	0	0	0	2 900	0	113 000
508 x 9.5	20 x 0.375	173	139	8.86	43 300	1 700	17.7	0	0	0	2 210	0	86 600
457.2 x 12.7	18 x 0.500	206	165	11.8	41 000	1 790	15.7	0	0	0	2 340	0	82 000
457.2 x 9.5	18 x 0.375	156	125	8.86	31 400	1 370	15.8	0	0	0	1 790	0	62 900
406.4 x 15.9	16 x 0.625	227	181	14.8	34 900	1 720	13.9	0	0	0	2 260	0	69 900
406.4 x 12.7	16 x 0.500	183	146	11.8	28 500	1 400	13.9	0	0	0	1 840	0	57 000
406.4 x 11.1	16 x 0.438	161	128	10.3	25 200	1 240	14	0	0	0	1 620	0	50 400
406.4 x 9.5	16 x 0.375	138	111	8.86	21 900	1 080	14	0	0	0	1 400	0	43 700
406.4 x 7.9	16 x 0.312	115	92.9	7.39	18 400	908	14.1	0	0	0	1 180	0	36 900
406.4 x 6.4	16 x 0.250	92.8	74.2	5.92	14 900	734	14.2	0	0	0	949	0	29 800
355.6 x 15.9	14 x 0.625	197	158	14.8	23 000	1 290	12.1	0	0	0	1 720	0	45 800
355.6 x 12.7	14 x 0.500	159	128	11.8	18 900	1 060	12.2	0	0	0	1 400	0	37 800
355.6 x 9.5	14 x 0.375	120	96.8	8.86	14 500	816	12.3	0	0	0	1 070	0	29 100
355.6 x 7.9	14 x 0.312	101	80.6	7.39	12 300	690	12.3	0	0	0	896	0	24 500
355.6 x 6.4	14 x 0.250	81	65.2	5.92	10 000	559	12.4	0	0	0	724	0	19 900
323.9 x 12.7	12.750 x 0.500	144	115	11.8	14 100	872	11	0	0	0	1 150	0	28 200
323.9 x 9.5	12.750 x 0.375	109	87.7	8.86	10 900	672	11.2	0	0	0	880	0	21 800
323.9 x 6.4	12.750 x 0.250	73.6	59.1	5.92	7 490	462	11.3	0	0	0	598	0	14 900
273.1 x 12.7	10.750 x 0.500	121	96.8	11.8	8 280	606	9.25	0	0	0	806	0	16 600
273.1 x 9.5	10.750 x 0.375	91.7	73.5	8.86	6 410	470	9.35	0	0	0	619	0	12 900
273.1 x 6.4	10.750 x 0.250	61.9	49.7	5.92	4 410	324	9.45	0	0	0	423	0	8 870
254 x 15.9	10 x 0.625	138	111	14.8	7 950	628	8.48	0	0	0	846	0	15 900
254 x 12.7	10 x 0.500	112	89.7	11.8	6 620	519	8.59	0	0	0	693	0	13 200
254 x 9.5	10 x 0.375	85.1	68.4	8.86	5 120	405	8.66	0	0	0	533	0	10 300
254 x 7.9	10 x 0.312	71.2	57.3	7.39	4 370	342	8.71	0	0	0	449	0	8 700
254 x 6.4	10 x 0.250	57.4	46.1	5.92	3 550	280	8.76	0	0	0	364	0	7 120
254 x 4.8	10 x 0.188	43.5	34.6	4.42	2 700	213	8.81	0	0	0	275	0	5 410
244.5 x 12.7	9.625 x 0.500	108	86.5	11.8	5 870	479	8.23	0	0	0	639	0	11 700
244.5 x 9.5	9.625 x 0.375	81.8	65.8	8.86	4 580	374	8.33	0	0	0	492	0	9 120
244.5 x 7.9	9.625 x 0.312	68.5	55	7.39	3 870	316	8.38	0	0	0	416	0	7 740
244.5 x 6.4	9.625 x 0.250	55.2	44.3	5.92	3 160	259	8.43	0	0	0	338	0	6 330
244.5 x 4.8	9.625 x 0.188	41.8	33.4	4.42	2 400	197	8.48	0	0	0	254	0	4 790

Designación (tamaños x espesor) (mm x mm x mm)	Designación (tamaños x espesor) (in x in x in)	W (kg/m)	A (cm^2)	t (mm)	I_x (cm^4)	S_x (cm^3)	r_x (cm)	I_y (cm^4)	S_y (cm^3)	r_y (cm)	Z_x (cm^3)	Z_y (cm^3)	J (cm^4)
219.1 x 15.9	8.625 x 0.625	118	94.8	14.8	4 950	454	7.24	0	0	0	618	0	9 950
219.1 x 12.7	8.625 x 0.500	95.7	76.8	11.8	4 160	379	7.34	0	0	0	508	0	8 280
219.1 x 9.5	8.625 x 0.375	72.9	58.5	8.86	3 240	295	7.44	0	0	0	392	0	6 490
219.1 x 8.2	8.625 x 0.322	63	50.6	7.62	2 830	259	7.49	0	0	0	341	0	5 660
219.1 x 6.4	8.625 x 0.250	49.3	39.6	5.92	2 250	205	7.54	0	0	0	269	0	4 500
219.1 x 4.8	8.625 x 0.188	37.4	29.8	4.42	1 720	157	7.59	0	0	0	203	0	3 430
219.1 x 9.5	7.625 x 0.375	64.1	51.5	8.86	2 200	228	6.55	0	0	0	303	0	4 410
219.1 x 8.3	7.625 x 0.328	56.4	45.2	7.75	1 960	202	6.58	0	0	0	269	0	3 920
190.5 x 12.7	7.500 x 0.500	82.5	66.5	11.8	2 660	279	6.32	0	0	0	377	0	5 330
190.5 x 9.5	7.500 x 0.375	63	50.6	8.86	2 090	220	6.43	0	0	0	293	0	4 160
190.5 x 7.9	7.500 x 0.312	52.9	42.5	7.39	1 790	187	6.48	0	0	0	247	0	3 570
190.5 x 6.4	7.500 x 0.250	42.7	34.3	5.92	1 470	154	6.53	0	0	0	202	0	2 930
190.5 x 4.8	7.500 x 0.188	32.4	25.8	4.42	1 120	117	6.58	0	0	0	153	0	2 240
177.8 x 12.7	7 x 0.500	76.6	61.6	11.8	2 130	239	5.89	0	0	0	326	0	4 250
177.8 x 9.5	7 x 0.375	58.6	47	8.86	1 680	190	5.97	0	0	0	254	0	3 370
177.8 x 7.9	7 x 0.312	49.2	39.5	7.39	1 440	162	6.02	0	0	0	215	0	2 880
177.8 x 6.4	7 x 0.250	39.8	31.9	5.92	1 180	133	6.07	0	0	0	175	0	2 360
177.8 x 4.8	7 x 0.188	30.2	24.1	4.42	903	102	6.12	0	0	0	133	0	1 810
177.8 x 3.2	7 x 0.125	20.3	16.2	2.95	620	70	6.17	0	0	0	90	0	1 240
174.6 x 12.7	6.875 x 0.500	75.1	60.4	11.8	2 010	231	5.77	0	0	0	313	0	4 020
174.6 x 9.5	6.875 x 0.375	57.4	46.2	8.86	1 590	182	5.87	0	0	0	244	0	3 180
174.6 x 7.9	6.875 x 0.312	48.3	38.8	7.39	1 360	156	5.92	0	0	0	206	0	2 720
174.6 x 6.4	6.875 x 0.250	39	31.4	5.92	1 120	128	5.97	0	0	0	169	0	2 240
174.6 x 4.8	6.875 x 0.188	29.6	23.6	4.42	857	98	6.02	0	0	0	128	0	1 710
168.3 x 12.7	6.625 x 0.500	72.2	58.1	11.8	1 790	213	5.54	0	0	0	290	0	3 580
168.3 x 11	6.625 x 0.432	63.1	50.7	10.2	1 590	188	5.59	0	0	0	256	0	3 180
168.3 x 9.5	6.625 x 0.375	55.2	44.4	8.86	1 420	169	5.64	0	0	0	226	0	2 830
168.3 x 7.9	6.625 x 0.312	46.4	37.4	7.39	1 210	144	5.69	0	0	0	192	0	2 420
168.3 x 7.1	6.625 x 0.280	41.9	33.5	6.6	1 100	130	5.72	0	0	0	172	0	2 190
168.3 x 6.4	6.625 x 0.250	37.6	30.2	5.92	1 000	118	5.74	0	0	0	156	0	1 990
168.3 x 4.8	6.625 x 0.188	28.5	22.8	4.42	766	91	5.79	0	0	0	119	0	1 530
168.3 x 3.2	6.625 x 0.125	19.1	15.3	2.95	524	62	5.84	0	0	0	81	0	1 040
152.4 x 12.7	6 x 0.500	64.8	52.2	11.8	1 300	170	4.98	0	0	0	234	0	2 600
152.4 x 9.5	6 x 0.375	49.7	40	8.86	1.030	136	5.08	0	0	0	184	0	2 070
152.4 x 7.9	6 x 0.312	41.8	33.7	7.39	887	117	5.13	0	0	0	156	0	1 770
152.4 x 7.1	6 x 0.280	37.7	30.3	6.6	803	106	5.16	0	0	0	140	0	1 610
152.4 x 6.4	6 x 0.250	33.9	27.2	5.92	733	96	5.18	0	0	0	127	0	1 470
152.4 x 4.8	6 x 0.188	25.8	20.5	4.42	562	74	5.23	0	0	0	97	0	1 120
152.4 x 3.2	6 x 0.125	17.3	13.8	2.95	386	51	5.28	0	0	0	66	0	774
141.3 x 12.7	5.563 x 0.500	59.7	48.1	11.8	1 020	144	4.6	0	0	0	198	0	2 030
141.3 x 9.5	5.563 x 0.375	45.9	36.9	8.86	812	115	4.7	0	0	0	156	0	1 620
141.3 x 6.6	5.563 x 0.258	32.3	25.9	6.1	591	84	4.78	0	0	0	111	0	1 190
141.3 x 4.8	5.563 x 0.188	23.8	19	4.42	445	63	4.85	0	0	0	83	0	891
141.3 x 3.4	5.563 x 0.134	17.1	13.7	3.15	326	46	4.88	0	0	0	60	0	653
139.7 x 12.7	5.500 x 0.500	58.9	47.5	11.8	978	140	4.55	0	0	0	193	0	1 960
139.7 x 9.5	5.500 x 0.375	45.3	36.5	8.86	783	112	4.65	0	0	0	152	0	1 570
139.7 x 6.6	5.500 x 0.258	31.9	25.6	6.1	570	82	4.72	0	0	0	109	0	1 140

Designación (tamaños x espesor) (mm x mm x mm)	Designación (tamaños x espesor) (in x in x in)	W (kg/m)	A (cm^2)	t (mm)	I_x (cm^4)	S_x (cm^3)	r_x (cm)	I_y (cm^4)	S_y (cm^3)	r_y (cm)	Z_x (cm^3)	Z_y (cm^3)	J (cm^4)
127 x 12.7	5 x 0.500	53	42.7	11.8	716	113	4.09	0	0	0	157	0	1 430
127 x 9.5	5 x 0.375	40.9	32.9	8.86	579	91	4.19	0	0	0	124	0	1 150
127 x 7.9	5 x 0.312	34.5	27.7	7.39	499	79	4.24	0	0	0	106	0	999
127 x 6.6	5 x 0.258	28.8	23.2	6.1	425	67	4.29	0	0	0	89	0	849
127 x 6.4	5 x 0.250	28	22.5	5.92	414	65	4.29	0	0	0	87	0	828
127 x 4.8	5 x 0.188	21.3	17	4.42	320	51	4.34	0	0	0	66	0	641
127 x 3.2	5 x 0.125	14.4	11.5	2.95	221	35	4.39	0	0	0	45	0	441
114.3 x 9.5	4.500 x 0.375	36.5	29.4	8.86	411	72	3.73	0	0	0	99	0	820
114.3 x 8.6	4.500 x 0.337	33.1	26.6	7.95	378	66	3.76	0	0	0	90	0	753
114.3 x 6	4.500 x 0.237	23.8	19.1	5.59	283	50	3.86	0	0	0	66	0	566
114.3 x 4.8	4.500 x 0.188	19.1	15.2	4.42	231	40	3.89	0	0	0	53	0	462
114.3 x 3.2	4.500 x 0.125	12.9	10.3	2.95	160	28	3.94	0	0	0	37	0	320
101.6 x 8	4 x 0.313	27.2	21.9	7.39	244	48	3.35	0	0	0	66	0	487
101.6 x 6.4	4 x 0.250	22	17.8	5.92	204	40	3.38	0	0	0	54	0	409
101.6 x 6	4 x 0.237	21	16.8	5.59	195	38	3.4	0	0	0	52	0	390
101.6 x 5.7	4 x 0.226	20.1	16.1	5.33	187	37	3.4	0	0	0	50	0	375
101.6 x 5.6	4 x 0.220	19.6	15.7	5.21	184	36	3.4	0	0	0	49	0	368
101.6 x 4.8	4 x 0.188	16.9	13.5	4.42	159	32	3.43	0	0	0	42	0	319
101.6 x 3.2	4 x 0.125	11.4	9.16	2.95	111	22	3.48	0	0	0	29	0	222
88.9 x 8	3.500 x 0.313	23.5	18.9	7.39	159	36	2.9	0	0	0	49	0	317
88.9 x 7.6	3.500 x 0.300	22.6	18.2	7.09	154	35	2.9	0	0	0	48	0	307
88.9 x 6.4	3.500 x 0.250	19.1	15.4	5.92	134	30	2.95	0	0	0	41	0	267
88.9 x 5.5	3.500 x 0.216	16.7	13.4	5.11	118	27	2.97	0	0	0	36	0	237
88.9 x 5.2	3.500 x 0.203	15.8	12.7	4.8	112	25	2.97	0	0	0	34	0	225
88.9 x 4.8	3.500 x 0.188	14.7	11.7	4.42	105	24	3	0	0	0	32	0	210
88.9 x 3.2	3.500 x 0.125	9.94	7.94	2.95	74	17	3.05	0	0	0	22	0	147
76.2 x 6.4	3 x 0.250	16.2	13.1	5.92	81	21	2.49	0	0	0	29	0	162
76.2 x 5.5	3 x 0.216	14.2	11.4	5.11	72	19	2.52	0	0	0	26	0	145
76.2 x 5.2	3 x 0.203	13.4	10.8	4.8	69	18	2.53	0	0	0	25	0	138
76.2 x 4.8	3 x 0.188	12.5	9.94	4.42	65	17	2.54	0	0	0	23	0	129
76.2 x 3.9	3 x 0.152	10.2	8.19	3.58	54	14	2.57	0	0	0	19	0	108
76.2 x 3.4	3 x 0.134	9.05	7.23	3.15	48	13	2.59	0	0	0	17	0	97
76.2 x 3.2	3 x 0.125	8.47	6.77	2.95	45	12	2.59	0	0	0	16	0	91
73 x 6.4	2.875 x 0.250	15.5	12.5	5.92	71	19	2.38	0	0	0	27	0	142
73 x 5.2	2.875 x 0.203	12.8	10.3	4.8	60	17	2.42	0	0	0	23	0	120
73 x 4.8	2.875 x 0.188	11.9	9.55	4.42	56	15	2.43	0	0	0	21	0	112
73 x 3.2	2.875 x 0.125	8.1	6.52	2.95	40	11	2.48	0	0	0	15	0	80
63.5 x 6.4	2.500 x 0.250	13.3	10.7	5.92	45	14	2.05	0	0	0	20	0	90
63.5 x 4.8	2.500 x 0.188	10.2	8.19	4.42	36	11	2.1	0	0	0	16	0	72
63.5 x 3.2	2.500 x 0.125	7	5.61	2.95	26	8	2.14	0	0	0	11	0	52
60.3 x 6.4	2.375 x 0.250	12.5	10.1	5.92	38	13	1.94	0	0	0	18	0	76
60.3 x 5.5	2.375 x 0.218	11.1	8.97	5.16	34	11	1.96	0	0	0	16	0	69
60.3 x 4.8	2.375 x 0.188	9.69	7.74	4.42	31	10	1.98	0	0	0	14	0	61
60.3 x 3.9	2.375 x 0.154	8.06	6.45	3.63	26	9	2.01	0	0	0	12	0	52
60.3 x 3.2	2.375 x 0.125	6.63	5.31	2.95	22	7	2.03	0	0	0	10	0	44
48.3 x 3.7	1.900 x 0.188	7.59	6.08	4.42	15	6	1.56	0	0	0	9	0	30
48.3 x 3.7	1.900 x 0.145	6	4.83	3.43	12	5	1.59	0	0	0	7	0	24

Designación (tamaños x espesor)	Designación (tamaños x espesor)	W	A	t	I_x	S_x	r_x	I_y	S_y	r_y	Z_x	Z_y	J
(mm x mm x mm)	(in x in x in)	(kg/m)	(cm^2)	(mm)	(cm^4)	(cm^3)	(cm)	(cm^4)	(cm^3)	(cm)	(cm^3)	(cm^3)	(cm^4)
48.3 x 3.0	1.900 x 0.120	5.03	4.03	2.82	10	4	1.61	0	0	0	6	0	21
42.2 x 3.6	1.660 x 0.140	5.02	4.03	3.3	8	4	1.38	0	0	0	5	0	15

CAPITULO

VII

VII.11 TUBOS OC

Designación (tamaños x espesor) (mm x mm x mm)	Designación (tamaños x espesor) (in x in x in)	W (kg/m)	A (cm^2)	d (mm)	t (mm)	t dis (mm)	h/t_w	I_x (cm^4)	Z_x (cm^3)	S_x (cm^3)	r_x (cm)	J (cm^4)	C (cm^3)
508 x 12.7	20 x 0.500	229	184	508	12.70	11.80	43.0	56 600	2 900	2 230	17.6	113 000	4 460
508 x 9.5	20 x 0.375	173	139	508	9.53	8.86	57.3	43 300	2 210	1 700	17.7	86 600	3 410
457.2 x 12.7	18 x 0.500	206	165	457	12.70	11.80	38.7	41 000	2 340	1 790	15.7	82 000	3 590
457.2 x 9.5	18 x 0.375	156	125	457	9.53	8.86	51.6	31 400	1 790	1 370	15.8	62 900	2 750
406.4 x 15.9	16 x 0.625	227	181	406	15.90	14.80	27.5	34 900	2 260	1 720	13.9	69 900	3 420
406.4 x 12.7	16 x 0.500	183	146	406	12.70	11.80	34.4	28 500	1 840	1 400	13.9	57 000	2 800
406.4 x 11.1	16 x 0.438	161	128	406	11.10	10.30	39.3	25 200	1 620	1 240	14	50 400	2 490
406.4 x 9.5	16 x 0.375	138	111	406	9.53	8.86	45.8	21 900	1 400	1 080	14	43 700	2 150
406.4 x 7.9	16 x 0.312	115	92.9	406	7.94	7.39	55.0	18 400	1 180	908	14.1	36 900	1 820
406.4 x 6.4	16 x 0.250	92.8	74.2	406	6.35	5.92	68.7	14 900	949	734	14.2	29 800	1 470
355.6 x 15.9	14 x 0.625	197	158	356	15.90	14.80	24.1	23 000	1 720	1 290	12.1	45 800	2 590
355.6 x 12.7	14 x 0.500	159	128	356	12.70	11.80	30.1	18 900	1 400	1 060	12.2	37 800	2 130
355.6 x 9.5	14 x 0.375	120	96.8	356	9.53	8.86	40.1	14 500	1 070	816	12.3	29 100	1 640
355.6 x 7.9	14 x 0.312	101	80.6	356	7.94	7.39	48.1	12 300	896	690	12.3	24 500	1 380
355.6 x 6.4	14 x 0.250	81.0	65.2	356	6.35	5.92	60.1	10 000	724	559	12.4	19 900	1 120
323.9 x 12.7	12.750 x 0.500	144	115	324	12.70	11.80	27.4	14 100	1 150	872	11	28 200	1 740
323.9 x 9.5	12.750 x 0.375	109	87.7	324	9.53	8.86	36.5	10 900	880	672	11.2	21 800	1 350
323.9 x 6.4	12.750 x 0.250	73.6	59.1	324	6.35	5.92	54.7	7 490	598	462	11.3	14 900	923
273.1 x 12.7	10.750 x 0.500	121	96.8	273	12.70	11.80	23.1	8 280	806	606	9.3	16 600	1 210
273.1 x 9.5	10.750 x 0.375	91.7	73.5	273	9.53	8.86	30.8	6 410	619	470	9.4	12 900	941
273.1 x 6.4	10.750 x 0.250	61.9	49.7	273	6.35	5.92	46.1	4 410	423	324	9.5	8 870	649
254 x 15.9	10 x 0.625	138	111	254	15.90	14.80	17.2	7 950	846	628	8.5	15 900	1 260
254 x 12.7	10 x 0.500	112	89.7	254	12.70	11.80	21.5	6 620	693	519	8.6	13 200	1 040
254 x 9.5	10 x 0.375	85.1	68.4	254	9.53	8.86	28.7	5 120	533	405	8.7	10 300	808
254 x 7.9	10 x 0.312	71.2	57.3	254	7.94	7.39	34.4	4 370	449	342	8.7	8 700	687
254 x 6.4	10 x 0.250	57.4	46.1	254	6.35	5.92	42.9	3 550	364	280	8.8	7 120	559
254 x 4.8	10 x 0.188	43.5	34.6	254	4.76	4.42	57.5	2 700	275	213	8.8	5 410	424
244.5 x 12.7	9.625 x 0.500	108	86.5	244	12.70	11.80	20.7	5 870	639	479	8.2	11 700	959
244.5 x 9.5	9.625 x 0.375	81.8	65.8	244	9.53	8.86	27.6	4 580	492	374	8.3	9 120	746
244.5 x 7.9	9.625 x 0.312	68.5	55	244	7.94	7.39	33.1	3 870	416	316	8.4	7 740	634
244.5 x 6.4	9.625 x 0.250	55.2	44.3	244	6.35	5.92	41.3	3 160	338	259	8.4	6 330	516
244.5 x 4.8	9.625 x 0.188	41.8	33.4	244	4.76	4.42	55.3	2 400	254	197	8.5	4 790	393
219.1 x 15.9	8.625 x 0.625	118	94.8	219	15.90	14.80	14.8	4 950	618	454	7.2	9 950	908
219.1 x 12.7	8.625 x 0.500	95.7	76.8	219	12.70	11.80	18.5	4 160	508	379	7.3	8 280	757
219.1 x 9.5	8.625 x 0.375	72.9	58.5	219	9.53	8.86	24.7	3 240	392	295	7.4	6 490	592
219.1 x 8.2	8.625 x 0.322	63.0	50.6	219	7.94	7.62	28.8	2 830	341	259	7.5	5 660	518
219.1 x 6.4	8.625 x 0.250	49.3	39.6	219	6.35	5.92	37.0	2 250	269	205	7.5	4 500	411
219.1 x 4.8	8.625 x 0.188	37.4	29.8	219	4.78	4.42	49.6	1 720	203	157	7.6	3 430	313
219.1 x 9.5	7.625 x 0.375	64.1	51.5	219	9.53	8.86	21.8	2 200	303	228	6.6	4 410	456
219.1 x 8.3	7.625 x 0.328	56.4	45.2	219	8.33	7.75	25.0	1 960	269	202	6.6	3 920	405
190.5 x 12.7	7.500 x 0.500	82.5	66.5	191	12.70	11.80	16.1	2 660	377	279	6.3	5 330	559
190.5 x 9.5	7.500 x 0.375	63.0	50.6	191	9.53	8.86	21.5	2 090	293	220	6.4	4 160	439
190.5 x 7.9	7.500 x 0.312	52.9	42.5	191	7.94	7.39	25.8	1 790	247	187	6.5	3 570	375
190.5 x 6.4	7.500 x 0.250	42.7	34.3	191	6.35	5.92	32.2	1 470	202	154	6.5	2 930	306
190.5 x 4.8	7.500 x 0.188	32.4	25.8	191	4.76	4.42	43.1	1 120	153	117	6.6	2 240	234
177.8 x 12.7	7 x 0.500	76.6	61.6	178	12.70	11.80	15.1	2 130	326	239	5.9	4 250	480
177.8 x 9.5	7 x 0.375	58.6	47	178	9.53	8.86	20.1	1 680	254	190	6.0	3 370	379

Designación (tamaños x espesor) (mm x mm x mm)	Designación (tamaños x espesor) (in x in x in)	W (kg/m)	A (cm^2)	d (mm)	t (mm)	t dis (mm)	h/t_w	I_x (cm^4)	Z_x (cm^3)	S_x (cm^3)	r_x (cm)	J (cm^4)	C (cm^3)
177.8 x 7.9	7 x 0.312	49.2	39.5	178	7.94	7.39	24.1	1 440	215	162	6.0	2 880	324
177.8 X 6.4	7 x 0.250	39.8	31.9	178	6.35	5.92	30.0	1 180	175	133	6.1	2 360	265
177.8 X 4.8	7 x 0.188	30.2	24.1	178	4.76	4.42	40.2	903	133	102	6.1	1 810	203
177.8 X 3.2	7 x 0.125	20.3	16.2	178	3.18	2.95	60.3	620	90.1	69.6	6.2	1 240	139
174.6 x 12.7	6.875 x 0.500	75.1	60.4	175	12.70	11.80	14.8	2 010	313	231	5.8	4 020	460
174.6 x 9.5	6.875 x 0.375	57.4	46.2	175	9.53	8.86	19.7	1 590	244	182	5.9	3 180	364
174.6 x 7.9	6.875 x 0.312	48.3	38.8	175	7.94	7.39	23.6	1 360	206	156	5.9	2 720	311
174.6 x 6.4	6.875 x 0.250	39.0	31.4	175	6.35	5.92	29.5	1 120	169	128	6.0	2 240	256
174.6 x 4.8	6.875 x 0.188	29.6	23.6	175	4.76	4.42	39.5	857	128	98.2	6.0	1 710	197
168.3 x 12.7	6.625 x 0.500	72.2	58.1	168	12.70	11.80	14.2	1 790	290	213	5.5	3 580	424
168.3 x 11	6.625 x 0.432	63.1	50.7	168	11.10	10.20	16.5	1 590	256	188	5.6	3 180	379
168.3 x 9.5	6.625 x 0.375	55.2	44.4	168	9.53	8.86	19.0	1 420	226	169	5.6	2 830	336
168.3 x 7.9	6.625 x 0.312	46.4	37.4	168	7.94	7.39	22.8	1 210	192	144	5.7	2 420	288
168.3 x 7.1	6.625 x 0.280	41.9	33.5	168	7.11	6.60	25.5	1 100	172	130	5.7	2 190	261
168.3 x 6.4	6.625 x 0.250	37.6	30.2	168	6.35	5.92	28.4	1 000	156	118	5.7	1 990	236
168.3 x 4.8	6.625 x 0.188	28.5	22.8	168	4.76	4.42	38.1	766	119	90.8	5.8	1 530	182
168.3 x 3.2	6.625 x 0.125	19.1	15.3	168	3.18	2.95	57.1	524	80.6	62.1	5.8	1 040	124
152.4 x 12.7	6 x 0.500	64.8	52.2	152	12.70	11.80	12.9	1 300	234	170	5.0	2 600	341
152.4 x 9.5	6 x 0.375	49.7	40	152	9.53	8.86	17.2	1 030	184	136	5.1	2 070	272
152.4 x 7.9	6 x 0.312	41.8	33.7	152	7.94	7.39	20.6	887	156	117	5.1	1 770	233
152.4 x 7.1	6 x 0.280	37.7	30.3	152	7.11	6.60	23.1	803	140	106	5.2	1 610	211
152.4 x 6.4	6 x 0.250	33.9	27.2	152	6.35	5.92	25.8	733	127	96.0	5.2	1 470	192
152.4 x 4.8	6 x 0.188	25.8	20.5	152	4.76	4.42	34.5	562	96.8	73.9	5.2	1 120	148
152.4 x 3.2	6 x 0.125	17.3	13.8	152	3.18	2.95	51.7	386	65.9	50.6	5.3	774	101
141.3 x 12.7	5.563 x 0.500	59.7	48.1	141	12.70	11.80	12.0	1 020	198	144	4.6	2 030	287
141.3 x 9.5	5.563 x 0.375	45.9	36.9	141	9.53	8.86	15.9	812	156	115	4.7	1 620	229
141.3 x 6.6	5.563 x 0.258	32.3	25.9	141	6.55	6.10	23.2	591	111	83.9	4.8	1 190	167
141.3 x 4.8	5.563 x 0.188	23.8	19	141	4.76	4.42	32.0	445	82.8	63.1	4.9	891	126
141.3 x 3.4	5.563 x 0.134	17.1	13.7	141	3.40	3.15	44.9	326	60.1	46.2	4.9	653	92
139.7 x 12.7	5.500 x 0.500	58.9	47.5	140	12.70	11.80	11.8	978	193	140	4.6	1.960	280
139.7 x 9.5	5.500 x 0.375	45.3	36.5	140	9.53	8.86	15.8	783	152	112	4.7	1.570	225
139.7 x 6.6	5.500 x 0.258	31.9	25.6	140	6.55	6.10	22.9	570	109	81.9	4.7	1.140	164
127 x 12.7	5 x 0.500	53.0	42.7	127	12.70	11.80	10.8	716	157	113	4.1	1.430	226
127 x 9.5	5 x 0.375	40.9	32.9	127	9.53	8.86	14.3	579	124	90.9	4.2	1.150	182
127 x 7.9	5 x 0.312	34.5	27.7	127	7.94	7.39	17.2	499	106	78.5	4.2	999	157
127 x 6.6	5 x 0.258	28.8	23.2	127	6.55	6.10	20.8	425	89.1	66.9	4.3	849	134
127 x 6.4	5 x 0.250	28.0	22.5	127	6.35	5.92	21.5	414	86.9	65.1	4.3	828	130
127 x 4.8	5 x 0.188	21.3	17	127	4.76	4.42	28.7	320	66.4	50.5	4.3	641	101
127 x 3.2	5 x 0.125	14.4	11.5	127	3.18	2.95	43.1	221	45.4	34.7	4.4	441	70
114.3 x 9.5	4.500 x 0.375	36.5	29.4	114	9.53	8.86	12.9	411	98.8	71.9	3.7	820	144
114.3 x 8.6	4.500 x 0.337	33.1	26.6	114	8.56	7.95	14.4	378	90.1	66.0	3.8	753	132
114.3 x 6	4.500 x 0.237	23.8	19.1	114	6.02	5.59	20.5	283	66.0	49.5	3.9	566	99
114.3 x 4.8	4.500 x 0.188	19.1	15.2	114	4.76	4.42	25.9	231	53.4	40.3	3.9	462	81
114.3 x 3.2	4.500 x 0.125	12.9	10.3	114	3.18	2.95	38.8	160	36.5	28.0	3.9	320	56
101.6 x 8	4 x 0.313	27.2	21.9	102	7.94	7.39	13.7	244	65.7	48.0	3.4	487	96
101.6 x 6.4	4 x 0.250	22.0	17.8	102	6.35	5.92	17.2	204	54.2	40.1	3.4	409	81
101.6 x 6	4 x 0.237	21.0	16.8	102	6.02	5.59	18.2	195	51.6	38.3	3.4	390	77

Designación (tamaños x espesor) (mm x mm x mm)	Designación (tamaños x espesor) (in x in x in)	W (kg/m)	A (cm^2)	d (mm)	t (mm)	t dis (mm)	h/t_w	I_x (cm^4)	Z_x (cm^3)	S_x (cm^3)	r_x (cm)	J (cm^4)	C (cm^3)
101.6 x 5.7	4 x 0.226	20.1	16.1	102	5.74	5.33	19.0	187	49.5	36.9	3.4	375	74
101.6 x 5.6	4 x 0.220	19.6	15.7	102	5.59	5.21	19.5	184	48.5	36.2	3.4	368	72
101.6 x 4.8	4 x 0.188	16.9	13.5	102	4.76	4.42	23.0	159	41.8	31.5	3.4	319	63
101.6 x 3.2	4 x 0.125	11.4	9.16	102	3.18	2.95	34.5	111	28.7	22.0	3.5	222	44
88.9 x 8	3.500 x 0.313	23.5	18.9	88.9	7.95	7.39	12.0	159	49.2	35.7	2.9	317	71
88.9 x 7.6	3.500 x 0.300	22.6	18.2	88.9	7.62	7.09	12.5	154	47.5	34.6	2.9	307	69
88.9 x 6.4	3.500 x 0.250	19.1	15.4	88.9	6.35	5.92	15.0	134	40.8	30.0	3.0	267	60
88.9 x 5.5	3.500 x 0.216	16.7	13.4	88.9	5.49	5.11	17.4	118	35.9	26.7	3.0	237	53
88.9 x 5.2	3.500 x 0.203	15.8	12.7	88.9	5.16	4.80	18.5	112	33.9	25.2	3.0	225	51
88.9 x 4.8	3.500 x 0.188	14.7	11.7	88.9	0.48	4.42	20.1	105	31.6	23.6	3.0	210	47
88.9 x 3.2	3.500 x 0.125	9.94	7.94	88.9	3.18	2.95	30.2	74	21.8	16.6	3.1	147	33
76.2 x 6.4	3 x 0.250	16.2	13.1	76.2	6.35	5.92	12.9	81	29.3	21.3	2.5	162	43
76.2 x 5.5	3 x 0.216	14.2	11.4	76.2	5.49	5.11	14.9	72	25.9	19.0	2.5	145	38
76.2 x 5.2	3 x 0.203	13.4	10.8	76.2	5.16	4.80	15.9	69	24.6	18.0	2.5	138	36
76.2 x 4.8	3 x 0.188	12.5	9.94	76.2	4.76	4.42	17.2	65	22.8	16.9	2.5	129	34
76.2 x 3.9	3 x 0.152	10.2	8.19	76.2	3.86	3.58	21.3	54	18.8	14.2	2.6	108	28
76.2 x 3.4	3 x 0.134	9.05	7.23	76.2	3.40	3.15	24.2	48	16.9	12.7	2.6	97	25
76.2 x 3.2	3 x 0.125	8.47	6.77	76.2	3.18	2.95	25.9	45	15.8	12.0	2.6	91	24
73 x 6.4	2.875 x 0.250	15.5	12.5	73	6.35	5.92	12.3	71	26.7	19.3	2.4	142	39
73 x 5.2	2.875 x 0.203	12.8	10.3	73	5.16	4.80	15.2	60	22.5	16.6	2.4	120	33
73 x 4.8	2.875 x 0.188	11.9	9.55	73	4.76	4.42	16.5	56	20.8	15.4	2.4	112	31
73 x 3.2	2.875 x 0.125	8.10	6.52	73	3.18	2.95	24.8	40	14.5	10.9	2.5	80	22
63.5 x 6.4	2.500 x 0.250	13.3	10.7	63.5	6.35	5.92	10.7	45	19.7	14.1	2.1	90	28
63.5 x 4.8	2.500 x 0.188	10.2	8.19	63.5	4.76	4.42	14.4	36	15.5	11.3	2.1	72	23
63.5 x 3.2	2.500 x 0.125	7.00	5.61	63.5	3.18	2.95	21.6	26	10.8	8.11	2.1	52	16
60.3 x 6.4	2.375 x 0.250	12.5	10.1	60.3	6.35	5.92	10.2	38	17.5	12.6	1.9	76	25
60.3 x 5.5	2.375 x 0.218	11.1	8.97	60.3	5.54	5.16	11.7	34	15.7	11.4	2.0	69	23
60.3 x 4.8	2.375 x 0.188	9.69	7.74	60.3	4.76	4.42	13.6	31	13.8	10.1	2.0	61	20
60.3 x 3.9	2.375 x 0.154	8.06	6.45	60.3	3.91	3.63	16.6	26	11.7	8.65	2.0	52	17
60.3 x 3.2	2.375 x 0.125	6.63	5.31	60.3	3.18	2.95	20.5	22	9.70	7.26	2.0	44	15
48.3 x 3.7	1.900 x 0.188	7.59	6.08	48.3	4.76	4.42	10.9	15	8.52	6.13	1.6	30	12
48.3 x 3.7	1.900 x 0.145	6.00	4.83	48.3	3.68	3.43	14.1	12	6.90	5.06	1.6	24	10
48.3 x 3.0	1.900 x 0.120	5.03	4.03	48.3	3.05	2.82	17.1	10	5.83	4.33	1.6	21	9
42.2 x 3.6	1.660 x 0.140	5.02	4.03	42.2	3.56	3.30	12.8	8	5.00	3.64	1.4	15	7

CAPITULO

VII

VII.12 2L (S)

Designación (tamaños x t) (mm x mm x mm)	Designación (tamaños x t) (in x in x in)	W (kg/m)	A (cm^2)	d (cm)	t (mm)	$\bar{y}$ (cm)	I_x (cm^4)	Z_x (cm^3)	S_x (cm^3)	r_x (cm)	r_y (cm)	r_o (cm)	H
8 x 8 x 1-1/8	203 x 203 x 28.6	169	217	20.3	28.6	6.1	8 160	1 040	574	6.12	8.66	11.6	0.84
8 x 8 x 1-1/8 x 3/8	203 x 203 x 28.6 x 9	169	217	20.3	28.6	6.1	8 160	1 040	574	6.12	8.99	11.8	0.84
8 x 8 x 1-1/8 x 3/4	203 x 203 x 28.6 x 19	169	217	20.3	28.6	6.1	8 160	1 040	574	6.12	9.35	12.1	0.85
8 x 8 x 1	203 x 203 x 25.4	152	195	20.3	25.4	5.99	7 410	934	518	6.17	8.61	11.6	0.83
8 x 8 x 1 X 3/8	203 x 203 x 25.4 x 9	152	195	20.3	25.4	5.99	7 410	934	518	6.17	8.94	11.8	0.84
8 x 8 x 1 x 3/4	203 x 203 x 25.4 x 19	152	195	20.3	25.4	5.99	7 410	934	518	6.17	9.3	12.1	0.85
8 x 8 x 7/8	203 x 203 x 22.2	134	172	20.3	22.2	5.87	6 620	828	459	6.22	8.53	11.6	0.83
8 x 8 x 7/8 x 3/8	203 x 203 x 22.2 x 9	134	172	20.3	22.2	5.87	6 620	828	459	6.22	8.89	11.8	0.84
8 x 8 x 7/8 x 3/4	203 x 203 x 22.2 x 19	134	172	20.3	22.2	5.87	6 620	828	459	6.22	9.22	12.1	0.85
8 x 8 x 3/4	203 x 203 x 19	116	148	20.3	19.1	5.74	5 830	719	400	6.25	8.48	11.6	0.83
8 x 8 x 3/4 x 3/8	203 x 203 x 19 x 9	116	148	20.3	19.1	5.74	5 830	719	400	6.25	8.81	11.8	0.84
8 x 8 x 3/4 x 3/4	203 x 203 x 19 x 19	116	148	20.3	19.1	5.74	5 830	719	400	6.25	9.17	12.1	0.84
8 x 8 x 5/8	203 x 203 x 15.9	97.4	125	20.3	15.9	5.61	4 950	608	338	6.3	8.43	11.6	0.83
8 x 8 x 5/8 x 3/8	203 x 203 x 15.9 x 9	97.4	125	20.3	15.9	5.61	4 950	608	338	6.3	8.76	11.8	0.83
8 x 8 x 5/8 x 3/4	203 x 203 x 15.9 x 19	97.4	125	20.3	15.9	5.61	4 950	608	338	6.3	9.09	12.1	0.84
8 x 8 x 9/16	203 x 203 x 14.3	88	113	20.3	14.3	5.56	4 500	552	306	6.32	8.41	11.6	0.83
8 x 8 x 9/16 x 3/8	203 x 203 x 14.3 x 9	88	113	20.3	14.3	5.56	4 500	552	306	6.32	8.74	11.8	0.83
8 x 8 x 9/16 x 3/4	203 x 203 x 14.3 x 19	88	113	20.3	14.3	5.56	4 500	552	306	6.32	9.07	12.1	0.84
8 x 8 x 1/2	203 x 203 x 12.7	78.6	101	20.3	12.7	5.51	4 060	493	274	6.32	8.38	11.6	0.82
8 x 8 x 1/2 x 3/8	203 x 203 x 12.7 x 9	78.6	101	20.3	12.7	5.51	4 060	493	274	6.32	8.71	11.8	0.83
8 x 8 x 1/2 x 3/4	203 x 203 x 12.7 x 19	78.6	101	20.3	12.7	5.51	4 060	493	274	6.32	9.04	12.1	0.84
6 x 6 x 1	152 x 152 x 25.4	78.6	142	15.2	25.4	4.72	2 950	505	280	4.55	6.55	8.69	0.84
6 x 6 x 1 x 3/8	152 x 152 x 25.4 x 9	111	142	15.2	25.4	4.72	2 950	505	280	4.55	6.91	8.97	0.85
6 x 6 x 1 x 3/4	152 x 152 x 25.4 x 19	111	142	15.2	25.4	4.72	2 950	505	280	4.55	7.26	9.25	0.86
6 x 6 x 7/8	152 x 152 x 22.2	98.6	126	15.2	22.2	4.6	2 660	449	249	4.6	6.5	8.69	0.84
6 x 6 x 7/8 x 3/8	152 x 152 x 22.2 x 9	98.6	126	15.2	22.2	4.6	2 660	449	249	4.6	6.86	8.97	0.85
6 x 6 x 7/8 x 3/4	152 x 152 x 22.2 x 19	98.6	126	15.2	22.2	4.6	2 660	449	249	4.6	7.21	9.22	0.86
6 x 6 x 3/4	152 x 152 x 19	85	109	15.2	19.1	4.5	2 340	392	218	4.62	6.45	8.69	0.84
6 x 6 x 3/4 x 3/8	152 x 152 x 19 x 9	85	109	15.2	19.1	4.5	2 340	392	218	4.62	6.78	8.94	0.84
6 x 6 x 3/4 x 3/4	152 x 152 x 19 x 19	85	109	15.2	19.1	4.5	2 340	392	218	4.62	7.14	9.22	0.85
6 x 6 x 5/8	152 x 152 x 15.9	72	92.3	15.2	15.9	4.37	2 010	331	185	4.67	6.4	8.69	0.83
6 x 6 x 5/8 x 3/8	152 x 152 x 15.9 x 9	72	92.3	15.2	15.9	4.37	2 010	331	185	4.67	6.73	8.94	0.84
6 x 6 x 5/8 x 3/4	152 x 152 x 15.9 x 19	72	92.3	15.2	15.9	4.37	2 010	331	185	4.67	7.09	9.19	0.85
6 x 6 x 9/16	152 x 152 x 14.3	64.8	83.2	15.2	14.3	4.32	1 840	302	167	4.7	6.38	8.69	0.83
6 x 6 x 9/16 x 3/8	152 x 152 x 14.3 x 9	64.8	83.2	15.2	14.3	4.32	1 840	302	167	4.7	6.71	8.94	0.84
6 x 6 x 9/16 x 3/4	152 x 152 x 14.3 x 19	64.8	83.2	15.2	14.3	4.32	1 840	302	167	4.7	7.06	9.19	0.85
6 x 6 x 1/2	152 x 152 x 12.7	58	74.2	15.2	12.7	4.24	1 650	269	150	4.72	6.35	8.69	0.83
6 x 6 x 1/2 x 3/8	152 x 152 x 12.7 x 9	58	74.2	15.2	12.7	4.24	1 650	269	150	4.72	6.68	8.94	0.84
6 x 6 x 1/2 x 3/4	152 x 152 x 12.7 x 19	58	74.2	15.2	12.7	4.24	1 650	269	150	4.72	7.01	9.19	0.85
6 x 6 x 7/16	152 x 152 x 11.1	51.2	65.8	15.2	11.1	4.19	1 470	238	133	4.72	6.32	8.69	0.83
6 x 6 x 7/16 x 3/8	152 x 152 x 11.1 x 9	51.2	65.8	15.2	11.1	4.19	1 470	238	133	4.72	6.65	8.94	0.84
6 x 6 x 7/16 x 3/4	152 x 152 x 11.1 x 19	51.2	65.8	15.2	11.1	4.19	1 470	238	133	4.72	6.99	9.19	0.84
6 x 6 x 3/8	152 x 152 x 9.5	44.4	56.5	15.2	9.53	4.11	1 280	205	115	4.75	6.3	8.69	0.82
6 x 6 x 3/8 x 3/8	152 x 152 x 9.5 x 9	44.4	56.5	15.2	9.53	4.11	1 280	205	115	4.75	6.6	8.92	0.83
6 x 6 x 3/8 x 3/4	152 x 152 x 9.5 x 19	44.4	56.5	15.2	9.53	4.11	1 280	205	115	4.75	6.96	9.17	0.84
6 x 6 x 5/16	152 x 152 x 7.9	37	47.4	15.2	7.94	4.06	1 080	172	96.7	4.78	6.27	8.69	0.82
6 x 6 x 5/16 x 3/8	152 x 152 x 7.9 x 9	37	47.4	15.2	7.94	4.06	1 080	172	96.7	4.78	6.58	8.92	0.83

Designación (tamaños x t) (mm x mm x mm)	Designación (tamaños x t) (in x in x in)	W (kg/m)	A (cm^2)	d (cm)	t (mm)	$\bar{y}$ (cm)	I_x (cm^4)	Z_x (cm^3)	S_x (cm^3)	r_x (cm)	r_y (cm)	r_o (cm)	H
6 x 6 x 5/16 x 3/4	152 x 152 x 7.9 x 19	37	47.4	15.2	7.94	4.06	1 080	172	96.7	4.78	6.91	9.17	0.84
5 x 5 X 7/8	127 x 127 x 22.2	0.8	103	12.7	22.2	3.96	1 480	305	169	3.78	5.49	7.24	0.85
5 x 5 x 7/8 x 3/8	127 x 127 x 22.2 x 9	80.6	103	12.7	22.2	3.96	1 480	305	169	3.78	5.84	7.52	0.86
5 x 5 x 7/8 x 3/4	127 x 127 x 22.2 x 19	80.6	103	12.7	22.2	3.96	1 480	305	169	3.78	6.2	7.8	0.87
5 x 5 x 3/4	127 x 127 x 19	70	90.3	12.7	19.1	3.86	1 310	267	148	3.81	5.41	7.24	0.84
5 x 5 x 3/4 x 3/8	127 x 127 x 19 x 9	70	90.3	12.7	19.1	3.86	1 310	267	148	3.81	5.77	7.49	0.85
5 x 5 x 3/4 x 3/4	127 x 127 x 19 x 19	70	90.3	12.7	19.1	3.86	1 310	267	148	3.81	6.12	7.77	0.86
5 x 5 x 5/8	127 x 127 x 15.9	59.2	76.1	12.7	15.9	3.73	1 130	228	126	3.86	5.36	7.24	0.84
5 x 5 x 5/8 x 3/8	127 x 127 x 15.9 x 9	59.2	76.1	12.7	15.9	3.73	1 130	228	126	3.86	5.72	7.49	0.85
5 x 5 x 5/8 x 3/4	127 x 127 x 15.9 x 19	59.2	76.1	12.7	15.9	3.73	1 130	228	126	3.86	6.07	7.77	0.86
5 x 5 x 1/2	127 x 127 x 12.7	48	61.8	12.7	12.7	3.61	937	185	103	3.89	5.31	7.24	0.83
5 x 5 x 1/2 x 3/8	127 x 127 x 12.7 x 9	48	61.8	12.7	12.7	3.61	937	185	103	3.89	5.64	7.47	0.84
5 x 5 x 1/2 x 3/4	127 x 127 x 12.7 x 19	48	61.8	12.7	12.7	3.61	937	185	103	3.89	5.99	7.75	0.85
5 x 5 x 7/16	127 x 127 x 11.1	42.4	54.5	12.7	11.1	3.56	837	164	91.3	3.91	5.28	7.24	0.83
5 x 5 x 7/16 x 3/8	127 x 127 x 11.1 x 9	42.4	54.5	12.7	11.1	3.56	837	164	91.3	3.91	5.61	7.47	0.84
5 x 5 x 7/16 x 3/4	127 x 127 x 11.1 x 19	42.4	54.5	12.7	11.1	3.56	837	164	91.3	3.91	5.97	7.75	0.85
5 x 5 x 3/8	127 x 127 x 9.5	36.4	47.1	12.7	9.53	3.48	728	142	79.1	3.94	5.26	7.21	0.83
5 x 5 x 3/8 x 3/8	127 x 127 x 9.5 x 9	36.4	47.1	12.7	9.53	3.48	728	142	79.1	3.94	5.59	7.47	0.84
5 x 5 x 3/8 x 3/4	127 x 127 x 9.5 x 19	36.4	47.1	12.7	9.53	3.48	728	142	79.1	3.94	5.94	7.72	0.85
5 x 5 x 5/16	127 x 127 x 7.9	30.6	39.5	12.7	7.94	3.43	620	120	66.7	3.96	5.23	7.21	0.83
5 x 5 x 5/16 x 3/8	127 x 127 x 7.9 x 9	30.6	39.5	12.7	7.94	3.43	620	120	66.7	3.96	5.56	7.47	0.84
5 x 5 x 5/16 x 3/4	127 x 127 x 7.9 x 19	30.6	39.5	12.7	7.94	3.43	620	120	66.7	3.96	5.89	7.72	0.85
4 x 4 x 3/4	102 x 102 x 19	55	70.3	10.2	19.1	3.23	633	164	91.4	3	4.39	5.79	0.85
4 x 4 x 3/4 x 3/8	102 x 102 x 19 x 9	55	70.3	10.2	19.1	3.23	633	164	91.4	3	4.78	6.07	0.86
4 x 4 x 3/4 x 3/4	102 x 102 x 19 x 19	55	70.3	10.2	19.1	3.23	633	164	91.4	3	5.16	6.38	0.87
4 x 4 x 5/8	102 x 102 x 15.9	46.8	59.4	10.2	15.9	3.1	549	140	78.2	3.05	4.34	5.79	0.84
4 x 4 x 5/8 x 3/8	102 x 102 x 15.9 x 9	46.8	59.4	10.2	15.9	3.1	549	140	78.2	3.05	4.7	6.07	0.85
4 x 4 x 5/8 x 3/4	102 x 102 x 15.9 x 19	46.8	59.4	10.2	15.9	3.1	549	140	78.2	3.05	5.08	6.35	0.87
4 x 4 x 1/2	102 x 102 x 12.7	38	48.3	10.2	12.7	3	458	115	64.1	3.07	4.29	5.79	0.83
4 x 4 x 1/2 x 3/8	102 x 102 x 12.7 x 9	38	48.3	10.2	12.7	3	458	115	64.1	3.07	4.65	6.05	0.85
4 x 4 x 1/2 x 3/4	102 x 102 x 12.7 x 19	38	48.3	10.2	12.7	3	458	115	64.1	3.07	5	6.32	0.86
4 x 4 x 7/16	102 x 102 x 11.1	33.4	42.6	10.2	11.1	2.92	410	102	56.9	3.1	4.27	5.79	0.83
4 x 4 x 7/16 x 3/8	102 x 102 x 11.1 x 9	33.4	42.6	10.2	11.1	2.92	410	102	56.9	3.1	4.6	6.05	0.85
4 x 4 x 7/16 x 3/4	102 x 102 x 11.1 x 19	33.4	42.6	10.2	11.1	2.92	410	102	56.9	3.1	4.98	6.32	0.86
4 x 4 x 3/8	102 x 102 x 9.5	29	36.8	10.2	9.53	2.87	360	88	49.3	3.12	4.24	5.79	0.83
4 x 4 x 3/8 x 3/8	102 x 102 x 9.5 x 9	29	36.8	10.2	9.53	2.87	360	88	49.3	3.12	4.57	6.05	0.84
4 x 4 x 3/8 x 3/4	102 x 102 x 9.5 x 19	29	36.8	10.2	9.53	2.87	360	88	49.3	3.12	4.93	6.32	0.86
4 x 4 x 5/16	102 x 102 x 7.9	24.2	31	10.2	7.94	2.82	306	74	41.6	3.15	4.22	5.79	0.83
4 x 4 x 5/16 x 3/8	102 x 102 x 7.9 x 9	24.2	31	10.2	7.94	2.82	306	74	41.6	3.15	4.55	6.02	0.84
4 x 4 x 5/16 x 3/4	102 x 102 x 7.9 x 19	24.2	31	10.2	7.94	2.82	306	74	41.6	3.15	4.9	6,3	0.85
4 x 4 x 1/4	102 x 102 x 6.4	19.6	25	10.2	6.35	2.74	250	60	33.6	3.18	4.19	5.79	0.82
4 x 4 x 1/4 x 3/8	102 x 102 x 6.4 x 9	19.6	25	10.2	6.35	2.74	250	60	33.6	3.18	4.52	6.02	0.84
4 x 4 x 1/4 x 3/4	102 x 102 x 6.4 x 19	19.6	25	10.2	6.35	2.74	250	60	33.6	3.18	4.85	6.3	0.85
3-1/2 x 3-1/2 x 1/2	89 x 89 x 12.7	32.8	42.1	8.89	12.7	2.67	302	87	48.5	2.67	3.78	5.05	0.84
3-1/2 x 3-1/2 x 1/2 x 3/8	89 x 89 x 12.7 x 9	32.8	42.1	8.89	12.7	2.67	302	87	48.5	2.67	4.14	5.33	0.85
3-1/2 x 3-1/2 x 1/2 x 3/4	89 x 89 x 12.7 x 19	32.8	42.1	8.89	12.7	2.67	302	87	48.5	2.67	4.5	5.61	0.87
3-1/2 x 3-1/2 x 7/16	89 x 89 x 11.1	29.2	37.2	8.89	11.1	2.62	271	78	43.1	2.69	3.76	5.05	0.84

Designación (tamaños x t) (mm x mm x mm)	Designación (tamaños x t) (in x in x in)	W (kg/m)	A (cm^2)	d (cm)	t (mm)	$\bar{y}$ (cm)	I_x (cm^4)	Z_x (cm^3)	S_x (cm^3)	r_x (cm)	r_y (cm)	r_o (cm)	H
3-1/2 x 3-1/2 x 7/16 x 3/8	89 x 89 x 11.1 x 9	29.2	37.2	8.89	11.1	2.62	271	78	43.1	2.69	4.09	5.31	0.85
3-1/2 x 3-1/2 x 7/16 x 3/4	89 x 89 x 11.1 x 19	29.2	37.2	8.89	11.1	2.62	271	78	43.1	2.69	4.47	5.61	0.87
3-1/2 x 3-1/2 x 3/8	89 x 89 x 9.5	25.2	32.3	8.89	9.53	2.54	238	67	37.5	2.72	3.73	5.05	0.83
3-1/2 x 3-1/2 x 3/8 x 3/8	89 x 89 x 9.5 x 9	25.2	32.3	8.89	9.53	2.54	238	67	37.5	2.72	4.06	5.31	0.85
3-1/2 x 3-1/2 x 3/8 x 3/4	89 x 89 x 9.5 x 19	25.2	32.3	8.89	9.53	2.54	238	67	37.5	2.72	4.42	5.59	0.86
3-1/2 x 3-1/2 x 5/16	89 x 89 x 7.9	21.4	27.2	8.89	7.94	2.49	204	57	31.8	2.74	3.71	5.05	0.83
3-1/2 x 3-1/2 x 5/16 x 3/8	89 x 89 x 7.9 x 9	21.4	27.2	8.89	7.94	2.49	204	57	31.8	2.74	4.04	5.31	0.85
3-1/2 x 3-1/2 x 5/16 x 3/4	89 x 89 x 7.9 x 19	21.4	27.2	8.89	7.94	2.49	204	57	31.8	2.74	4.39	5.59	0.86
3-1/2 x 3-1/2 x 1/4	89 x 89 x 6.4	17.2	22	8.89	6.35	2.42	166	46	25.7	2.77	3.66	5.05	0.83
3-1/2 x 3-1/2 x 1/4 x 3/8	89 x 89 x 6.4 x 9	17.2	22	8.89	6.35	2.42	166	46	25.7	2.77	3.99	5.28	0.84
3-1/2 x 3-1/2 x 1/4 x 3/4	89 x 89 x 6.4 x 19	17.2	22	8.89	6.35	2.42	166	46	25.7	2.77	4.37	5.56	0.86
3 x 3 x 1/2	76 x 76 x 12.7	28	35.5	7.62	12.7	2.36	183	63	34.9	2.27	3.28	4.34	0.84
3 x 3 x 1/2 x 3/8	76 x 76 x 12.7 x 9	28	35.5	7.62	12.7	2.36	183	63	34.9	2.27	3.63	4.62	0.86
3 x 3 x 1/2 x 3/4	76 x 76 x 12.7 x 19	28	35.5	7.62	12.7	2.36	183	63	34.9	2.27	4.01	4.93	0.88
3 x 3 x 7/16	76 x 76 x 11.1	24.8	31.4	7.62	11.1	2.3	165	56	31	2.29	3.25	4.34	0.84
3 x 3 x 7/16 x 3/8	76 x 76 x 11.1 x 9	24.8	31.4	7.62	11.1	2.3	165	56	31	2.29	3.61	4.62	0.86
3 x 3 x 7/16 x 3/4	76 x 76 x 11.1 x 19	24.8	31.4	7.62	11.1	2.3	165	56	31	2.29	3.99	4.93	0.87
3 x 3 x 3/8	76 x 76 x 9.5	21.4	27.2	7.62	9.53	2.25	146	49	27	2.31	3.23	4.34	0.83
3 x 3 x 3/8 x 3/8	76 x 76 x 9.5 x 9	21.4	27.2	7.62	9.53	2.25	146	49	27	2.31	3.58	4.6	0.85
3 x 3 x 3/8 x 3/4	76 x 76 x 9.5 x 19	21.4	27.2	7.62	9.53	2.25	146	49	27	2.31	3.94	4.9	0.87
3 x 3 x 5/16	76 x 76 x 7.9	18.2	22.9	7.62	7.94	2.18	124	41	22.9	2.33	3.2	4.34	0.83
3 x 3 x 5/16 x 3/8	76 x 76 x 7.9 x 9	18.2	22.9	7.62	7.94	2.18	124	41	22.9	2.33	3.53	4.6	0.85
3 x 3 x 5/16 x 3/4	76 x 76 x 7.9 x 19	18.2	22.9	7.62	7.94	2.18	124	41	22.9	2.33	3.91	4.9	0.87
3 x 3 x 1/4	76 x 76 x 6.4	14.6	18.5	7.62	6.35	2.12	102	33	18.7	2.35	3.18	4.34	0.83
3 x 3 x 1/4 x 3/8	76 x 76 x 6.4 x 9	14.6	18.5	7.62	6.35	2.12	102	33	18.7	2.35	3.51	4.6	0.85
3 x 3 x 1/4 x 3/4	76 x 76 x 6.4 x 19	14.6	18.5	7.62	6.35	2.12	102	33	18.7	2.35	3.86	4.88	0.86
3 x 3 x 3/16	76 x 76 x 4.8	11	14.1	7.62	4.76	2.06	79	25	14.2	2.37	3.15	4.34	0.82
3 x 3 x 3/16 x 3/8	76 x 76 x 4.8 x 9	11	14.1	7.62	4.76	2.06	79	25	14.2	2.37	3.48	4.57	0.84
3 x 3 x 3/16 x 3/4	76 x 76 x 4.8 x 19	11	14.1	7.62	4.76	2.06	79	25	14.2	2.37	3.84	4.85	0.86
2-1/2 x 2-1/2 x 1/2	64 x 64 x 12.7	23	29	6.35	12.7	2.04	102	42	23.4	1.87	2.77	3.63	0.85
2-1/2 x 2-1/2 x 1/2 x 3/8	64 x 64 x 12.7 x 9	23	29	6.35	12.7	2.04	102	42	23.4	1.87	3.12	3.91	0.87
2-1/2 x 2-1/2 x 1/2 x 3/4	64 x 64 x 12.7 x 19	23	29	6.35	12.7	2.04	102	42	23.4	1.87	3.53	4.24	0.89
2-1/2 x 2-1/2 x 3/8	64 x 64 x 9.5	17.6	22.4	6.35	9.53	1.93	81	33	18.4	1.9	2.72	3.61	0.84
2-1/2 x 2-1/2 x 3/8 x 3/8	64 x 64 x 9.5 x 9	17.6	22.4	6.35	9.53	1.93	81	33	18.4	1.9	3.07	3.89	0.86
2-1/2 x 2-1/2 x 3/8 x 3/4	64 x 64 x 9.5 x 19	17.6	22.4	6.35	9.53	1.93	81	33	18.4	1.9	3.45	4.19	0.88
2-1/2 x 2-1/2 x 5/16	64 x 64 x 7.9	14.8	18.9	6.35	7.94	1.87	70	28	15.6	1.92	2.67	3.61	0.83
2-1/2 x 2-1/2 x 5/16 x 3/8	64 x 64 x 7.9 x 9	14.8	18.9	6.35	7.94	1.87	70	28	15.6	1.92	3.02	3.89	0.86
2-1/2 x 2-1/2 x 5/16 x 3/4	64 x 64 x 7.9 x 19	14.8	18.9	6.35	7.94	1.87	70	28	15.6	1.92	3.4	4.19	0.88
2-1/2 x 2-1/2 x 1/4	64 x 64 x 6.4	12.2	15.3	6.35	6.35	1.81	57	23	12.7	1.94	2.64	3.61	0.83
2-1/2 x 2-1/2 x 1/4 x 3/8	64 x 64 x 6.4 x 9	12.2	15.3	6.35	6.35	1.81	57	23	12.7	1.94	3	3.86	0.85
2-1/2 x 2-1/2 x 1/4 x 3/4	64 x 64 x 6.4 x 19	12.2	15.3	6.35	6.35	1.81	57	23	12.7	1.94	3.38	4.17	0.87
2-1/2 x 2-1/2 x 3/16	64 x 64 x 4.8	9.2	11.6	6.35	4.76	1.74	45	17	9.67	1.96	2.62	3.61	0.83
2-1/2 x 2-1/2 x 3/16 x 3/8	64 x 64 x 4.8 x 9	9.2	11.6	6.35	4.76	1.74	45	17	9.67	1.96	2.97	3.86	0.85
2-1/2 x 2-1/2 x 3/16 x 3/4	64 x 64 x 4.8 x 19	9.2	11.6	6.35	4.76	1.74	45	17	9.67	1.96	3.33	4.14	0.87
2 x 2 x 3/8	51 x 51 x 9.5	14	17.6	5.08	9.53	1.61	40	21	11.4	1.5	2.2	2.9	0.85
2 x 2 x 3/8 x 3/8	51 x 51 x 9.5 x 9	14	17.6	5.08	9.53	161	40	21	11.4	1.5	2.57	3.18	0.87
2 x 2 x 3/8 x 3/4	51 x 51 x 9.5 x 19	14	17.6	5.08	9.53	1.61	40	21	11.4	1.5	2.97	3.51	0.90

Designación (tamaños x t) (mm x mm x mm)	Designación (tamaños x t) (in x in x in)	W (kg/m)	A (cm^2)	d (cm)	t (mm)	$\bar{y}$ (cm)	I_x (cm^4)	Z_x (cm^3)	S_x (cm^3)	r_x (cm)	r_y (cm)	r_o (cm)	H
2 x 2 x 5/16	51 x 51 x 7.9	11.6	15	5.08	7.94	1.55	35	18	9.75	1.52	2.17	2.9	0.84
2 x 2 x 5/16 x 3/8	51 x 51 x 7.9 x 9	11.6	15	5.08	7.94	1.55	35	18	9.75	1.52	2.53	3.18	0.87
2 x 2 x 5/16 x 3/4	51 x 51 x 7.9 x 19	11.6	15	5.08	7.94	1.55	35	18	9.75	1.52	2.92	3.48	0.89
2 x 2 x 1/4	51 x 51 x 6.4	9.4	12.2	5.08	6.35	1.49	29	14	8.01	1.54	2.14	2.87	0.84
2 x 2 x 1/4 x 3/8	51 x 51 x 6.4 x 9	9.4	12.2	5.08	6.35	1.49	29	14	8.01	1.54	2.49	3.15	0.86
2 x 2 x 1/4 x 3/4	51 x 51 x 6.4 x 19	9.4	12.2	5.08	6.35	1.49	29	14	8.01	1.54	2.9	3.48	0.89
2 x 2 x 3/16	51 x 51 x 4.8	7.2	9.29	5.08	4.76	1.42	23	11	6.16	1.55	2.11	2.87	0.83
2 x 2 x 3/16 x 3/8	51 x 51 x 4.8 x 9	7.2	9.29	5.08	4.76	1.42	23	11	6.16	1.55	2.46	3.15	0.86
2 x 2 x 3/16 x 3/4	51 x 51 x 4.8 x 19	7.2	9.29	5.08	4.76	1.42	23	11	6.16	1.55	2.84	3.45	0.88
2 x 2 x 1/8	51 x 51 x 3.2	4.8	6.34	5.08	3.18	1.36	16	8	4.21	1.57	2.08	2.87	0.83
2 x 2 x 1/8 x 3/8	51 x 51 x 3.2 x 9	4.8	6.34	5.08	3.18	1.36	16	8	4.21	1.57	2.42	3.12	0.85
2 x 2 x 1/8 x 3/4	51 x 51 x 3.2 x 19	4.8	6.34	5.08	3.18	1.36	16	8	4.21	1.57	2.79	3.43	0.88

CAPITULO

VII

VII.13 2L LLBB

Designación (tamaños x t) (mm x mm x mm)	Designación (tamaños x t) (in x in x in)	W (kg/m)	A (cm²)	d (cm)	t (mm)	$\bar{y}$ (cm)	y_p (cm)	I_x (cm⁴)	Z_x (cm³)	S_x (cm³)	r_x (cm)	r_y (cm)	r_o (cm)	H
8 x 6 x 1	203 x 152 x 25.4	131	168	20.3	25.4	6.73	3.73	6 740	893	495	6.32	6.07	10.3	0.721
8 x 6 x 1 x 3/8	203 x 152 x 25.4 x 9	131	168	20.3	25.4	6.73	3.73	6 740	893	495	6.32	6.4	10.5	0.732
8 x 6 x 1 x 3/4	203 x 152 x 25.4 x 19	131	168	203	25.4	6.73	3.73	6 740	893	495	6.32	6.76	10.7	0.742
8 x 6 x 7/8	203 x 152 x 22	116	149	20.3	22.2	6.6	3.58	6 040	795	439	6.35	6.02	10.3	0.718
8 x 6 x 7/8 x 3/8	203 x 152 x 22.2 x 9	116	149	20.3	22.2	6.6	3.58	6 040	795	439	6.35	6.35	10.5	0.728
8 x 6 x 7/8 x 3/4	203 x 152 x 22.2 x 19	116	149	20.3	22.2	6.6	3.58	6 040	795	439	6.35	6.68	10.7	0.739
8 x 6 x 3/4	203 x 152 x 19	100	129	20.3	19.1	6.48	3.4	5 290	693	382	6.4	5.97	10.3	0.714
8 x 6 x 3/4 x 3/8	203 x 152 x 19 x 9	100	129	20.3	19.1	6.48	3.4	5 290	693	382	6.4	6.27	10.5	0.725
8 x 6 x 3/4 x 3/4	203 x 152 x 19 x 19	100	129	20.3	19.1	6.48	3.4	5 290	693	382	6.4	6.63	10.7	0.735
8 x 6 x 5/8	203 x 152 x 15.9	84.4	108	20.3	15.9	6.35	3.23	4 500	587	323	6.45	5.92	10.4	0.712
8 x 6 x 5/8 x 3/8	203 x 152 x 15.9 x 9	84.4	108	20.3	15.9	6.35	3.23	4 500	587	323	6.45	6.22	10.6	0.722
8 x 6 x 5/8 x 3/4	203 x 152 x 15.9 x 19	84.4	108	20.3	15.9	6.35	3.23	4 500	587	323	6.45	6.58	10.8	0.732
8 x 6 x 9/16	203 x 152 x 14.3	76.2	98.1	20.3	14.3	6.3	3.12	4 110	533	293	6.48	5.89	10.4	0.71
8 x 6 x 9/16 x 3/8	203 x 152 x 14.3 x 9	76.2	98.1	20.3	14.3	6.3	3.12	4 110	533	293	6.48	6.2	10.6	0.72
8 x 6 x 9/16 x 3/4	203 x 152 x 14.3 x 19	76.2	98.1	20.3	14.3	6.3	3.12	4 110	533	293	6.48	6.55	10.8	0.731
8 x 6 x 1	203 x 152 x 12.7	68.2	87.7	20.3	12.7	6.25	3.05	3 700	477	262	6.48	5.87	10.4	0.709
8 x 6 x 1/2 x 3/8	203 x 152 x 12.7 x 9	68.2	87.7	20.3	12.7	6.25	3.05	3 700	477	262	6.48	6.17	10.6	0.719
8 x 6 x 1/2 x 3/4	203 x 152 x 12.7 x 19	68.2	87.7	20.3	12.7	6.25	3.05	3 700	477	262	6.48	6.5	10.8	0.729
8 x 6 x 7/16	203 x 152 x 11.1	59.8	77.4	20.3	11.1	6.17	2.95	3 280	421	231	6.5	5.84	10.4	0.708
8 x 6 x 7/16 x 3/8	203 x 152 x 11.1 x 9	59.8	77.4	20.3	11.1	6.17	2.95	3 280	421	231	6.5	6.15	10.6	0.718
8 x 6 x 7/16 x 3/4	203 x 152 x 11.1 x 19	59.8	77.4	20.3	11.1	6.17	2.95	3 280	421	231	6.5	6.48	10.8	0.728
8 x 4 x 1	203 x 102 x 25.4	111	143	20.3	25.4	7.7	6.27	5 790	796	460	6.38	3.71	9.8	0.568
8 x 4 x 1 x 3/8	203 x 102 x 25.4 x 9	111	143	20.3	25.4	7.7	6.27	5 790	796	460	6.38	4.06	9.93	0.58
8 x 4 x 1 x 3/4	203 x 102 x 25.4 x 19	111	143	20.3	25.4	7.7	6.27	5 790	796	460	6.38	4.45	10.1	0.594
8 x 4 x 7/8	203 x 102 x 22	98.6	126	20.3	22.2	7.59	6.12	5 200	711	410	6.43	3.66	9.83	0.566
8 x 4 x 7/8 x 3/8	203 x 102 x 22.2 x 9	98.6	126	20.3	22.2	7.59	6.12	5 200	711	410	6.43	3.99	10	0.577
8 x 4 x 7/8 x 3/4	203 x 102 x 22.2 x 19	98.6	126	20.3	22.2	7.59	6.12	5 200	711	410	6.43	4.37	10.1	0.59
8 x 4 x 3/4	203 x 102 x 19	85.4	110	20.3	19.1	7.47	5.94	4 580	621	356	6.48	3.61	9.86	0.564
8 x 4 x 3/4 x 3/8	203 x 102 x 19 x 9	85.4	110	20.3	19.1	7.47	5.94	4 580	621	356	6.48	3.94	10	0.575
8 x 4 x 3/4 x 3/4	203 x 102 x 19 x 19	85.4	110	20.3	19.1	7.47	5.94	4 580	621	356	6.48	4.29	10.1	0.587
8 x 4 x 5/8	203 x 102 x 15.9	72	92.3	20.3	15.9	7.34	5.77	3 920	528	302	6.5	3.53	9.88	0.562
8 x 4 x 5/8 x 3/8	203 x 102 x 15.9 x 9	72	92.3	20.3	15.9	7.34	5.77	3 920	528	302	6.5	3.86	10	0.573
8 x 4 x 5/8 x 3/4	203 x 102 x 15.9 x 19	72	92.3	20.3	15.9	7.34	5.77	3 920	528	302	6.5	4.22	10.1	0.585
8 x 4 x 9/16	203 x 102 x 14.3	65.2	83.9	20.3	14.3	7.26	5.66	3 570	479	274	6.53	3.51	9.91	0.562
8 x 4 x 9/16 x 3/8	203 x 102 x 14.3 x 9	65.2	83.9	20.3	14.3	7.26	5.66	3 570	479	274	6.53	3.84	10	0.572
8 x 4 x 9/16 x 3/4	203 x 102 x 14.3 x 19	65.2	83.9	20.3	14.3	7.26	5.66	3 570	479	274	6.53	4.19	10.2	0.584
8 x 4 x 1	203 x 102 x 12.7	58.4	74.8	20.3	12.7	7.21	5.59	3 210	429	246	6.55	3.51	9.91	0.561
8 x 4 x 1/2 x 3/8	203 x 102 x 12.7 x 9	58.4	74.8	20.3	12.7	7.21	5.59	3 210	429	246	6.55	3.81	10	0.571
8 x 4 x 1/2 x 3/4	203 x 102 x 12.7 x 1 9	58.4	74.8	20.3	12.7	7.21	5.59	3 210	429	246	6.55	4.14	10.2	0.583
8 x 4 x 7/16	203 x 102 x 11.1	51.2	65.8	20.3	11.1	7.14	5.49	2 850	380	216	6.58	3.48	9.93	0.561
8 x 4 x 7/16 x 3/8	203 x 102 x 11.1 x 9	51.2	65.8	20.3	11.1	7.14	5.49	2 850	380	216	6.58	3.78	10	0.571
8 x 4 x 7/16 x 3/4	203 x 102 x 11.1 x 19	51.2	65.8	20.3	11.1	7.14	5.49	2 850	380	216	6.58	4.11	10.2	0.582
7 x 4 x 3/4	178 x 102 x 19	77.6	99.4	17.8	19.1	6.35	4.75	3 150	483	275	5.61	3.76	8.66	0.611
7 x 4 x 3/4 x 3/8	178 x 102 x 19 x 9	77.6	99.4	17.8	19.1	6.35	4.75	3 150	483	275	5.61	4.09	8.81	0.624
7 x 4 x 3/4 x 3/4	178 x 102 x 19 x 19	77.6	99.4	17.8	19.1	6.35	4.75	3 150	483	275	5.61	4.45	8.97	0.639
7 x 4 x 5/8	178 x 102 x 15.9	65.4	83.9	17.8	15.9	6.22	4.57	2 690	411	233	5.66	3.68	8.69	0.608
7 x 4 x 5/8 x 3/8	178 x 102 x 15.9 x 9	65.4	83.9	17.8	15.9	6.22	4.57	2 690	411	233	5.66	4.01	8.81	0.621

Designación (tamaños x t)	Designación (tamaños x t)	W	A	d	t	$\bar{y}$	y_p	I_x	Z_x	S_x	r_x	r_y	r_o	H
(mm x mm x mm)	(in x in x in)	(kg/m)	(cm^2)	(cm)	(mm)	(cm)	(cm)	(cm^4)	(cm^3)	(cm^3)	(cm)	(cm)	(cm)	
7 x 4 x 5/8 x 3/4	178 x 102 x 15.9 x 19	65.4	83.9	17.8	15.9	6.22	4.57	2 690	411	233	5.66	4.39	8.99	0.635
7 x 4 x 1	178 x 102 x 12.7	53	67.7	17.8	12.7	6.1	4.42	2 220	334	190	5.72	3.66	8.71	0.606
7 x 4 x 1/2 x 3/8	178 x 102 x 12.7 x 9	53	67.7	17.8	12.7	6.1	4.42	2 220	334	190	5.72	3.96	8.84	0.618
7 x 4 x 1/2 x 3/4	178 x 102 x 12.7 x 19	53	67.7	17.8	12.7	6.1	4.42	2 220	334	190	5.72	4.32	9.02	0.632
7 x 4 x 7/16	178 x 102 x 11.1	46.8	59.8	17.8	11.1	6.05	4.32	1 970	297	167	5.74	3.63	8.71	0.605
7 x 4 x 7/16 x 3/8	178 x 102 x 11.1 x 9	46.8	59.8	17.8	11.1	6.05	4.32	1 970	297	167	5.74	3.94	8.86	0.617
7 x 4 x 7/16 x 3/4	178 x 102 x 11.1 x 19	46.8	59.8	17.8	11.1	6.05	4.32	1 970	297	167	5.74	4.27	9.02	0.63
7 x 4 x 3/8	178 x 102 x 9.5	40.4	51.6	17.8	9.53	5.97	4.24	1 710	256	145	5.77	3.61	8.74	0.605
7 x 4 x 3/8 x 3/8	178 x 102 x 9.5 x 9	40.4	51.6	17.8	9.53	5.97	4.24	1 710	256	145	5.77	3.91	8.86	0.616
7 x 4 x 3/8 x 3/4	178 x 102 x 9.5 x 19	40.4	51.6	17.8	9.53	5.97	4.24	1 710	256	145	5.77	4.24	9.02	0.629
6 x 4 x 7/8	152 x 102 x 22	81	103	15.2	22.2	5.38	3.66	2 310	415	234	4.72	3.99	7.52	0.678
6 x 4 x 7/8 x 3/8	152 x 102 x 22.2 x 9	81	103	15.2	22.2	5.38	3.66	2 310	415	234	4.72	4.34	7.72	0.694
6 x 4 x 7/8 x 3/4	152 x 102 x 22.2 x 19	81	103	15.2	22.2	5.38	3.66	2 310	415	234	4.72	4.72	7.92	0.71
6 x 4 x 3/4	152 x 102 x 19	70.2	89.7	15.2	19.1	5.26	3.51	2 040	364	205	4.78	3.94	7.54	0.673
6 x 4 x 3/4 x 3/8	152 x 102 x 19 x 9	70.2	89.7	15.2	19.1	5.26	3.51	2 040	364	205	4.78	4.27	7.72	0.688
6 x 4 x 3/4 x 3/4	152 x 102 x 19 x 19	70.2	89.7	15.2	19.1	5.26	3.51	2 040	364	205	4.78	4.65	7.92	0.705
6 x 4 x 5/8	152 x 102 x 15.9	59.6	75.5	15.2	15.9	5.16	3.33	1 750	310	174	4.8	3.89	7.57	0.669
6 x 4 x 5/8 x 3/8	152 x 102 x 15.9 x 9	59.6	75.5	15.2	15.9	5.16	3.33	1 750	310	174	4.8	4.22	7.75	0.684
6 x 4 x 5/8 x 3/4	152 x 102 x 15.9 x 19	59.6	75.5	15.2	15.9	5.16	3.33	1 750	310	174	4.8	4.57	7.95	0.7
6 x 4 x 9/16	152 x 102 x 14.3	53	68.4	15.2	14.3	5.08	3.25	1 600	282	157	4.83	3.86	7.57	0.667
6 x 4 x 9/16 x 3/8	152 x 102 x 14.3 x 9	53	68.4	15.2	14.3	5.08	3.25	1 600	282	157	4.83	4.19	7.75	0.682
6 x 4 x 9/16 x 3/4	152 x 102 x 14.3 x 19	53	68.4	15.2	14.3	5.08	3.25	1 600	282	157	4.83	4.55	7.95	0.697
6 x 4 x 1	152 x 102 x 12.7	48.2	61.3	15.2	12.7	5.03	3.18	1 440	252	141	4.85	3.84	7.59	0.665
6 x 4 x 1/2 x 3/8	152 x 102 x 12.7 x 9	48.2	61.3	15.2	12.7	5.03	3.18	1 440	252	141	4.85	4.17	7.75	0.679
6 x 4 x 1/2 x 3/4	152 x 102 x 12.7 x 19	48.2	61.3	15.2	12.7	5.03	3.18	1 440	252	141	4.85	4.5	7.95	0.695
6 x 4 x 7/16	152 x 102 x 11.1	42.6	53.9	15.2	11.1	4.95	3.1	1 280	223	125	4.88	3.81	7.59	0.663
6 x 4 x 7/16 x 3/8	152 x 102 x 11.1 x 9	42.6	53.9	15.2	11.1	4.95	3.1	1 280	223	125	4.88	4.11	7.77	0.678
6 x 4 x 7/16 x 3/4	152 x 102 x 11.1 x 19	42.6	53.9	15.2	11.1	4.95	3.1	1 280	223	125	4.88	4.47	7.95	0.693
6 x 4 x 3/8	152 x 102 x 9.5	36.6	46.6	15.2	9.53	4.9	3.02	1 120	193	108	4.9	3.78	7.59	0.662
6 x 4 x 3/8 x 3/8	152 x 102 x 9.5 x 9	36.6	46.6	15.2	9.53	4.9	3.02	1 120	193	108	4.9	4.09	7.77	0.676
6 x 4 x 3/8 x 3/4	152 x 102 x 9.5 x 19	36.6	46.6	15.2	9.53	4.9	3.02	1 120	193	108	4.9	4.45	7.95	0.691
6 x 4 x 5/16	152 x 102 x 7.9	30.6	39	15.2	7.94	4.83	2.95	945	162	90.9	4.93	3.76	7.62	0.661
6 x 4 x 5/16 x 3/8	152 x 102 x 7.9 x 9	30.6	39	15.2	7.94	4.83	2.95	945	162	90.9	4.93	4.06	7.77	0.674
6 x 4 x 5/16 x 3/4	152 x 102 x 7.9 x 19	30.6	39	15.2	7.94	4.83	2.95	945	162	90.9	4.93	4.42	7.95	0.689
6 x 3-1/2 x 1	152 x 89 x 12.7	45.4	58.3	15.2	12.7	5.26	3.76	1 380	246	138	4.88	3.23	7.47	0.615
6 x 3-1/2 x 1/2 x 3/8	152 x 89 x 12.7 x 9	45.4	58.3	15.2	12.7	5.26	3.76	1 380	246	138	4.88	3.56	7.59	0.63
6 x 3-1/2 x 1/2 x 3/4	152 x 89 x 12.7 x 19	45.4	58.3	15.2	12.7	5.26	3.76	1 380	246	138	4.88	3.91	7.77	0.646
6 x 3-1/2 x 3/8	152 x 89 x 9.5	34.6	44.4	15.2	9.53	5.13	3.58	1 070	188	106	4.9	3.2	7.49	0.613
6 x 3-1/2 x 3/8 x 3/8	152 x 89 x 9.5 x 9	34.6	44.4	15.2	9.53	5.13	3.58	1 070	188	106	4.9	3.51	7.62	0.627
6 x 3-1/2 x 3/8 x 3/4	152 x 89 x 9.5 x 19	34.6	44.4	15.2	9.53	5.13	3.58	1 070	188	106	4.9	3.86	7.8	0.642
6 x 3-1/2 x 5/16	152 x 89 x 7.9	29	37.3	15.2	7.94	5.08	3.51	907	159	89.3	4.93	3.18	7.49	0.612
6 x 3-1/2 x 5/16 x 3/8	152 x 89 x 7.9 x 9	29	37.3	15.2	7.94	5.08	3.51	907	159	89.3	4.93	3.48	7.62	0.625
6 x 3-1/2 x 5/16 x 3/4	152 x 89 x 7.9 x 19	29	37.3	15.2	7.94	5.08	3.51	907	159	89.3	4.93	3.81	7.8	0.641
5 x 3-1/2 x 3/4	127 x 89 x 19	58.6	74.8	12.7	19.1	4.42	2.84	1 160	249	140	3.94	3.53	6.32	0.699
5 x 3-1/2 x 3/4 x 3/8	127 x 89 x 19 x 9	58.6	74.8	12.7	19.1	4.42	2.84	1 160	249	140	3.94	3.89	6.53	0.717
5 x 3-1/2 x 3/4 x 3/4	127 x 89 x 19 x 19	58.6	74.8	12.7	19.1	4.42	2.84	1 160	249	140	3.94	4.27	6.76	0.736
5 x 3-1/2 x 5/8	127 x 89 x 15.9	49.8	63.5	12.7	15.9	4.29	2.69	1 000	213	119	3.96	3.48	6.32	0.693

Designación (tamaños x t) (mm x mm x mm)	Designación (tamaños x t) (in x in x in)	W (kg/m)	A (cm²)	d (cm)	t (mm)	$\bar{y}$ (cm)	y_p (cm)	I_x (cm⁴)	Z_x (cm³)	S_x (cm³)	r_x (cm)	r_y (cm)	r_o (cm)	H
5 x 3-1/2 x 5/8 x 3/8	127 x 89 x 15.9 x 9	49.8	63.5	12.7	15.9	4.29	2.69	1 000	213	119	3.96	3.81	6.53	0.711
5 x 3-1/2 x 5/8 x 3/4	127 x 89 x 15.9 x 19	49.8	63.5	12.7	15.9	4.29	2.69	1 000	213	119	3.96	4.19	6.76	0.73
5 x 3-1/2 x 1	127 x 89 x 12.7	40.4	51.7	12.7	12.7	4.19	2.54	828	175	97.3	4.01	3.43	6.35	0.688
5 x 3-1/2 x 1/2 x 3/8	127 x 89 x 12.7 x 9	40.4	51.7	12.7	12.7	4.19	2.54	828	175	97.3	4.01	3.76	6.55	0.705
5 x 3-1/2 x 1/2 x 3/4	127 x 89 x 12.7 x 19	40.4	51.7	12.7	12.7	4.19	2.54	828	175	97.3	4.01	4.11	6.76	0.724
5 x 3-1/2 x 3/8	127 x 89 x 9.5	30.8	39.4	12.7	9.53	4.06	2.36	645	134	74.7	4.04	3.38	6.38	0.683
5 x 3-1/2 x 3/8 x 3/8	127 x 89 x 9.5 x 9	30.8	39.4	12.7	9.53	4.06	2.36	645	134	74.7	4.04	3.71	6.55	0.7
5 x 3-1/2 x 3/8 x 3/4	127 x 89 x 9.5 x 19	30.8	39.4	12.7	9.53	4.06	2.36	645	134	74.7	4.04	4.04	6.76	0.718
5 x 3-1/2 x 5/16	127 x 89 x 7.9	25.8	33	12.7	7.94	3.99	2.29	549	113	62.9	4.06	3.35	6.38	0.682
5 x 3-1/2 x 5/16 x 3/8	127 x 89 x 7.9 x 9	25.8	33	12.7	7.94	3.99	2.29	549	113	62.9	4.06	3.66	6.55	0.698
5 x 3-1/2 x 5/16 x 3/4	127 x 89 x 7.9 x 19	25.8	33	12.7	7.94	3.99	2.29	549	113	62.9	4.06	4.01	6.76	0.716
5 x 3-1/2 x 1/4	127 x 89 x 6.4	20.8	26.6	12.7	6.35	3.94	2.21	445	91.3	50.8	4.09	3.33	6.4	0.68
5 x 3-1/2 x 1/4 x 3/8	127 x 89 x 6.4 x 9	20.8	26.6	12.7	6.35	3.94	2.21	445	91.3	50.8	4.09	3.63	6.55	0.696
5 x 3-1/2 x 1/4 x 3/4	127 x 89 x 6.4 x 19	20.8	26.6	12.7	6.35	3.94	2.21	445	91.3	50.8	4.09	3.99	6.76	0.714
5 x 3 x 1	127 x 76 x 12.7	38	48.5	12.7	12.7	4.42	3.18	787	167	94.9	4.01	2.82	6.2	0.628
5 x 3 x 1/2 x 3/8	127 x 76 x 12.7 x 9	38	48.5	12.7	12.7	4.42	3.18	787	167	94.9	4.01	3.15	6.38	0.646
5 x 3 x 1/2 x 3/4	127 x 76 x 12.7 x 19	38	48.5	12.7	12.7	4.42	3.18	787	167	94.9	4.01	3.53	6.55	0.667
5 x 3 x 7/16	127 x 76 x 11.1	33.6	42.7	12.7	11.1	4.37	3.07	699	149	83.9	4.04	2.79	6.22	0.626
5 x 3 x 7/16 x 3/8	127 x 76 x 11.1 x 9	33.6	42.7	12.7	11.1	4.37	3.07	699	149	83.9	4.04	3.12	6.38	0.644
5 x 3 x 7/16 x 3/4	127 x 76 x 11.1 x 19	33.6	42.7	12.7	11.1	4.37	3.07	699	149	83.9	4.04	3.51	6.55	0.664
5 x 3 x 3/8	127 x 76 x 9.5	29.2	37	12.7	9.53	4.29	3	612	129	72.8	4.06	2.77	6.22	0.624
5 x 3 x 3/8 x 3/8	127 x 76 x 9.5 x 9	29.2	37	12.7	9.53	4.29	3	612	129	72.8	4.06	3.1	6.38	0.642
5 x 3 x 3/8 x 3/4	127 x 76 x 9.5 x 19	29.2	37	12.7	9.53	4.29	3	612	129	72.8	4.06	3.45	6.58	0.661
5 x 3 x 5/16	127 x 76 x 7.9	24.4	31	12.7	7.94	4.24	2.92	520	109	61.3	4.09	2.74	6.25	0.623
5 x 3 x 5/16 x 3/8	127 x 76 x 7.9 x 9	24.4	31	12.7	7.94	4.24	2.92	520	109	61.3	4.09	3.07	6.4	0.64
5 x 3 x 5/16 x 3/4	127 x 76 x 7.9 x 19	24.4	31	12.7	7.94	4.24	2.92	520	109	61.3	4.09	3.43	6.58	0.659
5 x 3 x 1/4	127 x 76 x 6.4	19.6	25	12.7	6.35	4.17	2.84	425	88	49.7	4.11	2.72	6.25	0.622
5 x 3 x 1/4 x 3/8	127 x 76 x 6.4 x 9	19.6	25	12.7	6.35	4.17	2.84	425	88	49.7	4.11	3.02	6.4	0.638
5 x 3 x 1/4 x 3/4	127 x 76 x 6.4 x 19	19.6	25	12.7	6.35	4.17	2.84	425	88	49.7	4.11	3.38	6.58	0.657
4 x 3-1/2 x 1	102 x 89 x 12.7	35.2	45.2	10.2	12.7	3.15	1.27	441	113	62.9	3.12	3.66	5.44	0.784
4 x 3-1/2 x 1/2 x 3/8	102 x 89 x 12.7 x 9	35.2	45.2	10.2	12.7	3.15	1.27	441	113	62.9	3.12	3.99	5.66	0.802
4 x 3-1/2 x 1/2 x 3/4	102 x 89 x 12.7 x 19	35.2	45.2	10.2	12.7	3.15	1.27	441	113	62.9	3.12	4.37	5.92	0.819
4 x 3-1/2 x 3/8	102 x 89 x 9.5	27	34.5	10.2	9.53	3.05	1.09	345	87.2	48.5	3.18	3.61	5.44	0.778
4 x 3-1/2 x 3/8 x 3/8	102 x 89 x 9.5 x 9	27	34.5	10.2	9.53	3.05	1.09	345	87.2	48.5	3.18	3.94	5.66	0.795
4 x 3-1/2 x 3/8 x 3/4	102 x 89 x 9.5 x 19	27	34.5	10.2	9.53	3.05	1.09	345	87.2	48.5	3.18	4.29	5.92	0.813
4 x 3-1/2 x 5/16	102 x 89 x 7.9	22.8	29	10.2	7.94	2.97	1.02	294	73.6	41	3.18	3.56	5.44	0.775
4 x 3-1/2 x 5/16 x 3/8	102 x 89 x 7.9 x 9	22.8	29	10.2	7.94	2.97	1.02	294	73.6	41	3.18	3.89	5.66	0.792
4 x 3-1/2 x 5/16 x 3/4	102 x 89 x 7.9 x 19	22.8	29	10.2	7.94	2.97	1.02	294	73.6	41	3.18	4.27	5.92	0.81
4 x 3-1/2 x 1/4	102 x 89 x 6.4	18.4	23.4	10.2	6.35	2.9	0.94	241	59.5	33.1	3.2	3.53	5.44	0.773
4 x 3-1/2 x 1/4 x 3/8	102 x 89 x 6.4 x 9	18.4	23.4	10.2	6.35	2.9	0.94	241	59.5	33.1	3.2	3.86	5.64	0.79
4 x 3-1/2 x 1/4 x 3/4	102 x 89 x 6.4 x 19	18.4	23.4	10.2	6.35	2.9	0.94	241	59.5	33.1	3.2	4.22	5.89	0.807
4 x 3 x 5/8	102 x 76 x 15.9	40.4	51.5	10.2	15.9	3.48	2.06	499	134	74.7	3.12	3.07	5.13	0.728
4 x 3 x 5/8 x 3/8	102 x 76 x 15.9 x 9	40.4	51.5	10.2	15.9	3.48	2.06	499	134	74.7	3.12	3.43	536	0.75
4 x 3 x 5/8 x 3/4	102 x 76 x 15.9 x 19	40.4	51.5	10.2	15.9	3.48	2.06	499	134	74.7	3.12	3.81	5.61	0.773
4 x 3 x 1	102 x 76 x 12.7	33	42	10.2	12.7	3.35	1.91	416	110	61.5	3.15	3.02	5.13	0.721
4 x 3 x 1/2 x 3/8	102 x 76 x 12.7 x 9	33	42	10.2	12.7	3.35	1.91	416	110	61.5	3.15	3.35	5.36	0.743
4 x 3 x 1/2 x 3/4	102 x 76 x 12.7 x 19	33	42	10.2	12.7	3.35	1.91	416	110	61.5	3.15	3.73	5.59	0.765

Designación (tamaños x t)	Designación (tamaños x t)	W	A	d	t	$\bar{y}$	y_p	I_x	Z_x	S_x	r_x	r_y	r_o	H
(mm x mm x mm)	(in x in x in)	(kg/m)	(cm^2)	(cm)	(mm)	(cm)	(cm)	(cm^4)	(cm^3)	(cm^3)	(cm)	(cm)	(cm)	
4 x 3 x 3/8	102 x 76 x 9.5	25.2	32.1	10.2	9.53	3.23	1.73	328	85	47.4	3.2	2.97	5.16	0.715
4 x 3 x 3/8 x 3/8	102 x 76 x 9.5 x 9	25.2	32.1	10.2	9.53	3.23	1.73	328	85	47.4	3.2	3.3	5.36	0.736
4 x 3 x 3/8 x 3/4	102 x 76 x 9.5 x 19	25.2	32.1	10.2	9.53	3.23	1.73	328	85	47.4	3.2	3.66	5.59	0.757
4 x 3 x 5/16	102 x 76 x 7.9	21.4	27	10.2	7.94	3.18	1.65	280	71.8	40	3.23	2.95	5.16	0.712
4 x 3 x 5/16 x 3/8	102 x 7 6 x 7.9 x 9	21.4	27	10.2	7.94	3.18	1.65	280	71.8	40	3.23	3.28	5.36	0.733
4 x 3 x 5/16 x 3/4	102 x 76 x 7.9 x 19	21.4	27	10.2	7.94	3.18	1.65	280	71.8	40	3.23	3.63	5.59	0.754
4 x 3 x 1/4	102 x 76 x 6.4	17.2	21.8	10.2	6.35	3.1	1.57	229	58.2	32.4	3.23	2.92	5.16	0.71
4 x 3 x 1/4 x 3/8	102 x 76 x 6.4 x 9	17.2	21.8	10.2	6.35	3.1	1.57	229	58,2	32.4	3.23	3.23	5.36	0.73
4 x 3 x 1/4 x 3/4	102 x 76 x 6.4 x 19	17.2	21.8	10.2	6.35	3.1	1.57	229	58.2	32.4	3.23	3.58	5.59	0.751
3-1/2 x 3 x 1	89 x 76 x 12.7	30.2	39	8.89	12.7	2.84	1.22	288	85.7	47.5	2.72	3.12	4.7	0.78
3-1/2 x 3 x 1/2 x 3/8	89 x 76 x 12.7 x 9	30.2	39	8.89	12.7	2.84	1.22	288	85.7	47.5	2.72	3.48	4.93	0.801
3-1/2 x 3 x 1/2 x 3/4	89 x 76 x 12.7 x 19	30.2	39	8.89	12.7	2.84	1.22	288	85.7	47.5	2.72	3.86	5.21	0.822
3-1/2 x 3 x 7/16	89 x 76 x 11.1	27	34.5	8.89	11.1	2.77	1.14	258	76.2	42.3	2.74	3.1	4.7	0.776
3-1/2 x 3 x 7/16 x 3/8	89 x 76 x 11.1 x 9	27	34.5	8.89	11.1	2.77	1.14	258	76.2	42.3	2.74	3.45	4.93	0.797
3-1/2 x 3 x 7/16 x 3/4	89 x 76 x 11.1 x 19	27	34.5	8.89	11.1	2.77	1.14	258	76.2	42.3	2.74	3.84	5.21	0.818
3-1/2 x 3 x 3/8	89 x 76 x 9.5	23.4	29.9	8.89	9.53	2.72	1.04	227	66.4	36.7	2.77	3.07	4.7	0.773
3-1/2 x 3 x 3/8 x 3/8	89 x 76 x 9.5 x 9	23.4	29.9	8.89	9.53	2.72	1.04	227	66.4	36.7	2.77	3.43	4.93	0.794
3-1/2 x 3 x 3/8 x 3/4	89 x 76 x 9.5 x 19	23.4	29.9	8.89	9.53	2.72	1.04	227	66.4	36.7	2.77	3.78	5.21	0.814
3-1/2 x 3 x 5/16	89 x 76 x 7.9	19.6	25.2	8.89	7.94	2.67	0.965	194	56.2	31.1	2.77	3.05	4.7	0.77
3-1/2 x 3 x 5/16 x 3/8	89 x 76 x 7.9 x 9	19.6	25.2	8.89	7.94	2.67	0.965	194	56.2	31.1	2.77	3.38	4.93	0.79
3-1/2 x 3 x 5/16 x 3/4	89 x 76 x 7.9 x 19	19.6	25.2	8.89	7.94	2.67	0.965	194	56.2	31.1	2.77	3.76	5.18	0.811
3-1/2 x 3 x 1/4	89 x 76 x 6.4	16	20.4	8.89	6.35	2.59	0.864	160	45.7	25.4	2.79	3.02	4.7	0.767
3-1/2 x 3 x 1/4 x 3/8	89 x 76 x 6.4 x 9	16	20.4	8.89	6.35	2.59	0.864	160	45.7	25.4	2.79	3.35	4.93	0.787
3-1/2 x 3 x 1/4 x 3/4	89 x 76 x 6.4 x 19	16	20.4	8.89	6.35	2.59	0.864	160	45.7	25.4	2.79	3.71	5.18	0.807
3-1/2 x 2-1/2 x 1	89 x 64 x 12.7	27.8	35.7	8.89	12.7	3.05	1.88	270	82.8	46.2	2.74	2.52	4.45	0.706
3-1/2 x 2-1/2 x 1/2 x 3/8	89 x 64 x 12.7 x 9	27.8	35.7	8.89	12.7	3.05	1.88	270	82.8	46.2	2.74	2.87	4.65	0.732
3-1/2 x 2-1/2 x 1/2 x 3/4	89 x 64 x 12.7 x 19	27.8	35.7	8.89	12.7	3.05	1.88	270	82.8	46.2	2.74	3.25	4.9	0.759
3-1/2 x 2-1/2 x 3/8	89 x 64 x 9.5	21.4	27.4	8.89	9.53	2.92	1.7	214	64.4	35.7	2.79	2.46	4.45	0.698
3-1/2 x 2-1/2 x 3/8 x 3/8	89 x 64 x 9.5 x 9	21.4	27.4	8.89	9.53	2.92	1.7	214	64.4	35.7	2.79	2.82	4.65	0.724
3-1/2 x 2-1/2 x 3/8 x 3/4	89 x 64 x 9.5 x 19	21.4	27.4	8.89	9.53	2.92	1.7	214	64.4	35.7	2.79	3.18	4.9	0.75
3-1/2 x 2-1/2 x 5/16	89 x 64 x 7.9	18	23.1	8.89	7.94	2.87	1.6	183	54.6	30.3	2.82	2.44	4.47	0.695
3-1/2 x 2-1/2 x 5/16 x 3/8	89 x 64 x 7.9 x 9	18	23.1	8.89	7.94	2.87	1.6	183	54.6	30.3	2.82	2.77	4.65	0.72
3-1/2 x 2-1/2 x 5/16 x 3/4	89 x 64 x 7.9 x 19	18	23.1	8.89	7.94	2.87	1.6	183	54.6	30.3	2.82	3.15	4.88	0.746
3-1/2 x 2-1/2 x 1/4	89 x 64 x 6.4	14.6	18.7	8.89	6.35	2.79	1.52	150	44.6	24.7	2.84	2.41	4.47	0.693
3-1/2 x 2-1/2 x 1/4 x 3/8	89 x 64 x 6.4 x 9	14.6	18.7	8.89	6.35	2.79	1.52	150	44.6	24.7	2.84	2.74	4.65	0.717
3-1/2 x 2-1/2 x 1/4 x 3/4B	89 x 64 x 6.4 x 19	14.6	18.7	8.89	6.35	2.79	1.52	150	44.6	24.7	2.84	3.1	4.88	0.742
3 x 2-1/2 x 1	76 x 64 x 12.7	25.2	32.3	7.62	12.7	2.53	1.24	173	61	33.9	2.31	2.64	3.99	0.774
3 x 2-1/2 x 1/2 x 3/8	76 x 64 x 12.7 x 9	25.2	32.3	7.62	12.7	2.53	1.24	173	61	33.9	2.31	3	4.22	0.8
3 x 2-1/2 1/2 x 3/4	76 x 64 x 12.7 x 19	25.2	32.3	7.62	12.7	2.53	1.24	173	61	33.9	2.31	3.38	4.52	0.824
3 x 2-1/2 x 7/16	76 x 64 x 11.1	22.6	28.6	7.62	11.1	2.47	1.17	155	54.2	30.2	2.33	2.59	3.99	0.769
3 x 2-1/2 x 7/16 x 3/8	76 x 64 x 11.1 x 9	22.6	28.6	7.62	11.1	2.47	1.17	155	54.2	30.2	2.33	2.95	4.22	0.795
3 x 2-1/2 x 7/16 x 3/4	76 x 64 x 11.1 x 19	22.6	28.6	7.62	11.1	2.47	1.17	155	54.2	30.2	2.33	3.35	4.5	0.819
3 x 2-1/2 x 3/8	76 x 64 x 9.5	19.6	24.9	7.62	9.53	2.41	1.09	137	47.4	26.4	2.35	2.57	3.99	0.764
3 x 2-1/2 x 3/8 x 3/8	76 x 64 x 9.5 x 9	19.6	24.9	7.62	9.53	2.41	1.09	137	47.4	26.4	2.35	2.92	4.22	0.79
3 x 2-1/2 x 3/8 x 3/4	76 x 64 x 9.5 x 19	19.6	24.9	7.62	9.53	2.41	1.09	137	47.4	26.4	2.35	3.3	4.5	0.815
3 x 2-1/2 x 5/16	76 x 64 x 7.9	16.6	21	7.62	7.94	2.35	1.02	118	40.3	22.3	2.37	2.54	3.99	0.76
3 x 2-1/2 x 5/16 x 3/8	76 x 64 x 7.9 x 9	16.6	21	7.62	7.94	2.35	1.02	118	40.3	22.3	2.37	2.9	4.22	0.785

Designación (tamaños x t) (mm x mm x mm)	Designación (tamaños x t) (in x in x in)	W (kg/m)	A (cm^2)	d (cm)	t (mm)	$\bar{y}$ (cm)	y_p (cm)	I_x (cm^4)	Z_x (cm^3)	S_x (cm^3)	r_x (cm)	r_y (cm)	r_o (cm)	H
3 x 2-1/2 x 5/16 x 3/4	76 x 64 x 7.9 x 19	16.6	21	7.62	7.94	2.35	1.02	118	40.3	22.3	2.37	3.28	4.47	0.81
3 x 2-1/2 x 1/4	76 x 64 x 6.4	13.4	17	7.62	6.35	2.29	0.914	97	32.8	18.2	2.39	2.52	3.99	0.756
3 x 2-1/2 x 1/4 x 3/8	76 x 64 x 6.4 x 9	13.4	17	7.62	6.35	2.29	0.914	97	32.8	18.2	2.39	2.84	4.22	0.781
3 x 2-1/2 x 1/4 x 3/4	76 x 64 x 6.4 x 19	13.4	17	7.62	6.35	2.29	0.914	97	32.8	18.2	2.39	3.23	4.47	0.806
3 x 2-1/2 x 3/16	76 x 64 x 4.8	10.2	12.9	7.62	4.76	2.22	0.838	75	24.9	13.9	2.41	2.49	3.99	0.753
3 x 2-1/2 x 3/16 x 3/8	76 x 64 x 4.8 x 9	10.2	12.9	7.62	4.76	2.22	0.838	75	24.9	13.9	2.41	2.82	4.19	0.778
3 x 2-1/2 x 3/16 x 3/4	76 x 64 x 4.8 x 19	10.2	12.9	7.62	4.76	2.22	0.838	75	24.9	13.9	2.41	3.18	4.45	0.802
3 x 2 x 1	76 x 51 x 12.7	22.8	29.2	7.62	12.7	2.74	1.88	160	58.2	32.8	2.34	2.02	3.73	0.684
3 x 2 x 1/2 x 3/8	76 x 51 x 12.7 x 9	22.8	29.2	7.62	12.7	2.74	1.88	160	58.2	32.8	2.34	2.39	3.94	0.717
3 x 2 x 1/2 x 3/4	76 x 51 x 12.7 x 19	22.8	29.2	7.62	12.7	2.74	1.88	160	58.2	32.8	2.34	2.79	4.22	0.751
3 x 2 x 3/8	76 x 51 x 9.5	17.4	22.6	7.62	9.53	2.62	1.7	128	45.6	25.6	2.38	1.96	3.76	0.675
3 x 2 x 3/8 x 3/8	76 x 51 x 9.5 x 9	17.4	22.6	7.62	9.53	2.62	1.7	128	45.6	25.6	2.38	2.31	3.94	0.707
3 x 2 x 3/8 x 3/4	76 x 51 x 9.5 x 19	17.4	22.6	7.62	9.53	2.62	1.7	128	45.6	25.6	2.38	2.72	4.19	0.739
3 x 2 x 5/16	76 x 51 x 7.9	14.8	19.1	7.62	7.94	2.57	1.6	110	38.8	21.6	2.4	1.93	3.76	0.671
3 x 2 x 5/16 x 3/8	76 x 51 x 7.9 x 9	14.8	19.1	7.62	7.94	2.57	1.6	110	38.8	21.6	2.4	2.28	3.96	0.702
3 x 2 x 5/16 x 3/4	76 x 51 x 7.9 x 19	14.8	19.1	7.62	7.94	2.57	1.6	110	38.8	21.6	2.4	2.67	4.19	0.734
3 x 2 x 1/4	76 x 51 x 6.4	12.2	15.5	7.62	6.35	2.49	1.52	91	31.8	17.7	2.42	1.9	3.76	0.668
3 x 2 x 1/4 x 3/8	76 x 51 x 6.4 x 9	12.2	15.5	7.62	6.35	2.49	1.52	91	31.8	17.7	2.42	2.24	3.96	0.698
3 x 2 x 1/4 x 3/4	76 x 51 x 6.4 x 19	12.2	15.5	7.62	6.35	2.49	1.52	91	31.8	17.7	2.42	2.62	4.19	0.73
3 x 2 x 3/16	76 x 51 x 4.8	9.2	11.8	7.62	4.76	2.42	1.42	70	24.4	13.6	2.44	1.88	3.78	0.666
3 x 2 x 3/16 x 3/8	76 x 51 x 4.8 x 9	9.2	11.8	7.62	4.76	2.42	1.42	70	24.4	13.6	2.44	2.21	3.94	0.695
3 x 2 x 3/16 x 3/4	76 x 51 x 4.8 x 19	9.2	11.8	7.62	4.76	2.42	1.42	70	24.4	13.6	2.44	2.59	4.17	0.726
2-1/2 x 2 x 3/8	64 x 51 x 9.5	15.8	20.1	6.35	9.53	2.1	1.09	76	32.1	17.9	1.95	2.07	3.28	0.754
2-1/2 x 2 x 3/8 x 3/8	64 x 51 x 9.5 x 9	15.8	20.1	6.35	9.53	2.1	1.09	76	32.1	17.9	1.95	2.43	3.51	0.786
2-1/2 x 2 x 3/8 x 3/4	64 x 51 x 9.5 x 19	15.8	20.1	6.35	9.53	2.1	1.09	76	32.1	17.9	1.95	2.82	3.78	0.817
2-1/2 x 2 x 5/16	64 x 51 x 7.9	13.4	17	6.35	7.94	2.04	0.991	66	27.5	15.3	1.97	2.04	3.28	0.748
2-1/2 x 2 x 5/16 x 3/8	64 x 51 x 7.9 x 9	13.4	17	6.35	7.94	2.04	0.991	66	27.5	15.3	1.97	2.4	3.51	0.781
2-1/2 x 2 x 5/16 x 3/4	64 x 51 x 7.9 x 19	13.4	17	6.35	7.94	2.04	0.991	66	27.5	15.3	1.97	2.79	3.78	0.812
2-1/2 x 2 x 1/4	64 x 51 x 6.4	10.8	13.8	6.35	6.35	1.98	0.914	55	22.6	12.5	1.99	2.02	3.28	0.744
2-1/2 x 2 x 1/4 x 3/8	64 x 51 x 6.4 x 9	10.8	13.8	6.35	6.35	1.98	0.914	55	22.6	12.5	1.99	2.36	3.51	0.775
2-1/2 x 2 x 1/4 x 3/4	64 x 51 x 6.4 x 19	10.8	13.8	6.35	6.35	1.98	0.914	55	22.6	12.5	1.99	2.74	3.78	0.806
2-1/2 x 2 x 3/16	64 x 51 x 4.8	8.4	10.6	6.35	4.76	1.92	0.813	43	17.4	9.59	2.01	1.99	3.28	0.74
2-1/2 x 2 x 3/16 x 3/8	64 x 51 x 4.8 x 9	8.4	10.6	6.35	4.76	1.92	0.813	43	17.4	9.59	2.01	2.33	3.51	0.771
2-1/2 x 2 x 3/16 x 3/4	64 x 51 x 4.8 x 19	8.4	10.6	6.35	4.76	1.92	0.813	43	17.4	9.59	2.01	2.72	3.76	0.801

CAPITULO

VII

VII.14 2L SLBB

Designación (tamaños x t) (mm x mm x mm)	Designación (tamaños x t) (in x in x in)	W (kg/m)	A (cm^2)	d (cm)	t (mm)	$\bar{y}$ (cm)	y_p (cm)	I_x (cm^4)	Z_x (cm^3)	S_x (cm^3)	r_x (cm)	r_y (cm)	r_o (cm)	H
8 x 6 x 1	203 x 152 x 25.4	131	168	15.2	25.4	4.19	2.08	3 230	531	292	4.37	9.22	10.6	0.924
8 x 6 x 1 x 3/8	203 x 152 x 25.4 x 9	131	168	15.2	25.4	4.19	2.08	3 230	531	292	4.37	9.58	10.9	0.929
8 x 6 x 1 x 3/4	203 x 152 x 25.4 x 19	131	168	15.2	25.4	4.19	2.08	3 230	531	292	4.37	9.93	11.3	0.933
8 x 6 x 7/8	203 x 152 x 22.2	116	149	15.2	22.2	4.06	1.83	2 910	470	261	4.42	9.17	10.6	0.922
8 x 6 x 7/8 x 3/8	203 x 152 x 22.2 x 9	116	149	15.2	22.2	4.06	1.83	2 910	470	261	4.42	9.53	10.9	0.926
8 x 6 x 7/8 x 3/4	203 x 152 x 22.2 x 19	116	149	15.2	22.2	4.06	1.83	2 910	470	261	4.42	9.88	11.2	0.93
8 x 6 x 3/4	203 x 152 x 19	100	129	15.2	19.1	3.96	1.57	2 560	408	226	4.45	9.12	10.6	0.919
8 x 6 x 3/4 x 3/8	203 x 152 x 19 x 9	100	129	15.2	19.1	3.96	1.57	2 560	408	226	4.45	9.45	10.9	0.924
8 x 6 x 3/4 x 3/4	203 x 152 x 19 x 19	100	129	15.2	19.1	3.96	1.57	2 560	408	226	4.45	9.8	11.2	0.928
8 x 6 x 5/8	203 x 152 x 15.9	84.4	108	15.2	15.9	3.84	1.35	2 200	344	193	4.5	9.07	10.6	0.917
8 x 6 x 5/8 x 3/8	203 x 152 x 15.9 x 9	84.4	108	15.2	15.9	3.84	1.35	2 200	344	193	4.5	9.4	10.8	0.921
8 x 6 x 5/8 x 3/4	203 x 152 x 15.9 x 19	84.4	108	15.2	15.9	3.84	1.35	2 200	344	193	4.5	9.75	11.2	0.926
8 x 6 x 9/16	203 x 152 x 14.3	76.2	98.1	15.2	14.3	3.78	1.22	2 010	311	175	4.52	9.02	10.5	0.916
8 x 6 x 9/16 x 3/8	203 x 152 x 14.3 x 9	76.2	98.1	15.2	14.3	3.78	1.22	2 010	311	175	4.52	9.37	10.8	0.92
8 x 6 x 9/16 x 3/4	203 x 152 x 14.3 x 19	76.2	98.1	15.2	14.3	3.78	1.22	2 010	311	175	4.52	9.73	11.2	0.924
8 x 6 x 1/2	203 x 152 x 12.7	68.2	87.7	15.2	12.7	3.71	1.09	1 810	279	157	4.55	8.99	10.5	0.915
8 x 6 x 1/2 x 3/8	203 x 152 x 12.7 x 9	68.2	87.7	15.2	12.7	3.71	1.09	1 810	279	157	4.55	9.35	10.8	0.919
8 x 6 x 1/2 x 3/4	203 x 152 x 12.7 x 19	68.2	87.7	15.2	12.7	3.71	1.09	1 810	279	157	4.55	9.68	11.1	0.923
8 x 6 x 7/16	203 x 152 x 11.1	59.8	77.4	15.2	11.1	3.66	0.94	1 610	246	139	4.57	8.97	10.5	0.913
8 x 6 x 7/16 x 3/8	203 x 152 x 11.1 x 9	59.8	77.4	15.2	11.1	3.66	0.94	1 610	246	139	4.57	9.3	10.8	0.918
8 x 6 x 7/16 x 3/4	203 x 152 x 11.1 x 19	59.8	77.4	15.2	11.1	3.66	0.94	1 610	246	139	4.57	9.65	11.1	0.922
8 x 4 x 1	203 x 102 x 25.4	111	143	10.2	25.4	2.64	1.75	970	254	129	2.62	10	10.4	0.983
8 x 4 x 1 x 3/8	203 x 102 x 25. 4 x 9	111	143	10.2	25.4	2.64	1.75	970	254	129	2.62	10.4	10.8	0.984
8 x 4 x 1 x 3/4	203 x 102 x 25.4 x 19	111	143	10.2	25.4	2.64	1.75	970	254	129	2.62	10.7	11.2	0.985
8 x 4 x 7/8	203 x 102 x 22.2	98.6	126	10.2	22.2	2.53	1.55	878	221	115	2.64	9.93	10.4	0.981
8 x 4 x 7/8 x 3/8	203 x 102 x 22.2 x 9	98.6	126	10.2	22.2	2.53	1.55	878	221	115	2.64	10.3	10.7	0.982
8 x 4 x 7/8 x 3/4	203 x 102 x 22.2 x 19	98.6	126	10.2	22.2	2.53	1.55	878	221	115	2.64	10.7	11.1	0.984
8 x 4 x 3/4	203 x 102 x 19	85.4	110	10.2	19.1	2.41	1.35	778	190	101	2.67	9.88	10.3	0.98
8 x 4 x 3/4 x 3/8	203 x 102 x 19 x 9	85.4	110	10.2	19.1	2.41	1.35	778	190	101	2.67	10.2	10.7	0.981
8 x 4 x 3/4 x 3/4	203 x 102 x 19 x 19	85.4	110	10.2	19.1	2.41	1.35	778	190	101	2.67	10.6	11	0.983
8 x 4 x 5/8	203 x 102 x 15.9	72	92.3	10.2	15.9	2.29	1.14	674	159	85.7	2.69	9.8	10.3	0.979
8 x 4 x 5/8 x 3/8	203 x 102 x 15.9 x 9	72	92.3	10.2	15.9	2.29	1.14	674	159	85.7	2.69	10.2	10.6	0.98
8 x 4 x 5/8 x 3/4	203 x 102 x 15.9 x 19	72	92.3	10.2	15.9	2.29	1.14	674	159	85.7	2.69	10.5	11	0.981
8 x 4 x 9/16	203 x 102 x 14.3	65.2	83.9	10.2	14.3	2.23	1.04	620	144	78.2	2.72	9.78	10.3	0.978
8 x 4 x 9/16 x 3/8	203 x 102 x 14.3 x 9	65.2	83.9	10.2	14.3	2.23	1.04	620	144	78.2	2.72	10.1	10.6	0.98
8 x 4 x 9/16 x 3/4	203 x 102 x 14.3 x 19	65.2	83.9	10.2	14.3	2.23	1.04	620	144	78.2	2.72	10.5	10.9	0.981
8 x 4 x 1/2	203 x 102 x 12.7	58.4	74.8	10.2	12.7	2.17	0.914	562	128	70.3	2.74	9.73	10.2	0978
8 x 4 x 1/2 x 3/8	203 x 102 x 12.7 x 9	58.4	74.8	10.2	12.7	2.17	0.914	562	128	70.3	2.74	10.1	10.6	0.979
8 x 4 x 1/2 x 3/4	203 x 102 x 12.7 x 19	58.4	74.8	10.2	12.7	2.17	0.914	562	128	70.3	2.74	10.5	10.9	0.98
8 x 4 x 7/16	203 x 102 x 11.1	51.2	65.8	10.2	11.1	2.11	0.813	504	112	62.4	2.77	9.7	10.2	0.977
8 x 4 x 7/16 x 3/8	203 x 102 x 11.1 x 9	51.2	65.8	10.2	11.1	2.11	0.813	504	112	62.4	2.77	10.1	10.5	0.978
8 x 4 x 7/16 x 3/4	203 x 102 x 11.1 x 19	51.2	65.8	10.2	11.1	2.11	0.813	504	112	62.4	2.77	10.4	10.9	0.98
7 x 4 x 3/4	178 x 102 x 19	77.6	99.4	10.2	19.1	2.54	1.4	749	184	98.5	2.74	8.48	9.07	0.969
7 x 4 x 3/4 x 3/8	178 x 102 x 19 x 9	77.6	99.4	10.2	19.1	2.54	1.4	749	184	98.5	2.74	8.84	9.4	0.971
7 x 4 x 3/4 x 3/4	178 x 102 x 19 x 19	77.6	99.4	10.2	19.1	2.54	1.4	749	184	98.5	2.74	9.22	9.75	0.973
7 x 4 x 5/8	178 x 102 x 15.9	65.4	83.9	10.2	15.9	2.43	1.17	649	154	83.9	2.79	8.41	9.02	0.967
7 x 4 x 5/8 x 3/8	178 x 102 x 15.9 x 9	65.4	83.9	10.2	15.9	2.43	1.17	649	154	83.9	2.79	8.79	9.35	0.969

Designación (tamaños x t)	Designación (tamaños x t)	W	A	d	t	$\bar{y}$	y_p	I_x	Z_x	S_x	r_x	r_y	r_o	H
(mm x mm x mm)	(in x in x in)	(kg/m)	(cm^2)	(cm)	(mm)	(cm)	(cm)	(cm^4)	(cm^3)	(cm^3)	(cm)	(cm)	(cm)	
7 x 4 x 5/8 x 3/4	178 x 102 x 15.9 x 19	65.4	83.9	10.2	15.9	2.43	1.17	649	154	83.9	2.79	9.14	9.7	0.971
7 x 4 x 1/2	178 x 102 x 12.7	53	67.7	10.2	12.7	2.31	0.965	541	124	68.8	2.82	8.36	8.97	0.965
7 x 4 x 1/2 x 3/8	178 x 102 x 12.7 x 9	53	67.7	10.2	12.7	2.31	0.965	541	124	68.8	2.82	8.71	9.3	0.968
7 x 4 x 1/2 x 3/4	178 x 102 x 12.7 x 19	53	67.7	10.2	12.7	2.31	0.965	541	124	68.8	2.82	9.07	9.65	0.97
7 x 4 x 7/16	178 x 102 x 11.1	46.8	59.8	10.2	11.1	2.25	0.838	483	108	61	2.84	8.33	8.97	0.964
7 x 4 x 7/16 x 3/8	178 x 102 x 11.1 x 9	46.8	59.8	10.2	11.1	2.25	0.838	483	108	61	2.84	8.69	9.3	0.967
7 x 4 x 7/16 x 3/4	178 x 102 x 11.1 x 19	46.8	59.8	10.2	11.1	2.25	0.838	483	108	61	2.84	9.04	9.63	0.969
7 x 4 x 3/8	178 x 102 x 9.5	40.4	51.6	10.2	9.53	2.19	0.737	420	93.1	52.8	2.84	8.28	8.94	0.963
7 x 4 x 3/8 x 3/8	178 x 102 x 9.5 x 9	40.4	51.6	10.2	9.53	2.19	0.737	420	93.1	52.8	2.84	8.64	9.27	0.966
7 x 4 x 3/8 x 3/4	178 x 102 x 9.5 x 19	40.4	51.6	10.2	9.53	2.19	0.737	420	93.1	52.8	2.84	8.99	9.6	0.968
6 x 4 x 7/8	152 x 102 x 22.2	81	103	10.2	22.2	2.84	1.7	807	205	110	2.79	7.16	7.87	0.952
6 x 4 x 7/8 x 3/8	152 x 102 x 22.2 x 9	81	103	10.2	22.2	2.84	1.7	807	205	110	2.79	7.52	8.2	0.956
6 x 4 x 7/8 x 3/4	152 x 102 x 22.2 x 19	81	103	10.2	22.2	2.84	1.7	807	205	110	2.79	7.9	8.56	0.959
6 x 4 x 3/4	152 x 102 x 19	70.2	89.7	10.2	19.1	2.72	1.47	720	177	96.7	2.84	7.11	7.85	0.949
6 x 4 x 3/4 x 3/8	152 x 102 x 19 x 9	70.2	89.7	10.2	19.1	2.72	1.47	720	177	96.7	2.84	7.47	8.18	0.953
6 x 4 x 3/4 x 3/4	152 x 102 x 19 x 19	70.2	89.7	10.2	19.1	2.72	1.47	720	177	96.7	2.84	7.82	8.51	0.957
6 x 4 x 5/8	152 x 102 x 15.9	59.6	75.5	10.2	15.9	2.62	1.24	624	150	82.4	2.87	7.04	7.82	0.946
6 x 4 x 5/8 x 3/8	152 x 102 x 15.9 x 9	59.6	75.5	10.2	15.9	2.62	1.24	624	150	82.4	2.87	7.39	8.15	0.95
6 x 4 x 5/8 x 3/4	152 x 102 x 15.9 x 19	59.6	75.5	10.2	15.9	2.62	1.24	624	150	82.4	2.87	7.77	8.48	0.954
6 x 4 x 9/16	152 x 102 x 14.3	53	68.4	10.2	14.3	2.54	1.12	570	135	75.1	2.9	7.01	7.8	0.945
6 x 4 x 9/16 x 3/8	152 x 102 x 14.3 x 9	53	68.4	10.2	14.3	2.54	1.12	570	135	75.1	2.9	7.37	8.13	0.949
6 x 4 x 9/16 x 3/4	152 x 102 x 14.3 x 19	53	68.4	10.2	14.3	2.54	1.12	570	135	75.1	2.9	7.72	8.46	0.953
6 x 4 x 1/2	152 x 102 x 12.7	48.2	61.3	10.2	12.7	2.49	1.02	516	121	67.5	2.9	6.99	7.8	0.943
6 x 4 x 1/2 x 3/8	152 x 102 x 12.7 x 9	48.2	61.3	10.2	12.7	2.49	1.02	516	121	67.5	2.9	7.34	8.1	0.948
6 x 4 x 1/2 x 3/4	152 x 102 x 12.7 x 19	48.2	61.3	10.2	12.7	2.49	1.02	516	121	67.5	2.9	7.7	8.43	0.952
6 x 4 x 7/16	152 x 102 x 11.1	42.6	53.9	10.2	11.1	2.43	0.889	462	106	59.8	2.92	6.96	7.77	0.942
6 x 4 x 7/16 x 3/8	152 x 102 x 11.1 x 9	42.6	53.9	10.2	11.1	2.43	0.889	462	106	59.8	2.92	7.32	8.1	0.946
6 x 4 x 7/16 x 3/4	152 x 102 x 11.1 x 19	42.6	53.9	10.2	11.1	2.43	0.889	462	106	59.8	2.92	7.67	8.41	0.95
6 x 4 x 3/8	152 x 102 x 9.5	36.6	46.6	10.2	9.53	2.37	0.762	405	91.4	51.9	2.95	6.93	7.77	0.94
6 x 4 x 3/8 x 3/8	152 x 102 x 9.5 x 9	36.6	46.6	10.2	9.53	2.37	0.762	405	91.4	51.9	2.95	7.26	8.08	0.945
6 x 4 x 3/8 x 3/4	152 x 102 x 9.5 x 19	36.6	46.6	10.2	9.53	2.37	0.762	405	91.4	51.9	2.95	7.62	8.41	0.949
6 x 4 x 5/16	152 x 102 x 7.9	30.6	39	10.2	7.94	2.31	0.635	344	76.5	43.8	2.97	6.91	7.75	0.939
6 x 4 x 5/16 x 3/8	152 x 102 x 7.9 x 9	30.6	39	10.2	7.94	2.31	0.635	344	76.5	43.8	2.97	7.24	8.05	0.944
6 x 4 x 5/16 x 3/4	152 x 102 x 7.9 x 19	30.6	39	10.2	7.94	2.31	0.635	344	76.5	43.8	2.97	7.59	8.38	0.948
6 x 3-1/2 x 1/2	152 x 89 x 12.7	45.4	58.3	8.89	12.7	2.11	0.965	353	94.6	51.9	2.46	7.16	7.72	0.964
6 x 3-1/2 x 1/2 x 3/8	152 x 89 x 12.7 x 9	45.4	58.3	8.89	12.7	2.11	0.965	353	94.6	51.9	2.46	7.52	8.05	0.967
6 x 3-1/2 x 1/2 x 3/4	152 x 89 x 12.7 x 19	45.4	58.3	8.89	12.7	2.11	0.965	353	94.6	51.9	2.46	7.9	8.41	0.969
6 x 3-1/2 x 3/8	152 x 89 x 9.5	34.6	44.4	8.89	9.53	1.98	0.737	277	71.4	40.1	2.5	7.11	7.67	0.962
6 x 3-1/2 x 3/8 x 3/8	152 x 89 x 9.5 x 9	34.6	44.4	8.89	9.53	1.98	0.737	277	71.4	40.1	2.5	7.47	8	0.965
6 x 3-1/2 x 3/8 x 3/4	152 x 89 x 9.5 x 19	34.6	44.4	8.89	9.53	1.98	0.737	277	71.4	40.1	2.5	7.82	8.36	0.967
6 x 3-1/2 x 5/16	152 x 89 x 7.9	29	37.3	8.89	7.94	1.92	0.61	236	59.8	33.9	2.52	7.06	7.67	0.96
6 x 3-1/2 x 5/16 x 3/8	152 x 89 x 7.9 x 9	29	37.3	8.89	7.94	1.92	0.61	236	59.8	33.9	2.52	7.42	7.98	0.964
6 x 3-1/2 x 5/16 x 3/4	152 x 89 x 7.9 x 19	29	37.3	8.89	7.94	1.92	0.61	236	59.8	33.9	2.52	7.77	8.33	0.966
5 x 3-1/2 x 3/4	127 x 89 x 19	58.6	74.8	8.89	19.1	2.52	1.47	458	133	72.1	2.47	5.92	6.6	0.943
5 x 3-1/2 x 3/4 x 3/8	127 x 89 x 19 x 9	58.6	74.8	8.89	19.1	2.52	1.47	458	133	72.1	2.47	6.27	6.93	0.949
5 x 3-1/2 x 3/4 x 3/4	127 x 89 x 19 x 19	58.6	74.8	8.89	19.1	2.52	1.47	458	133	72.1	2.47	6.65	7.26	0.953
5 x 3-1/2 x 5/8	127 x 89 x 15.9	49.8	63.5	8.89	15.9	2.41	1.24	400	113	61.6	2.51	5.84	6.58	0.94

Designación (tamaños x t)	Designación (tamaños x t)	W	A	d	t	$\bar{y}$	y_p	I_x	Z_x	S_x	r_x	r_y	r_o	H
(mm x mm x mm)	(in x in x in)	(kg/m)	(cm^2)	(cm)	(mm)	(cm)	(cm)	(cm^4)	(cm^3)	(cm^3)	(cm)	(cm)	(cm)	
5 x 3-1/2 x 5/8 x 3/8	127 x 89 x 15.9 x 9	49.8	63.5	8.89	15.9	2.41	1.24	400	113	61.6	2.51	6.22	6.88	0.945
5 x 3-1/2 x 5/8 x 3/4	127 x 89 x 15.9 x 19	49.8	63.5	8.89	15.9	2.41	1.24	400	113	61.6	2.51	6.58	7.24	0.95
5 x 3-1/2 x 1/2	127 x 89 x 12.7	40.4	51.7	8.89	12.7	2.29	1.02	335	91.3	50.6	2.54	5.79	6.55	0.936
5 x 3-1/2 x 1/2 x 3/8	127 x 89 x 12.7 x 9	40.4	51.7	8.89	12.7	2.29	1.02	335	91.3	50.6	2.54	6.15	6.86	0.942
5 x 3-1/2 x 1/2 x 3/4	127 x 89 x 12.7 x 19	40.4	51.7	8.89	12.7	2.29	1.02	335	91.3	50.6	2.54	6.53	7.19	0.947
5 x 3-1/2 x 3/8	127 x 89 x 9.5	30.8	39.4	8.89	9.53	2.17	0.787	263	69.3	39	2.59	5.74	6.5	0.933
5 x 3-1/2 x 3/8 x 3/8	127 x 89 x 9.5 x 9	30.8	39.4	8.89	9.53	2.17	0.787	263	69.3	39	2.59	6.07	6.83	0.938
5 x 3-1/2 x 3/8 x 3/4	127 x 89 x 9.5 x 19	30.8	39.4	8.89	9.53	2.17	0.787	263	69.3	39	2.59	6.45	7.14	0.944
5 x 3-1/2 x 5/16	127 x 89 x 7.9	25.8	33	8.89	7.94	2.11	0.66	224	58.2	32.9	2.59	5.72	6.5	0.931
5 x 3-1/2 x 5/16 x 3/8	127 x 89 x 7.9 x 9	25.8	33	8.89	7.94	2.11	0.66	224	58.2	32.9	2.59	6.05	6.81	0.937
5 x 3-1/2 x 5/16 x 3/4	127 x 89 x 7.9 x 19	25.8	33	8.89	7.94	2.11	0.66	224	58.2	32.9	2.59	6.4	7.14	0.942
5 x 3-1/2 x 1/4	127 x 89 x 6.4	20.8	26.6	8.89	6.35	2.04	0.533	183	46.7	26.7	2.62	5.66	6.48	0.929
5 x 3-1/2 x 1/4 x 3/8	127 x 89 x 6.4 x 9	20.8	26.6	8.89	6.35	2.04	0.533	183	46.7	26.7	2.62	6.02	6.78	0.935
5 x 3-1/2 x 1/4 x 3/4	127 x 89 x 6.4 x 19	20.8	26.6	8.89	6.35	2.04	0.533	183	46.7	26.7	2.62	6.38	7.11	0.941
5 x 3 x 1/2	127 x 76 x 12.7	38	48.5	7.62	12.7	1.89	0.965	212	68	37	2.09	5.97	6.45	0.962
5 x 3 x 1/2 x 3/8	127 x 76 x 12.7 x 9	38	48.5	7.62	12.7	1.89	0.965	212	68	37	2.09	6.35	6.81	0.966
5 x 3 x 1/2 x 3/4	127 x 76 x 12.7 x 19	38	48.5	7.62	12.7	1.89	0.965	212	68	37	2.09	6.71	7.14	0.969
5 x 3 x 7/16	127 x 76 x 11.1	33.6	42.7	7.62	11.1	1.83	0.838	191	59.8	32.9	2.11	5.94	6.45	0.961
5 x 3 x 7/16 x 3/8	127 x 76 x 11.1 x 9	33.6	42.7	7.62	11.1	1.83	0.838	191	59.8	32.9	2.11	6.3	6.78	0.964
5 x 3 x 7/16 x 3/4	127 x 76 x 11.1 x 19	33.6	42.7	7.62	11.1	1.83	0.838	191	59.8	32.9	2.11	6.68	7.11	0.968
5 x 3 x 3/8	127 x 76 x 9.5	29.2	37	7.62	9.53	1.77	0.737	167	51.5	28.7	2.13	5.92	6.43	0.959
5 x 3 x 3/8 x 3/8	127 x 76 x 9.5 x 9	29.2	37	7.62	9.53	1.77	0.737	167	51.5	28.7	2.13	6.27	6.76	0.963
5 x 3 x 3/8 x 3/4	127 x 76 x 9.5 x 19	29.2	37	7.62	9.53	1.77	0.737	167	51.5	28.7	2.13	6.65	7.09	0.967
5 x 3 x 5/16	127 x 76 x 7.9	24.4	31	7.62	7.94	1.71	0.61	143	42.9	24.3	2.15	5.89	6.4	0.958
5 x 3 x 5/16 x 3/8	127 x 76 x 7.9 x 9	24.4	31	7.62	7.94	1.71	0.61	143	42.9	24.3	2.15	6.25	6.73	0.962
5 x 3 x 5/16 x 3/4	127 x 76 x 7.9 x 19	24.4	31	7.62	7.94	1.71	0.61	143	42.9	24.3	2.15	6.6	7.06	0.965
5 x 3 x 1/4	127 x 76 x 6.4	19.6	25	7.62	6.35	1.65	0.483	117	34.4	19.7	2.17	5.84	6.38	0.957
5 x 3 x 1/4 x 3/8	127 x 76 x 6.4 x 9	19.6	25	7.62	6.35	1.65	0.483	117	34.4	19.7	2.17	6.2	6.71	0.961
5 x 3 x 1/4 x 3/4	127 x 76 x 6.4 x 19	19.6	25	7.62	6.35	1.65	0.483	117	34.4	19.7	2.17	6.55	7.04	0.964
4 x 3-1/2 x 1/2	102 x 89 x 12.7	35.2	45.2	8.89	12.7	2.52	1.12	313	88.3	49.2	2.64	4.45	5.49	0.882
4 x 3-1/2 x 1/2 x 3/8	102 x 89 x 12.7 x 9	35.2	45.2	8.89	12.7	2.52	1.12	313	88.3	49.2	2.64	4.8	5.79	0.893
4 x 3-1/2 x 1/2 x 3/4	102 x 89 x 12.7 x 19	35.2	45.2	8.89	12.7	2.52	1.12	313	88.3	49.2	2.64	5.16	6.1	0.904
4 x 3-1/2 x 3/8	102 x 89 x 9.5	27	34.5	8.89	9.53	2.41	0.838	246	67.7	38	2.67	4.39	5.49	0.876
4 x 3-1/2 x 3/8 x 3/8	102 x 89 x 9.5 x 9	27	34.5	8.89	9.53	2.41	0.838	246	67.7	38	2.67	4.72	5.77	0.888
4 x 3-1/2 x 3/8 x 3/4	102 x 89 x 9.5 x 19	27	34.5	8.89	9.53	2.41	0.838	246	67.7	38	2.67	5.08	6.07	0.899
4 x 3-1/2 x 5/16	102 x 89 x 7.9	22.8	29	8.89	7.94	2.34	0.711	210	57	32.1	2.69	4.37	5.49	0.874
4 x 3-1/2 x 5/16 x 3/8	102 x 89 x 7.9 x 9	22.8	29	8.89	7.94	2.34	0.711	210	57	32.1	2.69	4.7	5.74	0.885
4 x 3-1/2 x 5/16 x 3/4	102 x 89 x 7.9 x 19	22.8	29	8.89	7.94	2.34	0.711	210	57	32.1	2.69	5.05	6.05	0.896
4 x 3-1/2 x 1/4	102 x 89 x 6.4	18.4	23.4	8.89	6.35	2.28	0.584	172	45.9	26.1	2.72	4.32	5.46	0.871
4 x 3-1/2 x 1/4 x 3/8	102 x 89 x 6.4 x 9	18.4	23.4	8.89	6.35	2.28	0.584	172	45.9	26.1	2.72	4.65	5.74	0.883
4 x 3-1/2 x 1/4 x 3/4	102 x 89 x 6.4 x 19	18.4	23.4	8.89	6.35	2.28	0.584	172	45.9	26.1	2.72	5	6.02	0.894
4 x 3 x 5/8	102 x 76 x 15.9	40.4	51.5	7.62	15.9	2.2	1.27	237	80.3	43.8	2.15	4.67	5.33	0.93
4 x 3 x 5/8 x 3/8	102 x 76 x 15.9 x 9	40.4	51.5	7.62	15.9	2.2	1.27	237	80.3	43.8	2.15	5.03	5.64	0.938
4 x 3 x 5/8 x 3/4	102 x 76 x 15.9 x 19	40.4	51.5	7.62	15.9	2.2	1.27	237	80.3	43.8	2.15	5.41	5.99	0.945
4 x 3 x 1/2	102 x 76 x 12.7	33	42	7.62	12.7	2.09	1.04	199	65.4	36.1	2.18	4.6	5.31	0.925
4 x 3 x 1/2 x 3/8	102 x 76 x 12.7 x 9	33	42	7.62	12.7	2.09	1.04	199	65.4	36.1	2.18	4.95	5.61	0.933
4 x 3 x 1/2 x 3/4	102 x 76 x 12.7 x 19	33	42	7.62	12.7	2.09	1.04	199	65.4	36.1	2.18	5.33	5.94	0.94

Designación (tamaños x t)	Designación (tamaños x t)	W	A	d	t	$\bar{y}$	y_p	I_x	Z_x	S_x	r_x	r_y	r_o	H
(mm x mm x mm)	(in x in x in)	(kg/m)	(cm^2)	(cm)	(mm)	(cm)	(cm)	(cm^4)	(cm^3)	(cm^3)	(cm)	(cm)	(cm)	
4 x 3 x 3/8	102 x 76 x 9.5	25.2	32.1	7.62	9.53	1.97	0.787	158	49.8	27.9	2.22	4.55	5.28	0.92
4 x 3 x 3/8 x 3/8	102 x 76 x 9.5 x 9	25.2	32.1	7.62	9.53	1.97	0.787	158	49.8	27.9	2.22	4.9	5.59	0.928
4 x 3 x 3/8 x 3/4	102 x 76 x 9.5 x 19	25.2	32.1	7.62	9.53	1.97	0.787	158	49.8	27.9	2.22	5.26	5.89	0.936
4 x 3 x 5/16	102 x 76 x 7.9	21.4	27	7.62	7.94	1.91	0.66	135	42	23.6	2.24	4.52	5.26	0.918
4 x 3 x 5/16 x 3/8	102 x 76 x 7.9 x 9	21.4	27	7.62	7.94	1.91	0.66	135	42	23.6	2.24	4.85	5.56	0.926
4 x 3 x 5/16 x 3/4	102 x 76 x 7.9 x 19	21.4	27	7.62	7.94	1.91	0.66	135	42	23.6	2.24	5.23	5.89	0.934
4 x 3 x 1/4	102 x 76 x 6.4	17.2	21.8	7.62	6.35	1.84	0.533	111	33.8	19.2	2.25	4.47	5.23	0.915
4 x 3 x 1/4 x 3/8	102 x 76 x 6.4 x 9	17.2	21.8	7.62	6.35	1.84	0.533	111	33.8	19.2	2.25	4.83	5.54	0.924
4 x 3 X 1/4 x 3/4	102 x 76 x 6.4 x 19	17.2	21.8	7.62	6.35	1.84	0.533	111	33.8	19.2	2.25	5.18	5.87	0.932
3-1/2 x 3 x 1/2	89 x 76 x 12.7	30.2	39	7.62	12.7	2.21	1.09	194	64.6	35.7	2.23	3.94	4.78	0.892
3-1/2 x 3 x 1/2 x 3/8	89 x 76 x 12.7 x 9	30.2	39	7.62	12.7	2.21	1.09	194	64.6	35.7	2.23	4.29	5.08	0.904
3-1/2 x 3 x 1/2 x 3/4	89 x 76 x 12.7 x 19	30.2	39	7.62	12.7	2.21	1.09	194	64.6	35.7	2.23	4.67	5.41	0.915
3-1/2 x 3 x 7/16	89 x 76 x 11.1	27	34.5	7.62	11.1	2.15	0.965	174	57.2	31.8	2.25	3.91	4.78	0.889
3-1/2 x 3 x 7/16 x 3/8	89 x 76 x 11.1 x 9	27	34.5	7.62	11.1	2.15	0.965	174	57.2	31.8	2.25	4.24	5.05	0.901
3-1/2 x 3 x 7/16 x 3/4	89 x 76 x 11.1 x 19	27	34.5	7.62	11.1	2.15	0.965	174	57.2	31.8	2.25	4.62	5.38	0.912
3-1/2 x 3 x 3/8	89 x 76 x 9.5	23.4	29.9	7.62	9.53	2.09	0.838	154	49.8	27.7	2.27	3.86	4.78	0.885
3-1/2 x 3 x 3/8 x 3/8	89 x 76 x 9.5 x 9	23.4	29.9	7.62	9.53	2.09	0.838	154	49.8	27.7	2.27	4.22	5.05	0.898
3-1/2 x 3 x 3/8 x 3/4	89 x 76 x 9.5 x 19	23.4	29.9	7.62	9.53	2.09	0.838	154	49.8	27.7	2.27	4.6	5.36	0.91
3-1/2 x 3 x 5/16	89 x 76 x 7.9	19.6	25.2	7.62	7.94	2.03	0.711	132	42	23.6	2.29	3.84	4.75	0.883
3-1/2 x 3 x 5/16 x 3/8	89 x 76 x 7.9 x 9	19.6	25.2	7.62	7.94	2.03	0.711	132	42	23.6	2.29	4.19	5.03	0.895
3-1/2 x 3 x 5/16 x 3/4	89 x 76 x 7.9 x 19	19.6	25.2	7.62	7.94	2.03	0.711	132	42	23.6	2.29	4.55	5.36	0.907
3-1/2 x 3 x 1/4	89 x 76 x 6.4	16	20.4	7.62	6.35	1.96	0.584	109	34.1	19.2	2.31	3.81	4.75	0.88
3-1/2 x 3 x 1/4 x 3/8	89 x 76 x 6.4 x 9	16	20.4	7.62	6.35	1.96	0.584	109	34.1	19.2	2.31	4.14	5.03	0.893
3-1/2 x 3 x 1/4 x 3/4	89 x 76 x 6.4 x 19	16	20.4	7.62	6.35	1.96	0.584	109	34.1	19.2	2.31	452	5.33	0.905
3-1/2 x 2-1/2 x 1/2	89 x 64 x 12.7	27.8	35.7	6.35	12.7	1.78	1.02	113	45.6	24.7	1.78	4.11	4.62	0.938
3-1/2 x 2-1/2 x 1/2 x 3/8	89 x 64 x 12.7 x 9	27.8	35.7	6.35	12.7	1.78	1.02	113	45.6	24.7	1.78	4.47	4.95	0.946
3-1/2 x 2-1/2 x 1/2 x 3/4	89 x 64 x 12.7 x 19	27.8	35.7	6.35	12.7	1.78	1.02	113	45.6	24.7	1.78	4.85	5.28	0.953
3-1/2 x 2-1/2 x 3/8	89 x 64 x 9.5	21.4	27.4	6.35	9.53	1.66	0.762	90	34.9	19.3	1.82	4.04	4.6	0.933
3-1/2 x 2-1/2 x 3/8 x 3/8	89 x 64 x 9.5 x 9	21.4	27.4	6.35	9.53	1.66	0.762	90	34.9	19.3	1.82	4.39	4.9	0.941
3-1/2 x 2-1/2 x 3/8 x 3/4	89 x 64 x 9.5 x 19	21.4	27.4	6.35	9.53	1.66	0.762	90	34.9	19.3	1.82	4.78	5.26	0.949
3-1/2 x 2-1/2 x 5/16	89 x 64 x 7.9	18	23.1	6.35	7.94	1.61	0.66	78	29.5	16.4	1.84	4.01	4.57	0.93
3-1/2 x 2-1/2 x 5/16 x 3/8	89 x 64 x 7.9 x 9	18	23.1	6.35	7.94	1.61	0.66	78	29.5	16.4	1.84	4.37	4.88	0.939
3-1/2 x 2-1/2 x 5/16 x 3/4	89 x 64 x 7.9 x 19	18	23.1	6.35	7.94	1.61	0.66	78	29.5	16.4	1.84	4.75	5.23	0.947
3-1/2 x 2-1/2 x 1/4	89 x 64 x 6.4	14.6	18.7	6.35	6.35	1.54	0.533	65	23.9	13.4	1.86	3.99	4.57	0.928
3-1/2 x 2-1/2 x 1/4 x 3/8	89 x 64 x 6.4 x 9	14.6	18.7	6.35	6.35	1.54	0.533	65	23.9	13.4	1.86	4.32	4.88	0.937
3-1/2 x 2-1/2 x 1/4 x 3/4	89 x 64 x 6.4 x 19	14.6	18.7	6.35	6.35	1.54	0.533	65	23.9	13.4	1.86	4.7	5.21	0.944
3 x 2-1/2 x 1/2	76 x 64 x 12.7	25.2	32.3	6.35	12.7	1.89	1.07	107	43.9	24.1	1.82	3.43	4.09	0.905
3 x 2-1/2 x 1/2 x 3/8	76 x 64 x 12.7 x 9	25.2	32.3	6.35	12.7	1.89	1.07	107	43.9	24.1	1.82	3.78	4.39	0.918
3 x 2-1/2 1/2 x 3/4	76 x 64 x 12.7 x 19	25.2	32.3	6.35	12.7	1.89	1.07	107	43.9	24.1	1.82	4.17	4.72	0.929
3 x 2-1/2 x 7/16	76 x 64 x 11.1	22.6	28.6	6.35	11.1	1.84	0.94	97	39	21.5	1.84	3.4	4.06	0.901
3 x 2-1/2 x 7/16 x 3/8	76 x 64 x 11.1 x 9	22.6	28.6	6.35	11.1	1.84	0.94	97	39	21.5	1.84	3.76	4.37	0.914
3 x 2-1/2 x 7/16 x 3/4	76 x 64 x 11.1 x 19	22.6	28.6	6.35	11.1	1.84	0.94	97	39	21.5	1.84	4.14	4.7	0.926
3 x 2-1/2 x 3/8	76 x 64 x 9.5	19.6	24.9	6.35	9.53	1.78	0.813	86	33.9	18.8	1.86	3.35	4.06	0.897
3 x 2-1/2 x 3/8 x 3/8	76 x 64 x 9.5 x 9	19.6	24.9	6.35	9.53	1.78	0.813	86	33.9	18.8	1.86	3.71	4.37	0.911
3 x 2-1/2 x 3/8 x 3/4	76 x 64 x 9.5 x 19	19.6	24.9	6.35	9.53	1.78	0.813	86	33.9	18.8	1.86	4.09	4,7	0.923
3 x 2-1/2 x 5/16	76 x 64 x 7.9	16.6	21	6.35	7.94	1.72	0.686	74	28.7	16	1.88	3.33	4.04	0.893
3 x 2-1/2 x 5/16 x 3/8	76 x 64 x 7.9 x 9	16.6	21	6.35	7.94	1.72	0.686	74	28.7	16	1.88	3.68	4.34	0.907

Designación (tamaños x t) (mm x mm x mm)	Designación (tamaños x t) (in x in x in)	W (kg/m)	A (cm^2)	d (cm)	t (mm)	$\bar{y}$ (cm)	y_p (cm)	I_x (cm^4)	Z_x (cm^3)	S_x (cm^3)	r_x (cm)	r_y (cm)	r_o (cm)	H
3 x 2-1/2 x 5/16 x 3/4	76 x 64 x 7.9 x 19	16.6	21	6.35	7.94	1.72	0.686	74	28.7	16	1.88	4.06	4.67	0.92
3 x 2-1/2 x 1/4	76 x 64 x 6.4	13.4	17	6.35	6.35	1.66	0.559	61	23.1	13	1.89	3.3	4.04	0.89
3 x 2-1/2 x 1/4 x 3/8	76 x 64 x 6.4 x 9	13.4	17	6.35	6.35	1.66	0.559	61	23.1	13	1.89	3.66	4.32	0.904
3 x 2-1/2 x 1/4 x 3/4	76 x 64 x 6.4 x 19	13.4	17	6.35	6.35	1.66	0.559	61	23.1	13	1.89	4.01	4.65	0.917
3 x 2-1/2 x 3/16	76 x 64 x 4.8	10.2	12.9	6.35	4.76	1.59	0.432	48	17.5	9.93	1.91	3.28	4.01	0.887
3 x 2-1/2 x 3/16 x 3/8	76 x 64 x 4.8 x 9	10.2	12.9	6.35	4.76	1.59	0.432	48	17.5	9.93	1.91	3.61	4.32	0.901
3 x 2-1/2 x 3/16 x 3/4	76 x 64 x 4.8 x 19	10.2	12.9	6.35	4.76	1.59	0.432	48	17.5	9.93	1.91	3.99	4.62	0.914
3 x 2 x 1/2	76 x 51 x 12.7	22.8	29.2	5.08	12.7	1.47	0.965	55	29	15.4	1.38	3.61	3.94	0.955
3 x 2 x 1/2 x 3/8	76 x 51 x 12.7 x 9	22.8	29.2	5.08	12.7	1.47	0.965	55	29	15.4	1.38	3.96	4.29	0.962
3 x 2 x 1/2 x 3/4	76 x 51 x 12.7 x 19	22.8	29.2	5.08	12.7	1.47	0.965	55	29	15.4	1.38	4.37	4.65	0.968
3 x 2 x 3/8	76 x 51 x 9.5	17.4	22.6	5.08	9.53	1.36	0.737	45	22.3	12.1	1.41	3.53	3.91	0.949
3 x 2 x 3/8 x 3/8	76 x 51 x 9.5 x 9	17.4	22.6	5.08	9.53	1.36	0.737	45	22.3	12.1	1.41	3.91	4.24	0.957
3 x 2 x 3/8 x 3/4	76 x 51 x 9.5 x 19	17.4	22.6	5.08	9.53	1.36	0.737	45	22.3	12.1	1.41	4.29	4.6	0.963
3 x 2 x 5/16	76 x 51 x 7.9	14.8	19.1	5.08	7.94	1.3	0.635	39	18.7	10.3	1.43	3.51	3.89	0.946
3 x 2 x 5/16 x 3/8	76 x 51 x 7.9 x 9	14.8	19.1	5.08	7.94	1.3	0.635	39	18.7	10.3	1.43	3.86	4.22	0.954
3 x 2 x 5/16 x 3/4	76 x 51 x 7.9 x 19	14.8	19.1	5.08	7.94	1.3	0.635	39	18.7	10.3	1.43	4.24	4.57	0.961
3 x 2 x 1/4	76 x 51 x 6.4	12.2	15.5	5.08	6.35	1.24	0.508	32	15.2	8.44	1.45	3.48	3.86	0.944
3 x 2 x 1/4 x 3/8	76 x 51 x 6.4 x 9	12.2	15.5	5.08	6.35	1.24	0.508	32	15.2	8.44	1.45	3.84	4.19	0952
3 x 2 x 1/4 x 3/4	76 x 51 x 6.4 x 19	12.2	15.5	5.08	6.35	1.24	0.508	32	15.2	8.44	1.45	4.22	4.55	0.959
3 x 2 x 3/16	76 x 51 x 4.8	9.2	11.8	5.08	4.76	1.17	0.381	25	11.5	6.49	1.47	3.43	3.86	0.941
3 x 2 x 3/16 x 3/8	76 x 51 X 4.8 X 9	9.2	11.8	5.08	4.76	1.17	0.381	25	11.5	6.49	1.47	3.78	4.17	0.95
3 x 2 x 3/16 x 3/4	76 x 51 x 4.8 x 19	9.2	11.8	5.08	4.76	1.17	0.381	25	11.5	6.49	1.47	4.17	4.52	0.957
2-1/2 x 2 x 3/8	64 x 51 x 9.5	15.8	20.1	5.08	9.53	1.47	0.787	43	21.5	11.8	1.46	2.87	3.35	0.913
2-1/2 x 2 x 3/8 x 3/8	64 x 51 x 9.5 x 9	15.8	20.1	5.08	9.53	1.47	0.787	43	21.5	11.8	1.46	3.23	3.68	0.927
2-1/2 x 2 x 3/8 x 3/4	64 x 51 x 9.5 x 19	15.8	20.1	5.08	9.53	1.47	0.787	43	21.5	11.8	1.46	3.61	4.04	0.939
2-1/2 x 2 x 5/16	64 x 51 x 7.9	13.4	17	5.08	7.94	1.41	0.66	37	18.2	10.1	1.48	2.84	3.35	0.909
2-1/2 x 2 X 5/16 x 3/8	64 x 51 x 7.9 x 9	13.4	17	5.08	7.94	1.41	0.66	37	18.2	10.1	1.48	3.2	3.66	0.923
2-1/2 x 2 x 5/16 x 3/4	64 x 51 x 7.9 x 19	13.4	17	5.08	7.94	1.41	0.66	37	18.2	10.1	1.48	3.58	4.01	0.936
2-1/2 x 2 x 1/4	64 x 51 x 6.4	10.8	13.8	5.08	6.35	1.35	0.533	31	14.9	8.31	1.5	2.79	3.35	0.904
2-1/2 x 2 x 1/4 x 3/8	64 x 51 x 6.4 x 9	10.8	13.8	5.08	6.35	1.35	0.533	31	14.9	8.31	1.5	3.15	3.63	0.92
2-1/2 x 2 x 1/4 x 3/4	64 x 51 x 6.4 x 19	10.8	13.8	5.08	6.35	1.35	0.533	31	14.9	8.31	1.5	3.53	3.99	0.933
2-1/2 x 2 x 3/16	64 x 51 x 4.8	8.4	10.6	5.08	4.76	1.29	0.406	24	11.4	6.41	1.52	2.77	3.33	0.901
2-1/2 x 2 x 3/16 x 3/8	64 x 51 x 4.8 x 9	8.4	10.6	5.08	4.76	1.29	0.406	24	11.4	6.41	1.52	3.12	3.63	0.916
2-1/2 x 2 x 3/16 x 3/4	64 x 51 x 4.8 x 19	8.4	10.6	5.08	4.76	1.29	0.406	24	11.4	6.41	1.52	3.51	3.96	0.929

CAPITULO

VIII

Remaches, tornillos estandard y de alta resistencia, soldaduras y conexiones

- VIII.1 REMACHES
- VIII.2 TORNILLOS
- VIII.3 SOLDADURAS
- VIII.4 ÁREA NETA DE ÁNGULOS
- VIII.5 CONEXIONES ENTRE MIEMBROS DE ACERO ESTRUCTURAL

CAPITULO

VIII

VIII.1 REMACHES

- VIII.1.1 DIMENSIONES
- VIII.1.2 PESO EN KG POR 100 PIEZAS
- VIII.1.3 LONGITUD NECESARIA PARA DIVERSOS AGARRES
- VIII.1.4 CAPACIDAD DE CARGA

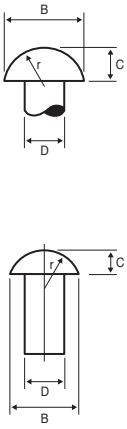
Introducción

Desde hace muchos años, los remaches han caído en desuso, en virtud de las grandes ventajas que ofrecen otros medios de unión, como son los tornillos de alta resistencia y las soldaduras.

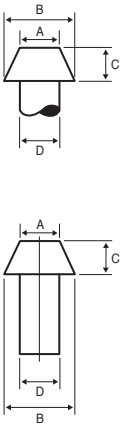
No obstante, en este manual se incluye información general de los remaches, ya que en algunas ocasiones es necesario reforzar estructuras antiguas de acero y es difícil remitirse a literatura de la época anterior.

Remaches

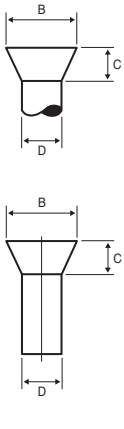
Cabeza Redonda



Cabeza Cónica

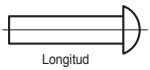


Cabeza Embutida



D (Diámetro)		B		C		r (Radio)		A		B		C		B		C	
Pulg.	mm	Pulg.	mm	Décimas de Pulg.	mm	Pulg.	mm	Pulg.	mm	Pulg.	mm	Pulg.	mm	Pulg.	mm	Pulg.	mm
1/8	3.2	17/64	6.7	0.075	1.9	5/32	4.0	1/8	3.2	–	–	–	–	17/64	6.7	1/8	3.2
3/16	4.8	23/64	9.1	0.113	2.9	13/64	5.2	3/16	4.8	–	–	–	–	23/64	9.1	5/32	4.0
1/4	6.3	15/32	11.9	0.150	3.8	1/4	6.4	1/4	6.4	7/16	11.1	7/32	5.6	15/32	11.9	3/16	4.8
5/16	7.9	35/64	13.9	0.188	4.8	19/64	7.5	5/16	7.9	35/64	13.9	9/32	7.1	35/64	13.9	13/64	5.1
3/8	9.5	21/32	16.6	0.225	6.7	11/32	8.7	3/8	9.5	21/32	16.7	21/64	8.3	21/32	16.6	7/32	5.6
1/2	12.7	27/32	21.4	0.300	7.6	7/16	11.1	1/2	12.7	7/8	22.2	7/16	11.1	27/32	21.4	9/32	7.1
5/8	15.9	11/32	26.2	0.375	9.5	17/32	13.5	5/8	15.9	13/32	27.8	17/32	13.5	11/32	26.2	11/32	8.7
3/4	19.0	17/32	30.9	0.450	11.4	5/8	15.8	3/4	19.1	15/16	33.3	21/32	16.7	17/32	30.9	3/8	9.5
7/8	22.2	13/8	34.9	0.525	13.3	23/32	18.3	7/8	22.2	117/32	38.9	3/4	19.1	13/8	34.9	7/16	11.1
1	25.4	19/16	59.7	0.600	15.2	13/16	20.6	1	25.4	13/4	44.4	7/8	22.2	19/16	39.7	1/2	12.7

Remaches con cabeza redonda
Peso aproximado



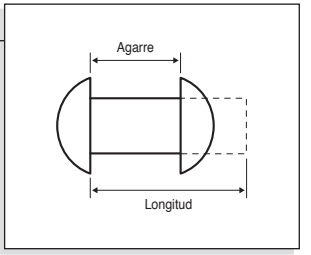
Largo		Diámetro de los remaches					
Pulgadas	mm	3/8" 9.5 mm	1/2" 12.7 mm	5/8" 15.9 mm	3/4" 19.0 mm	7/8" 22.2 mm	1" 25.4 mm
1/2	12.7	1.425	-	-	-	-	-
5/8	15.9	1.560	-	-	-	-	-
3/4	19.0	1.755	3.250	5.500	-	-	-
7/8	22.2	1.935	3.450	6.100	-	-	-
1	25.4	2.170	3.850	6.700	11.100	-	-
1 1/4	31.7	2.505	4.400	7.500	11.200	-	-
1 1/2	38.1	2.810	5.055	8.250	12.800	18.500	27.300
1 3/4	44.4	3.235	5.950	9.650	14.400	19.600	29.125
2	50.8	3.490	6.450	10.450	15.700	21.700	30.950
2 1/4	57.1	4.015	7.200	11.600	17.400	22.800	32.775
2 1/2	63.5	4.200	7.850	12.700	18.700	24.800	34.600
2 3/4	69.8	4.625	8.100	13.700	19.975	26.700	36.800
3	76.2	4.720	9.650	14.500	21.100	29.200	39.600
3 1/4	82.5	5.345	10.025	15.300	22.500	30.800	42.100
3 1/2	88.9	5.530	10.400	16.400	23.700	32.600	44.600
3 3/4	95.2	5.955	10.950	16.700	25.100	36.000	47.300
4	101.6	6.050	11.500	18.800	27.100	36.200	50.000
4 1/4	107.9	-	12.000	19.650	28.400	38.050	52.200
4 1/2	114.3	-	12.500	20.500	29.700	39.900	54.400
4 3/4	120.6	-	13.000	21.750	31.050	41.950	56.600
5	127.0	-	13.500	23.000	32.400	44.000	58.800
5 1/4	133.3	-	-	24.050	33.700	45.850	61.300
5 1/2	139.7	-	-	25.100	35.000	47.700	63.800
5 3/4	146.0	-	-	26.150	36.600	49.550	65.900
6	152.4	-	-	27.200	38.200	51.400	68.000
Por pulgada adicional		1.330	2.520	4.200	5.800	7.400	9.200

Peso aproximado en kgs por 100 cabezas de Remaches

	Diámetro de los remaches					
Cabezas hechas en el	3/8" 9.5 mm	1/2" 12.7 mm	5/8" 15.9 mm	3/4" 19.0 mm	7/8" 22.2 mm	1" 25.4 mm
Taller	1.09	2.27	4.41	57.27	10.91	15.91
Campo	0.86	1.82	3.41	5.68	8.41	12.27

VIII.1.3 Longitud necesaria para diversos agarres 1 de 2

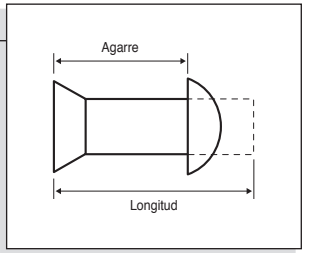
Remaches con cabeza redonda



Agarre	Diámetros					Agarre	Diámetros				
	1/2	5/8	3/4	7/8	1		12.7	15.9	19.0	22.2	25.4
Pulgadas	Pulgada	Pulgada	Pulgada	Pulgada	Pulgada	mm	mm	mm	mm	mm	mm
1/2	1 1/2	1 3/4	1 7/8	2	2 1/8	12.7	38.1	44.4	47.6	50.8	54.0
5/8	1 5/8	1 7/8	2	2 1/8	2 1/4	15.9	41.3	47.6	50.8	54.0	57.1
3/4	1 3/4	2	2 1/8	2 1/4	2 3/8	19.0	44.4	50.8	54.0	57.1	60.3
7/8	1 7/8	2 1/8	2 1/4	2 3/8	2 1/2	22.2	47.6	54.0	57.1	60.3	63.5
1	2	2 1/4	2 3/8	2 1/2	2 5/8	25.4	50.8	57.1	60.3	63.5	66.7
1 1/8	2 1/8	2 3/6	2 1/2	2 5/8	2 3/4	28.6	54.0	60.3	63.5	66.7	69.8
1 1/4	2 1/4	2 1/2	2 5/8	2 3/4	2 7/8	31.7	57.1	63.5	66.7	69.8	73.0
1 3/8	2 3/8	2 5/8	2 3/4	2 7/8	3	34.9	60.3	66.7	69.8	73.0	76.2
1 1/2	2 5/8	2 7/8	3	3 1/8	3 1/4	38.1	66.7	73.0	76.2	79.4	82.5
1 5/8	2 3/4	3	3 1/8	3 1/4	3 3/8	41.3	69.8	76.2	79.4	82.5	85.7
1 3/4	3	3 1/4	3 3/8	3 1/2	3 5/8	44.4	76.2	82.5	85.7	88.9	92.1
1 7/8	3 1/8	3 3/8	3 1/2	3 5/8	3 3/4	47.6	79.4	85.7	88.9	92.1	95.2
2	3 1/4	3 1/2	3 5/8	3 3/4	3 7/8	50.8	82.5	88.9	92.1	95.2	98.4
2 1/8	3 3/8	3 5/8	3 3/4	3 7/8	4	54.0	85.7	92.1	95.2	98.4	101.6
2 1/4	3 1/2	3 3/4	3 7/8	4	4 1/8	57.1	88.9	95.2	98.4	101.6	104.8
2 3/8	3 5/8	3 7/8	4	4 1/8	4 1/4	60.3	92.1	98.4	101.6	104.8	107.9
2 1/2	3 3/4	4	4 1/8	4 1/4	4 3/8	63.5	95.2	101.6	104.8	107.9	111.1
2 5/8	3 7/8	4 1/8	4 1/4	4 3/8	4 1/2	66.7	98.4	104.8	107.9	111.1	114.3
2 3/4	4	4 1/4	4 3/8	4 1/2	4 5/8	69.8	101.6	107.9	111.1	114.3	117.5
2 7/8	4 1/8	4 3/8	4 1/2	4 5/8	4 3/4	73.0	104.8	111.1	114.3	117.5	120.6
3	4 3/8	4 5/8	4 3/4	4 7/8	5	76.2	111.1	117.5	120.6	123.8	127.0
3 1/8	4 1/2	4 3/4	4 7/8	5	5 1/8	79.4	114.3	120.6	123.8	127.0	130.2
3 1/4	4 5/8	4 7/8	5	5 1/8	5 1/4	82.5	117.5	123.8	127.0	130.2	133.3
3 3/8	4 3/4	5	5 1/8	5 1/4	5 3/8	85.7	120.6	127.0	130.2	133.3	136.5
3 1/2	4 7/8	5 1/8	5 1/4	5 3/8	5 1/2	88.9	123.8	130.2	133.3	136.5	139.7
3 5/8	5	5 1/4	5 3/8	5 1/2	5 5/8	92.1	127.0	133.3	136.5	139.7	142.9
3 3/4	5 1/8	5 3/8	5 1/2	5 5/8	5 3/4	95.2	130.2	136.5	139.7	142.9	146.0
3 7/8	5 1/4	5 1/2	5 5/8	5 3/4	5 7/8	98.4	133.3	139.7	142.9	146.0	149.2
4	5 3/8	5 5/8	5 3/4	5 7/8	6	101.6	136.5	142.9	146.0	149.2	152.4
4 1/8	5 5/8	5 7/8	6	6 1/8	6 1/4	104.8	142.9	149.2	152.4	155.6	158.7
4 1/4	5 3/4	6	6 1/8	6 1/4	6 3/8	107.9	146.0	152.4	155.6	158.7	161.9
4 3/8	6	6 1/4	6 3/8	6 1/2	6 5/8	111.1	152.4	158.7	161.9	165.1	168.3
4 1/2	6 1/8	6 3/8	6 1/2	6 5/8	6 3/4	114.3	155.6	161.9	165.1	168.3	171.4
4 5/8	6 1/4	6 1/2	6 5/8	6 3/4	6 7/8	117.5	158.7	165.1	168.3	171.4	174.6
4 3/4	6 3/8	6 5/8	6 3/4	6 7/8	7	120.6	161.9	168.3	171.4	174.6	177.8
4 7/8	6 1/2	6 3/4	6 7/8	7	7 1/8	123.8	165.1	171.4	174.6	177.8	181.0
5	6 5/8	6 7/8	7	7 1/8	7 1/4	127.0	168.3	174.6	177.8	181.0	184.1

VIII.1.3 Longitud necesaria para diversos agarres 2 de 2

Remaches con cabeza embutida



Agarre	Diámetros					Agarre	Diámetros				
Pulgadas	1/2 Pulgada	5/8 Pulgada	3/4 Pulgada	7/8 Pulgada	1 Pulgada	mm	12.7 mm	15.9 mm	19.0 mm	22.2 mm	25.4 mm
1/2	1 1/8	1 1/4	1 1/4	1 3/8	1 3/8	12.7	28.6	31.7	31.7	34.9	34.9
5/8	1 1/4	1 3/8	1 3/8	1 1/2	1 1/2	15.9	31.7	34.9	34.9	38.1	38.1
3/4	1 3/8	1 1/2	1 1/2	1 5/8	1 5/8	19.0	34.9	38.1	38.1	41.3	41.3
7/8	1 1/2	1 5/8	1 5/8	1 3/4	1 3/4	22.2	38.1	41.3	41.3	44.4	44.4
1	1 5/8	1 3/4	1 3/4	1 7/8	1 7/8	25.4	41.3	44.4	44.4	47.6	47.6
1 1/8	1 3/4	1 7/8	1 7/8	2	2	28.6	44.4	47.6	47.6	50.8	50.8
1 1/4	1 7/8	2	2	2 1/8	2 1/8	31.7	47.6	50.8	50.8	54.0	54.0
1 3/8	2	2 1/8	2 1/8	2 1/4	2 1/4	34.9	50.8	54.0	54.0	57.1	57.1
1 1/2	2 1/8	2 1/4	2 3/8	2 3/8	2 1/2	38.1	54.0	57.1	60.3	60.3	63.5
1 5/8	2 1/4	2 3/8	2 3/8	2 1/2	2 5/8	41.3	57.1	60.3	63.5	63.5	66.7
1 3/4	2 3/8	2 1/2	2 1/2	2 5/8	2 3/4	44.4	60.3	63.5	66.7	66.7	69.8
1 7/8	2 1/2	2 5/8	2 5/8	2 3/4	2 7/8	47.6	63.5	66.7	69.8	69.8	73.0
2	2 5/8	2 3/4	2 7/8	2 7/8	3	50.8	66.7	69.8	73.0	73.0	76.2
2 1/8	2 3/4	2 7/8	3	3	3 1/8	54.0	69.8	73.0	76.2	76.2	79.4
2 1/4	2 7/8	3	3 1/8	3 1/8	3 1/4	57.1	73.0	76.2	79.4	79.4	82.5
2 3/8	3	3 1/8	3 1/4	3 1/4	3 3/8	60.3	76.2	79.4	82.5	82.5	85.7
2 1/2	3 1/8	3 1/4	3 3/8	3 3/8	3 1/2	63.5	79.4	82.5	85.7	85.7	88.9
2 5/8	3 1/4	3 3/8	3 1/2	3 1/2	3 5/8	66.7	82.5	85.7	88.9	88.9	92.1
2 3/4	3 3/8	3 1/2	3 5/8	3 5/8	3 3/4	69.8	85.7	88.9	92.1	92.1	95.2
2 7/8	3 1/2	3 5/8	3 3/4	3 3/4	3 7/8	73.0	88.9	92.1	95.2	95.2	98.4
3	3 3/4	3 7/8	3 7/8	4	4 1/8	76.2	95.2	98.4	98.4	101.6	104.8
3 1/8	3 7/8	4	4	4 1/8	4 1/4	79.4	98.4	101.6	101.6	104.8	107.9
3 1/4	4	4 1/8	4 1/8	4 1/4	4 3/8	82.5	101.6	104.8	104.8	107.9	111.1
3 3/8	4 1/8	4 1/4	4 1/4	4 3/8	4 1/2	85.7	104.8	107.9	107.9	111.1	114.3
3 1/2	4 1/4	4 3/8	4 3/8	4 1/2	4 5/8	88.9	107.9	111.1	111.1	114.3	117.5
3 5/8	4 3/8	4 1/2	4 1/2	4 5/8	4 3/4	92.1	111.1	114.3	114.3	117.5	120.6
3 3/4	4 1/2	4 5/8	4 5/8	4 3/4	4 7/8	95.2	114.3	117.5	117.5	120.6	123.8
3 7/8	4 5/8	4 3/4	4 3/4	4 7/8	5	98.4	117.5	120.6	120.6	123.8	127.0
4	4 3/4	4 7/8	4 7/8	5	5 1/8	101.6	120.6	123.8	123.8	127.0	130.2
4 1/8	4 7/8	5	5	5 1/8	5 1/4	104.8	123.8	127.0	127.0	130.2	133.3
4 1/4	5	5 1/8	5 1/8	5 1/4	5 3/8	107.9	127.0	130.2	130.2	133.3	136.5
4 3/8	5 1/8	5 1/4	5 1/4	5 3/8	5 1/2	111.1	130.2	133.3	133.3	136.5	139.7
4 1/2	5 1/4	5 3/8	5 1/2	5 1/2	5 5/8	114.3	133.3	136.5	139.7	139.7	142.9
4 5/8	5 1/2	5 5/8	5 5/8	5 5/8	5 3/4	117.5	139.7	142.9	142.9	142.9	146.0
4 3/4	5 5/8	5 3/4	5 3/4	5 3/4	5 7/8	120.6	142.9	146.0	146.0	146.0	149.2
4 7/8	5 3/4	5 7/8	5 7/8	5 7/8	6	123.8	146.0	149.2	149.2	149.2	152.4
5	5 7/8	6	6	6	6 1/8	127.0	149.2	152.4	152.4	152.4	155.6

Remaches
Resistencia al esfuerzo cortante y aplastamiento en kg

Esfuerzos de diseño:

Corte = 1,050 kg/cm²
Aplastamiento = 2,810 kg/cm²

		Diámetro de los remaches				
		1/2" 12.7 mm	5/8" 15.9 mm	3/4" 19.0 mm	7/8" 22.2 mm	1" 25.4 mm
Área	(cm²)	1267	1979	2850	3879	5067
Corte simple	(kg/Rem.)	1330	2078	2993	4073	5320
Corte doble	(kg/Rem.)	2660	4156	5986	8146	10640

Espesor de placa			Aplastamiento				
mm	Pulgadas		por remache	por remache	por remache	por remache	por remache
3.18	.125	1/8	1135	1421	1698	1984	
3.56	.140		1270	1591	1901	2221	
4.06	.160		1449	1814	2168	2533	
4.57	.180		1631	2042	2440	2851	
4.76	.1875	3/16	1699	2127	2541	2969	
5.08	.200		1813	2270	2712	3169	3626
5.59	.220		1995	2498	2985	3487	3990
6.10	.240		2177	2725	3257	3805	4354
6.35	.250	1/4	2266	2837	3390	3961	4532
6.60	.260		2355	2949	3524	4117	4711
7.11	.280		2537	3177	3796	4435	5075
7.62	.300		2719	3405	4068	4754	5439
7.94	.3125	5/16		3548	4239	4953	5667
8.13	.320			3632	4341	5072	5803
8.64	.340			3860	4613	5390	6167
9.14	.360			4084	4880	5702	6524
9.53	.375	3/8		4258	5088	5945	6802
9.65	.380				5152	6020	6888
10.16	.400				5424	6338	7252
10.67	.420				5697	6656	7616
11.11	.4375	7/16			5932	6930	7930
11.18	.440					6974	7980
11.68	.460					7286	8336
12.19	.480					7604	8700
12.70	.500	1/2				7923	9064
13.21	.520						9429
13.72	.540						9793
14.22	.560						10121
14.29	.5625	9/16					10199
14.73	.580						10513
15.24	.600						10877

CAPITULO

VIII

VIII.2 TORNILLOS

- VIII.2.1 CARACTERÍSTICAS E IDENTIFICACIÓN SEGUN SU CALIDAD
- VIII.2.2 DIMENSIONES
- VIII.2.3 PESO EN KG POR 100 PIEZAS
- VIII.2.4 SIGNOS CONVENCIONALES Y LONGITUD NECESARIA PARA DIVERSOS AGARRES
- VIII.2.5 RESISTENCIA AL APLASTAMIENTO EN LOS AGUJEROS PARA TORNILLOS

Introducción
La mayor parte de las especificaciones referentes al diseño de estructuras de acero reconocen como medios de unión entre sus elementos, a los remaches, los tornillos y la soldadura.

Desde hace muchos años, los remaches fueron los elementos de unión de estructuras de acero más comunes en el siglo XIX y hasta mediados del XX, pero en la actualidad han desaparecido ya en la práctica y no se emplean en construcciones nuevas, ni en el taller, ni en la obra, pues han sido sustituidos, con ventaja, por la soldadura y los tornillos de alta resistencia. Sin embargo, la importancia, cada vez mayor, de la evaluación, rehabilitación y refuerzo de estructuras existentes, hace que sea indispensable el conocimiento de las uniones remachadas.

Si se conoce la época en que se construyó una estructura de acero remachada, puede ser posible obtener las propiedades mecánicas de los remaches utilizados en ella, recurriendo a literatura técnica de la época; en caso contrario, será necesario realizar en sayes mecánicos y químicos de laboratorio para determinar esas características

Actualmente, se utilizan dos tipos de tornillos, los llamados comunes y los de alta resistencia. Se designan, con el nombre que les dan las normas de ASTM para especificar sus características químicas y mecánicas, los primeros como tornillos A-307 y los de alta resistencia como tornillos A-325 (H-124) ó A-490 (H-123).

ASTM A-307 (H-118) Sujetadores de acero al carbono con rosca estándar exterior (F_u *= 414 MPa; 4 220 kg/cm²*).

ASTM A-325 (H-124) Tornillos de alta resistencia para conexiones entre elementos de acero estructural [F_u *= 830 MPa* (*8 440 kg/cm²*) para diámetros de 13 a 25 mm (1/2 a 1 pulg.), F_u *= 725 MPa* (*7 380 kg/cm²*) para diámetros de 29 y 38 mm (1 1/8 y 1 1/2 pulg.)].

ASTM A-490 (H-123) Tornillos de acero aleado tratado térmicamente para conexiones entre elementos de acero estructural (F_u *= 1 035 MPa, 10 550 kg/cm²*).

Estas normas se complementan con las de la última versión de "Load and Resistance Factor Design Specification for Structural Joints Using ASTM A-325 or A-490 Bolts", del Consejo de Investigación en Conexiones Estructurales (Research Council on Structural Connections).

Tornillos comunes A-307 (H-118)
Son, históricamente, el primer medio de unión utilizado en estructuras de acero; en la actualidad tienen una aplicación estructural muy limitada ya que su resistencia es reducida y no se recomiendan cuando pueden esperarse cambios de signo en los esfuerzos de las piezas de acero que conectan o cuando la estructura esté sometida a cargas dinámicas (sismo, principalmente).

En este sentido, las especificaciones del AISC fijan una serie de casos concretos en que los tornillos A-307 no deben usarse.

No se usarán para uniones entre tramos de columnas en estructuras esbeltas:

a) Que tengan una altura de más de 60 m.
b) Que tengan una altura de entre 30 y 60 m, cuando la base es menor del 40% de la altura.
c) Que tengan una altura cualquiera si la base mide menos de 25% de la altura.

No se usará en estructuras que deban soportar trabes grúa.

No se usarán donde haya máquinas o alguna carga viva que produzca impacto o reversión de esfuerzos.

Sin embargo, en estructuras ligeras en que los problemas mencionados no aparecen, así como en conexiones de elementos secundarios tales como largueros de techo, constituyen una buena solución pues son económicos y su manejo y colocación es muy simple.

Tornillos de alta resistencia A-325 (NOM-H-118) y A-490 (NOM-H-123)
Basan su capacidad en el hecho de que pueden quedar sometidos a una gran fuerza de tensión controlada que aprieta firmemente los elementos de la conexión.

Las ventajas de este apriete firme se conocen desde hace tiempo, pero su aplicación práctica en estructuras proviene de 1951 en que se publicaron las primeras especificaciones para regir su utilización. Desde entonces los tornillos de alta resistencia se han venido utilizando en forma creciente en Estados Unidos y en las dos últimas décadas, también en México.

A partir de 951, las especificaciones relativas a estos tornillos se han modificado varias veces para poder incluir los resultados de las investigaciones que, en forma caso contínua, se han venido realizando en torno a ellos.

Los primeros tornillos de alta resistencia que se desarrollaron y aún los más comúnmente usados son los A-325 (H-124); posteriormente y con objeto de contar con capacidades aún mayores, se desarrollaron los A-490 (H-123), ambos se obtienen de aceros al carbón tratados térmicamente.

Los tornillos A-325 (H-124) se marcan, para distinguirlos, con la leyenda: A-325 y tres líneas radicales en su cabeza; la tuerca tiene tres marcas espaciadas de 120º.

Los tornillos A-490 (H-123) se marcan con su nombre en la cabeza y con la leyenda 2H ó DH en la tuerca.

Las últimas normas reconocen 3 tipos distintos de tornillos A-325 (H-124); los tornillos tipo 1 son los originales y cuando se solicitan simplemente tornillos A-325 (H-124) son los que se suministran. Son los más utilizados.

Los tornillos tipo 2 (A-325 ó H-124) se fabrican con acero martensítico de bajo carbono, para distinguirlos se marcan con líneas radicales a 60º en vez de 120º como los de tipo 1.

Los tornillos A-325 (H-124) tipo 3 se caracterizan por tener una alta resistencia a la corrosión, suelen usarse con aceros de características similares a ellos. Se marcan con la leyenda A-325 subrayada, la tuerca se marca con el número 3.

En México los únicos usados en forma extensa han sido los de tipo 1.

Inicialmente los tornillos de alta resistencia consistían en un tornillo, una tuerca y dos rondanas; actualmente las dimensiones de la cabeza y de la tuerca se han diseñado de tal forma que se puede, en muchos casos, prescindir totalmente de las rondanas y usar en los demás, una sola.

Características químicas y mecánicas de los tornillos de alta resistencia
La composición química de los tornillos de alta resistencia, junto con el tratamiento térmico a que son sometidos, les proporciona sus características de resistencia; el contenido de carbono y de manganeso es la variable más significativa en los tornillos A-325 (H-124). En los A-490 (H-123) el contenido de carbono se fija y el elemento de aleación se deja abierto para poder proporcionar los distintos caminos las propiedades mecánicas requeridas.

Aunque, cuando es posible, los tornillos deben someterse a una prueba de tensión para probar su resistencia; a menudo son demasiado cortos para que la prueba directa de tensión se pueda realizar, se recurre entonces a controlar la resistencia, indirectamente, a través de una prueba de dureza. Se realizan con ese fin las pruebas Brinell ó Rockell.

Tipos de juntas con tornillos de alta resistencia
Las juntas que transmiten fuerza cortante entre las partes conectadas se diseñan para que la transmisión se haga por aplastamiento entre los tornillos y las partes conectadas, o por fricción entre éstas. Las primeras se denominan juntas “por aplastamiento” (bearing type joints), las segundas “de fricción” o de “deslizamiento crítico” (slip-critical joints).

Las segundas se caracterizan porque la transmisión de las fuerzas que actúan en la conexión se logra únicacmente por la fricción que se desarrolla entre los elementos que la constituyen.

En estas juntas el deslizamiento entre las piezas que se unen no es aceptable, se considera que el deslizamiento equivaldría a la falla, los coeficientes de seguridad contra el deslizamiento se aceptan pequeños pues las consecuencias de su ocurrencia no son graves.

La magnitud de la fricción depende de la fuerza de tensión en el tornillo y de las características de la superficie de los elementos que se conectan.

Aunque es cierto que en las juntas de fricción los tornillos no trabajan a esfuerzo cortante tradicionalmente se ha venido estableciendo un esfuerzo cortante permisible ficticio.

Para la determinación del número de tornillos que se requieren en una junta, esto ha permitido tratar el diseño de juntas con tornillos de fricción con los mismos criterios con que durante mucho tiempo, se han proporcionado las juntas remachadas.

Las conexiones de fricción se especifican como necesarias en todos aquellos casos en que se esperan inversiones de esfuerzos y en los que en condiciones de trabajo, el deslizamiento se considera indeseable.

Hay ocasiones en que la inversión de esfuerzos no ocurre y en que, al colocar los tornillos, la carga muerta los presiona contra los lados del agujero, entonces el trabajo de la junta puede ser por aplastamiento y por cortante y se presentan entonces las conexiones llamadas de aplastamiento.

Si bien, también en estas juntas, la tensión en el tornillo, que es la misma que en juntas de fricción que probablemente podría tomar las cargas de trabajo, esta en realidad no se requiere. En estas juntas se puede sacar ventaja de la resistencia de los tornillos, sobre todo si se logra que la rosca se encuentre fuera de los planos de corte. Con el fin de lograr esto en lo posible, los tornillos de alta resistencia tienen una rosca bastante corta.

En estructuras para puentes los tornillos en juntas de aplastamiento se limitan a piezas que solo trabajan a compresión a miembros secundarios, se exige además que en todos los casos la rosca se excluya de los planos de corte.

Para mantener su fricción es necesario que las superficies estén libres de todo elemento que la disminuya, se prohíbe por ello, que haya aceite, pintura, oxido suelto, etc. Dada la importancia de este hecho, las últimas especificaciones reconocen nueve condiciones distintas en que se pueden encontrar las superficies de la junta y asocian a cada una de ellas un esfuerzo permisible diferente, reconociendo las diferencias existentes a el coeficiente de fricción.

En los planos debe indicarse si los tornillos de juntas por aplastamiento han de apretarse hasta darles la tensión mínima especificada.

Instalación
Dependiendo del tipo de conexión, puede, o no, requerirse que los tornillos se instalen apretándolos hasta que haya en ellos una tensión especificada mínima, no menor que la dada en la tabla 5.6. El apriete puede hacerse por alguno de los métodos siguientes: vuelta de la tuerca, con un indicador directo de tensión, una llave calibrada, o con un tornillo de diseño especial.

Por lo tanto, los tornillos de alta resistencia se instalan de modo que queden sometidos a una fuerza mínima de tensión especificada.

Esta fuerza es de aproximadamente el 70% de la resistencia a tensión del tornillo, se denomina carga de prueba y es normalmente algo menor al límite de proporcionalidad del tornillo.

La tensión especificada se puede dar haciendo uso de un indicador directo de tensión o usando cualquiera de otros dos métodos que también se especifican en las normas

y que se basan en el hecho de que la tensión en el tornillo se puede relacionar con dos cantidades observables, el alargamiento del tornillo y el giro de la tuerca.

El primero de estos métodos consigue la tensión usando llaves calibradas, el segundo dando un giro especificado a la tuerca.

Métodos de llaves calibradas
Implica el ajuste frecuente de la llave con un dispositivo capaz de medir la tensión en tornillos típicos de la conexión, ya que el ajuste pierde precisión con facilidad porque las condiciones de distintas juntas son muy diferentes entre si; se especifica que la calibración se realice una vez por cada día de trabajo y por cada diámetro o lote de tornillo que se utilice, aún en el caso de que aprieten juntas similares.

Se exige también, cuando se usa este método, que se coloque una rondana bajo la parte del tornillo que se accione con la llave, con objeto de minimizar las irregularidades en la tensión producida que, inevitablemente existen al utilizar este procedimiento.

Método de vuelta de la tuerca
Este procedimiento requiere un control de la colocación de los tornillos más simples que el anterior y es por ello más utilizado.

Consiste en términos generales, en apretar, en una primera etapa, todos los tornillos con una llave normal de tuercas hasta el esfuerzo máximo de un hombre y enseguida, dar a la tuerca 1/2 vuelta adicional; excepcionalmente, el giro debe ser mayor.

Ha sido posible determinar experimentalmente la relación que existe entre la rotación de la tuerca y el alargamiento y la tensión en el tornillo, con ese fin se han realizado una cantidad importante de pruebas, en ellas se ha observado que la resistencia a tensión en un tornillo es menor cuando esta tensión se da girando la tuerca que cuando se da en forma directa, esta es la razón de que la carga de prueba se fije sólo en un 70% de la resistencia a tensión directa.

Se observa que una vez dado el primer tercio de vuelta hay una reserva importante de deformación posible adicional hasta la falla, esto hace que el método no sea muy sensible a errores relativos al apriete que debe tener el tornillo en la primera etapa, al iniciarse la media vuelta perdida.

Debido a esto, cuando se utiliza este método, no se requiere la colocación de ninguna rondana, excepto cuando se utilizan tornillos A-490 (H-123) en aceros con esfuerzo de fluencia inferior a 2 800 kg/cm^2, caso en que se necesita una rondana, cualquiera que sea el método de apriete.

Con el objeto de garantizar el buen comportamiento de conexiones apretadas con este método se ha estudiado el efecto de una serie de variables que intervienen en su ejecución.

Se ha estudiado, por ejemplo, el efecto de girar la tuerca en pequeños incrementos en vez de forma contínua, el efecto de la longitud de agarre y la posición relativa de tuerca y rosca. Se ha investigado, así mismo, la posibilidad de reutilizar tornillos colocados con este método.

Una recomendación práctica para lograr un buen apriete general de la junta consiste en iniciarlo en los tornillos localizados en la parte más rígida de la unión y avanzar hacia los extremos libres. Durante el apriete la parte que no se gira, cabeza o tuerca se sostendrá con una llave.

Otros tópicos relativos a tornillos de alta resistencia

Agujeros
Durante bastante tiempo sólo se aceptaron agujeros exactamente 1/16" mayores que el diámetro del tornillo, sin embargo, la necesidad de facilitar las condiciones de montaje de las estructuras atornilladas indujo a que se realizaran una extensa serie de pruebas para demostrar la posibilidad de utilizar agujeros con diámetros algo mayores sin detrimento de la resistencia.

El resultado de estas investigaciones ha conducido a que se acepten agujeros mayores aunque en este caso se requiere colocar una rondana en el lado exterior de la junta.

En juntas de aplastamiento sólo se permiten agujeros ovalados, el lado alargado normal a la dirección de los esfuerzos.

Determinación de la longitud de los tornillos
Debe añadirse al agarre (espesor de todo material conectado) ciertas distancias especificadas con el objeto de garantizar la colocación correcta de los tornillos teniendo en cuenta las tolerancias de fabricación.

Estas distancias están dadas en la tabla 6.

Adicionalmente por cada rondana plana se debe considerar una longitud adicional de 5/32" y por cada una tipo cuña 5/16". La longitud así obtenida se cierra al cuarto de pulgada superior más próximo.

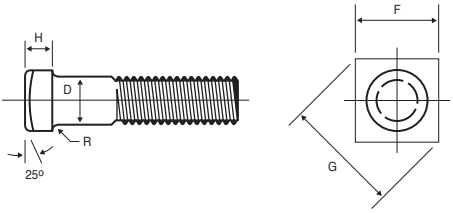
Por lo que se refiere a la ejecución de los agujeros las normas recomiendan que cuando el espesor del material no es mayor que el diámetro del tornillo más 1/8" se pueden punzonar, en caso contrario deben ser taladrados o subpunzonados y rimados.

Galvanizado
Otro avance importante respecto a criterios anteriores lo marca el hecho de que se permita ahora galvanizar los tornillos A-325 (H-124); tras una amplia serie de pruebas que han demostrado un comportamiento adecuado aún teniendo en cuenta posibles efectos de fatiga.

No ha ocurrido lo mismo con los tornillos A-490 (H-123) cuyo galvanizado no se permite.

En juntas de fricción, se permite el galvanizado de la estructura siempre que se trate la zona de la conexión con cepillo de alambre o chorro de arena para garantizar la fricción adecuada. Debe cuidarse por supuesto, no dañar el galvanizado.

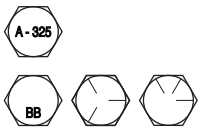
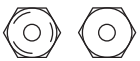
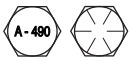
Tornillos
Para tornillos estructurales



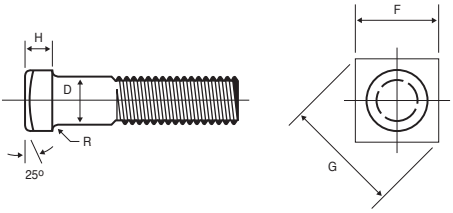
Estandard

Calidad	Identificación		Esfuerzo de ruptura mínimo en		Material
	Tornillos	Tuercas	k/cm²	PSI	
Acero ASTM A-307 S.A.E. 2			4,499	64,000	Acero bajo en carbón

Alta resistencia

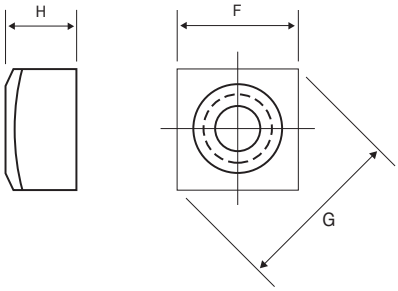
Calidad	Identificación		Esfuerzo de ruptura mínimo en		Material
	Tornillos	Tuercas	k/cm²	PSI	
Acero ASTM A-449 S.A.E. 5 ASTM A-325 ASTM A-354 BB			7,381	105,000	Acero medio en carbón o bien baja aleación tratamiento y térmico
Acero ASTM A-490 S.A.E. 8			10,545	150,000	Acero medio en carbón y con aleación templado y revenido

Tornillo estandard
Cabeza cuadrada



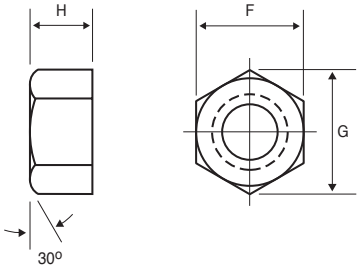
Diámetro nominal	D Diámetro de cuerpo máximo (básica)	F Distancia entre planos		G Distancia entre esquinas		H Altura			R radio de enlace máximo
		Máxima	Mínima	Máxima	Mínima	Nominal	Máxima	Mínima	
Dimensiones en milímetros									
6.3	7.1	9.5	9.2	15.5	12.7	4.4	4.8	4.0	0.8
7.9	8.7	12.7	12.3	18.0	16.9	5.2	5.6	4.7	0.8
9.5	10.4	14.3	13.8	20.2	19.0	6.3	6.8	5.9	0.8
11.1	11.8	15.9	15.3	22.5	21.0	7.5	8.0	7.1	0.8
12.7	13.5	19.1	18.4	27.0	25.3	8.3	8.8	7.8	0.8
15.9	17.1	23.8	23.0	33.7	31.6	10.7	11.3	10.2	1.6
19.0	20.3	28.6	27.6	40.4	38.0	12.7	13.3	12.1	1.6
22.2	23.8	33.3	32.2	47.1	44.2	15.1	15.8	14.4	1.6
25.4	27.0	38.1	36.8	53.9	50.6	16.7	17.4	16.0	1.6
28.6	30.2	42.9	41.4	60.6	56.9	19.1	19.8	18.3	3.2
31.8	33.3	47.6	46.0	67.4	63.2	21.4	22.3	20.6	3.2
Equivalencia en pulgadas									
1/4	.280	.3750	.363	.530	.498	11/64	.188	.156	.031
5/16	.342	.5000	.484	.707	.665	13/64	,220	.186	.031
3/8	.405	.5625	.544	.795	.747	1/4	.268	.232	.031
7/16	.468	.6250	.603	.884	.828	19/64	.316	.278	.031
1/2	.530	.7500	.725	1.061	.995	21/64	.348	.308	.031
5/8	.675	.9375	.906	1.326	1.244	27/64	.444	.400	.062
3/4	.800	1.1250	1.088	1.591	1.494	1/2	.524	.476	.062
7/8	.938	1.3125	1.269	1.856	1.742	19/32	.620	.568	.062
1	1.063	1.5000	1.450	2.121	1.991	21/32	.684	.628	.062
1 1/8	1.188	1.6875	1.631	2.386	2.239	3/4	.780	.720	.125
1 1/4	1.313	1.8750	1.813	2.652	2.489	27/32	.876	.812	.125

Tornillo estandard
Cabeza cuadrada



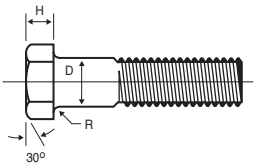
Diámetro del tornillo	F Distancia entre planos		G Distancia entre esquinas		H Espesor		
	Máxima	Mínima	Máxima	Mínima	Nominal	Máximo	Mínimo
Dimensiones en milímetros							
6.3	11.1	10.8	15.7	14.8	5.6	6.0	5.2
7.9	14.3	13.9	20.2	19.1	6.7	7.2	6.3
9.5	15.9	15.4	22.4	21.1	8.3	8.8	7.9
11.1	19.1	18.5	26.9	25.4	9.5	10.0	9.0
12.7	20.6	20.0	29.1	27.5	11.1	11.6	10.6
15.9	25.4	24.6	35.9	33.8	13.9	14.5	13.3
19.1	31.8	30.8	44.9	42.3	19.1	19.7	18.0
22.2	36.5	35.4	51.6	48.6	22.2	22.9	21.2
25.4	41.3	40.0	58.4	54.9	25.4	26.1	24.3
28.6	46.1	44.6	65.1	61.2	28.6	29.3	27.4
31.7	50.8	49.2	71.8	66.3	31.7	32.6	30.1
Equivalencia en pulgadas							
1/4	.4375	.425	.619	.584	7/32	.235	.203
5/16	.5625	.547	.795	.751	17/64	.283	.249
3/8	.6250	.606	.884	.832	21/64	.346	.310
7/16	.7500	.728	1.061	1.000	3/8	.394	.356
1/2	.8125	.788	1.149	1.082	7/16	.458	.418
5/8	1.0000	.969	1.414	1.330	35/64	.569	.525
3/4	1.2500	1.212	1.768	1.665	3/4	.774	.710
7/8	1.4375	1.394	2.033	1.914	7/8	.901	.833
1	1.6250	1.575	2.298	2.162	1	1.028	.956
1 1/8	1.8125	1.756	2.563	2.411	1 1/8	1.155	1.079
1 1/4	2.0000	1.938	2.828	2.611	1 1/4	1.282	1.187

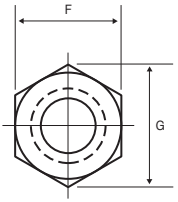
Tornillo estandar
Cabeza cuadrada



Diámetro del tornillo	F Distancia entre planos		G Distancia entre esquinas		H Espesor		
	Máxima	Mínima	Máxima	Mínima	Nominal	Máximo	Mínimo
Dimensiones en milímetros							
15.9	25.4	24.6	29.3	28.0	13.9	14.5	13.3
19.1	28.6	27.6	33.0	31.5	16.7	17.3	16.1
22.2	33.3	32.2	38.5	36.8	19.4	20.1	18.8
25.4	38.1	36.8	44.0	42.0	22.2	23.0	21.5
28.6	46.1	44.6	53.2	50.9	28.6	29.3	27.4
31.7	50.8	49.2	58.6	56.1	31.7	32.6	30.1
Equivalencia en pulgadas							
5/8	1.000	0.969	1.155	1.104	35/64	0.569	0.525
3/4	1.125	1.088	1.299	1.240	21/32	0.680	0.632
7/8	1.3125	1.269	2.516	1.447	49/64	0.792	0.740
1	1.500	1.450	1.732	1.653	7/8	0.903	0.847
1 1/8	1.8125	1.756	2.093	2.002	1 1/8	1.155	1.079
1 1/4	2.000	1.938	2.309	2.209	1 1/4	1.282	1.189

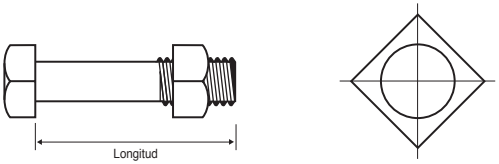
Tornillo estandard
Cabeza cuadrada





Diámetro nominal	D Diámetro de cuerpo máximo (básica)	F Distancia entre planos		G Distancia entre esquinas		H Altura			R radio de enlace máximo
		Máxima	Mínima	Máxima	Mínima	Nominal	Máxima	Mínima	
Dimensiones en milímetros									
6.3	7.1	11.1	10.8	12.8	12.3	4.4	4.8	3.8	0.8
7.9	8.7	12.7	12.3	14.7	14.0	5.6	6.0	5.0	0.8
9.5	10.3	14.3	13.8	16.5	15.8	6.3	6.8	5.7	0.8
11.1	11.9	15.9	15.3	18.3	17.5	7.5	8.0	6.9	0.8
12.7	13.5	19.1	18.4	22.0	21.0	8.7	9.3	7.7	0.8
15.9	17.2	23.8	23.0	27.5	26.2	10.7	11.3	9.6	1.6
19.1	20.3	28.6	27.6	33.0	31.5	12.7	13.3	11.6	1.6
22.2	23.8	33.3	32.2	38.5	36.8	14.7	15.3	13.5	1.6
25.4	27.0	38.1	36.8	44.0	42.0	17.1	17.8	15.0	1.6
28.6	30.2	42.9	41.4	49.5	47.2	19.1	19.8	16.7	3.2
31.8	33.4	47.6	46.0	55.0	52.5	21.4	22.3	19.0	3.2
Equivalencia en pulgadas									
1/4	.280	.4375	.425	.505	.484	11/64	.188	.150	.031
5/16	.342	.5000	.484	.577	.552	7/32	.235	.195	.031
3/8	.405	.5625	.544	.650	.620	1/4	.268	.226	.031
7/16	.468	.6250	.603	.722	.687	19/64	.316	.272	.031
1/2	.530	.7500	.725	.866	.826	11/32	.364	.302	.031
5/8	.675	.9375	.906	1.083	1.033	27/64	.444	.378	.062
3/4	.800	1.1250	1.088	1.299	1.240	1/2	.524	.455	.062
7/8	.938	1.3125	1.269	1.516	1.447	37/64	.604	.531	.062
1	1.063	1.5000	1.450	1.732	1.653	43/64	.700	.591	.062
1 1/8	1.188	1.6875	1.631	1.949	1.859	3/4	.780	.658	.125
1 1/4	1.313	1.8750	1.812	2.165	2.066	27/32	.876	.749	.125

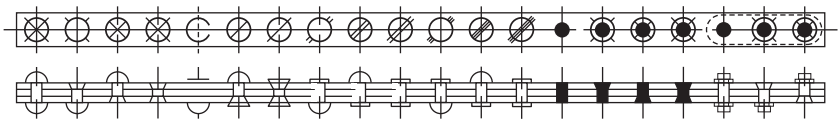
Tornillo de cabeza y tuerca cuadrada
Peso aprox. en kg por dentro de piezas con tuerca

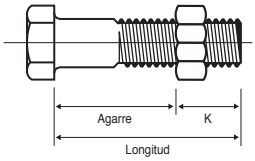


Longitud		Diámetro										
Pulgadas	mm	6.3 mm 1/4"	7.9 mm 5/16"	9.5 mm 3/8"	11.1 mm 7/16"	12.7 mm 1/2"	15.9 mm 5/8"	19.1 mm 3/4"	22.2 mm 7/8"	25.4 mm 1"	28.6 mm 1 1/8"	31.7 mm 1 1/4"
19.1	3/4	1.1	2.0	3.1								
25.4	1	1.2	2.2	3.4	4.9	7.1	12.8					
31.7	1 1/4	1.4	2.4	3.7	5.3	7.6	13.6	21.0				
38.1	1 1/2	1.5	2.6	4.0	5.8	8.2	14.5	22.1	33.8	47.6		
44.5	1 3/4	1.7	2.8	4.3	6.2	8.8	15.4	23.3	35.4	49.9		
50.8	2	1.8	3.1	4.7	6.6	9.3	16.3	24.6	37.1	53.2		
63.5	2 1/2	2.1	3.5	5.3	7.5	10.5	18.0	27.3	40.8	56.8	76.7	104
76.2	3	2.4	4.0	6.0	8.4	11.7	19.9	29.8	44.4	61.7	83.0	111
88.9	3 1/2	2.7	4.5	6.7	9.4	13.0	21.8	32.6	48.1	66.2	88.9	119
101.6	4	3.0	5.0	7.4	10.3	14.2	23.8	35.3	51.7	70.3	94.8	126
114.3	4 1/2	3.3	5.4	8.1	11.2	15.4	25.7	38.1	55.3	75.3	101	134
127.0	5	3.7	5.9	8.7	12.2	16.6	27.6	40.8	59.0	80.3	106	141
139.7	5 1/2	4.0	6.3	9.4	13.1	17.9	29.5	43.6	62.6	85.2	112	148
152.4	6	4.3	6.5	10.1	14.1	19.0	31.4	46.3	66.7	90.3	119	156
165.1	6 1/2	4.6	7.3	10.8	15.0	20.2	33.3	49.0	70.3	94.8	125	163
177.8	7	4.9	7.8	11.5	16.0	21.4	35.2	51.7	73.9	99.8	131	171
190.5	7 1/2	5.2	8.3	12.2	16.9	22.6	37.1	54.4	78.0	105	137	178
203.2	8	5.5	8.7	12.9	17.8	23.9	38.9	57.2	81.6	110	144	186
215.9	8 1/2	5.8	9.2	13.6	18.7	25.1	40.8	59.9	85.3	115	150	193
228.6	9	6.1	9.7	14.2	19.6	26.3	42.7	62.6	89.4	119	156	201
241.3	9 1/2	6.4	10.2	14.9	20.5	27.6	44.6	65.3	93.0	124	161	209
254	10	6.7	10.7	15.6	21.5	28.8	46.7	68.0	96.2	129	169	216
279	11	7.3	11.7	17.0	23.4	31.2	50.3	73.5	103	139	181	231
305	12	7.9	12.6	18.4	25.2	33.7	54.0	78.9	111	148	194	247
330	13	8.6	13.6	19.8	27.1	36.1	58.0	84.4	118	158	206	262
356	14	9.2	14.5	21.1	29.0	38.6	61.7	90.3	126	168	218	278
381	15	9.8	15.5	22.5	30.8	41.0	65.8	95.7	133	177	231	293
406	16	10.4	16.4	23.9	32.7	43.5	69.4	101	141	187	242	308
432	17	11.0	17.4	25.3	34.6	45.8	73.5	107	148	197	254	323
457	18	11.6	18.4	26.7	36.5	48.5	77.1	112	156	207	267	338
483	19	12.2	19.3	28.1	38.3	50.8	80.7	117	163	217	279	354
508	20	12.8	20.3	29.4	40.2	53.5	84.8	123	171	226	289	369
533	21					55.7	88.6	128	178	236	302	384
559	22					58.0	92.5	134	186	246	314	400

Signos convencionales para el remachado y atornillado

Remaches de taller													Remaches de campo				Tornillos de taller		
	Avellanado y embutido			Avellanado no más de 1/8" de altura			Avellanado a 1/4" en remache de 1/2" y 5/8"			Avellanado a 3/8" en remache de 3/4" y mayores				Avellanado				Avellanado	
Cabeza en ambos lados	Lado cercano	Lado opuesto	Ambos lados	Lado cercano	Lado opuesto	Ambos lados	Lado cercano	Lado opuesto	Ambos lados	Lado cercano	Lado opuesto	Ambos lados	Cabeza en ambos lados	Lado cercano	Lado opuesto	Ambos lados	Cuadrado hexagonal	Lado cercano	Lado opuesto





Tornillos máquina largos para diversos agarres

Agarre	Diámetro					Agarre	Diámetro				
Pulgadas	1/2"	5/8"	3/4"	7/8"	1"	Pulgadas	1/2"	5/8"	3/4"	7/8"	1"
1/2	1 1/4	1 1/4	1 1/2	1 1/2	1 3/4	4	5	5	5	5	5 1/2
5/8	1 1/4	1 1/2	1 1/2	1 3/4	1 3/4	4 1/8	5	5	5	5 1/2	5 1/2
3/4	1 1/2	1 1/2	1 3/4	1 3/4	2	4 1/4	5	5	5 1/2	5 1/2	5 1/2
7/8	1 1/2	1 3/4	1 3/4	2	2	4 3/8	5	5 1/2	5 1/2	5 1/2	5 1/2
						4 1/2	5 1/2	5 1/2	5 1/2	5 1/2	6
1	1 3/4	2	2	2	2 1/4	4 5/8	5 1/2	5 1/2	5 1/2	6	6
1 1/8	1 3/4	2	2	2 1/4	2 1/4	4 3/4	5 1/2	5 1/2	6	6	6
1 1/4	2	2	2 1/4	2 1/4	2 1/2	4 7/8	5 1/2	6	6	6	6
1 3/8	2	2 1/4	2 1/4	2 1/2	2 1/2						
1 1/2	2 1/4	2 1/4	2 1/2	2 1/2	2 3/4	5	6	6	6	6	6 1/2
1 5/8	2 1/4	2 1/2	2 1/2	2 3/4	2 3/4	5 1/8	6	6	6	6 1/2	6 1/2
1 3/4	2 1/2	2 1/2	2 3/4	2 3/4	3	5 1/4	6	6	6 1/2	6 1/2	6 1/2
1 7/8	2 1/2	2 3/4	2 3/4	3	3	5 3/8	6	6 1/2	6 1/2	6 1/2	6 1/2
						5 1/2	6 1/2	6 1/2	6 1/2	6 1/2	7
2	2 3/4	2 3/4	3	3	3 1/4	5 5/8	6 1/2	6 1/2	6 1/2	7	7
2 1/8	2 3/4	3	3	3 1/4	3 1/4	5 3/4	6 1/2	6 1/2	7	7	7
2 1/4	3	3	3 1/4	3 1/4	3 1/2	5 7/8	6 1/2	7	7	7	7
2 3/8	3	3 1/4	3 1/4	3 1/2	3 1/2						
2 1/2	3 1/4	3 1/4	3 1/2	3 1/2	3 3/4	6	7	7	7	7	7 1/2
2 5/8	3 1/4	3 1/2	3 1/2	3 3/4	3 3/4	6 1/8	7	7	7	7 1/2	7 1/2
2 3/4	3 1/2	3 1/2	3 3/4	3 3/4	4	6 1/4	7	7	7 1/2	7 1/2	7 1/2
2 7/8	3 1/2	3 3/4	3 3/4	4	4	6 3/8	7	7 1/2	7 1/2	7 1/2	7 1/2
						6 1/2	7 1/2	7 1/2	7 1/2	7 1/2	8
3	4	4	4	4	4 1/2	6 5/8	7 1/2	7 1/2	7 1/2	8	8
3 1/8	4	4	4	4	4 1/2	6 3/4	7 1/2	7 1/2	8	8	8
3 1/4	4	4	4 1/2	4 1/2	4 1/2	6 7/8	7 1/2	8	8	8	8
3 3/8	4	4 1/2	4 1/2	4 1/2	4 1/2						
3 1/2	4 1/2	4 1/2	4 1/2	4 1/2	5	7	8	8	8	8	8 1/2
3 5/8	4 1/2	4 1/2	4 1/2	5	5	7 1/4	8	8	8 1/2	8 1/2	8 1/2
3 3/4	4 1/2	4 1/2	5	5	5	7 1/2	8 1/2	8 1/2	8 1/2	8 1/2	9
3 7/8	4 1/2	5	5	5	5	7 3/4	8 1/2	8 1/2	9	9	9

En agujeros para tornillos basada en la separación de los tornillos
ton/cm por espesor

Tipo de agujero	Separación de tornillos $ (cm)	F_u (kg/cm²)	Diámetro nominal del tornillo d_b, cm (in)							
			16 (5/8")		19 (3/4")		22.1 (7/8")		25.4 (1")	
			r_n/Ω_v	$\phi_v r_n$	r_n/Ω_v	$\phi_v r_n$	r_n/Ω_v	$\phi_v r_n$	$\phi_v r_n$	$\phi_v r_n$
			ASD	LRFD	ASD	LRFD	ASD	LRFD	ASD	LRFD
STD	2 2/3	4 080	4.08	6.14	3.71	5.55	3.31	4.93	2.92	4.39
SSLT	d_b	4 570	4.58	6.87	4.15	6.21	3.71	5.57	3.28	4.90
	7.6	4 080	8.75	13.14	8.38	12.55	7.98	11.98	7.59	11.38
		4 570	9.81	14.73	9.38	14.07	8.95	13.43	8.50	12.76
SSLP	2 2/3	4 080	3.11	4.67	2.72	4.08	2.34	3.51	1.95	2.92
	d_b	4 570	3.49	5.24	3.06	4.58	2.61	3.92	2.18	3.28
	7.6	4 080	7.79	11.69	7.39	11.10	7.02	10.51	6.62	9.93
		4 570	8.74	13.08	8.29	12.44	7.86	11.78	7.41	11.13
DVS	2 2/3	4 080	3.31	4.96	2.92	4.39	2.52	3.79	2.15	3.20
	d_b	4 570	3.71	5.57	3.28	4.90	2.83	4.26	2.40	3.60
	7.6	4 080	7.98	11.98	7.59	11.38	7.20	10.81	6.82	10.22
		4 570	8.95	13.43	8.50	12.76	8.07	12.10	7.64	11.46
LSLP	2 2/3	4 080	---	---	---	---	---	---	---	---
	d_b	4 570	---	---	---	---	---	---	---	---
	7.6	4 080	3.71	5.55	2.72	4.08	1.75	2.63	0.78	1.17
		4 570	4.15	6.21	3.06	4.58	1.97	2.95	0.87	1.31
LSLT	2 2/3	4 080	3.40	5.10	3.08	4.62	2.76	4.13	2.43	3.65
	d_b	4 570	3.81	5.73	3.45	5.17	3.10	4.64	2.72	4.10
	7.6	4 080	7.30	10.95	6.98	10.47	6.66	9.97	6.32	9.49
		4 570	8.18	12.28	7.82	11.72	7.45	11.19	7.09	10.63
STD, SSLT, SSLP, DVS, LSLP	$S \geq S_{total}$	4 080	14.02	20.94	15.57	23.45	17.13	25.78	18.62	28.10
		4 570	15.72	23.63	17.45	26.13	19.15	28.82	20.94	31.50
LSLT	$S \geq S_{total}$	4 080	11.69	17.52	12.98	19.51	14.28	21.48	15.57	23.45
		4 570	13.08	19.69	14.55	21.84	16.0	23.99	17.45	26.13

Notas:
STD = Agujero estandard
SSLT = Agujeros alargados cortos transversales a la dirección de la carga
SSLP = Agujeros alargados cortos paralelos a la dirección de la carga
OVS = Agujeros sobredimensionados
LSLP = Agujeros alargados largos paralelos a la dirección de la carga
LSLT = Agujeros alargados largos transversales a la dirección de la carga
ϕ_v = 0.75
Ω_v = 2.0

En agujeros para tornillos basada en la separación de los tornillos
ton/cm por espesor

Tipo de agujero	Separación de tornillos $ (cm)	F_u (kg/cm²)	Diámetro nominal del tornillo d_b, cm (in)							
			16 (5/8")		19 (3/4")		22.1 (7/8")		25.4 (1")	
			r_n/Ω_v	$\phi_v r_n$	r_n/Ω_v	$\phi_v r_n$	r_n/Ω_v	$\phi_v r_n$	$\phi_v r_n$	$\phi_v r_n$
			ASD	LRFD	ASD	LRFD	ASD	LRFD	ASD	LRFD
STD	2 2/3	4 080	11.29	16.93	12.58	18.8	13.89	20.76	15.18	22.73
SSLT	d_b	4 570	12.66	18.97	14.11	21.12	15.56	23.77	17.02	25.6
	7.6	4 080	11.29	16.93	---	---	---	---	---	---
		4 570	12.6	18.97	---	---	---	---	---	---
SSLP	2 2/3	4 080	9.34	14.02	10.65	15.97	11.94	17.9	13.25	19.87
	d_b	4 570	10.47	15.72	1.19	17.88	13.39	20.05	14.84	22.2
	7.6	4 080	9.34	14.02	---	---	---	---	---	---
		4 570	10.47	15.72	---	---	---	---	---	---
DVS	2 2/3	4 080	9.74	14.61	11.03	16.54	12.33	18.44	13.62	20.41
	d_b	4 570	10.9	16.36	12.37	18.62	13.82	20.76	15.27	22.91
	7.6	4 080	9.74	14.31	---	---	---	---	---	---
		4 570	10.9	16.36	---	---	---	---	---	---
LSLP	2 2/3	4 080	1.17	1.75	1.30	1.95	1.43	2.15	1.56	2.34
	d_b	4 570	1.31	1.97	1.46	2.18	1.60	2.40	1.75	2.61
	7.6	4 080	1.17	1.75	---	---	---	---	---	---
		4 570	1.31	1.97	---	---	---	---	---	---
LSLT	2 2/3	4 080	9.42	14.11	10.49	15.73	11.56	17.36	12.66	18.97
	d_b	4 570	10.54	15.82	11.76	17.63	12.96	19.51	14.18	21.3
	7.6	4 080	9.42	14.11	---	---	---	---	---	---
		4 570	10.54	15.82	---	---	---	---	---	---
STD, SSLT, SSLP, DVS, LSLP	$S \geq S_{total}$	4 080	14.02	20.94	15.57	23.45	17.13	25.78	18.62	28.1
		4 570	15.72	23.63	17.45	26.13	19.15	28.82	20.94	31.5
LSLT	$S \geq S_{total}$	4 080	11.69	17.52	12.98	19.51	14.28	21.48	15.57	23.45
		4 570	13.08	19.69	14.55	21.84	16.0	23.99	17.45	26.13

Notas:
STD = Agujero estandard
SSLT = Agujeros alargados cortos transversales a la dirección de la carga
SSLP = Agujeros alargados cortos paralelos a la dirección de la carga
OVS = Agujeros sobredimensionados
LSLP = Agujeros alargados largos paralelos a la dirección de la carga
LSLT = Agujeros alargados largos transversales a la dirección de la carga
ϕ_v = 0.75
Ω_v = 2.0

En agujeros para tornillos basada en la separación de los tornillos
ton/cm por espesor

Tipo de agujero	Separación de tornillos $ (cm)	F_u (kg/cm²)	Diámetro nominal del tornillo d_b, cm (in)							
			16 (5/8")		19 (3/4")		22.1 (7/8")		25.4 (1")	
			r_n/Ω_v	$\phi_v r_n$	r_n/Ω_v	$\phi_v r_n$	r_n/Ω_v	$\phi_v r_n$	$\phi_v r_n$	$\phi_v r_n$
			ASD	LRFD	ASD	LRFD	ASD	LRFD	ASD	LRFD
STD	2 2/3	4 080	5.64	8.47	5.26	7.88	4.87	7.30	4.48	6.71
SSLT	d_b	4 570	6.32	9.49	8.89	8.84	5.46	8.18	5.01	7.52
	7.6	4 080	779	11.69	9.34	14.02	9.54	14.3	9.15	13.73
		4 570	8.74	13.08	10.47	15.72	10.69	16.04	1.026	15.38
SSLP	2 2/3	4 080	5.07	7.59	4.67	7.02	4.28	6.43	3.71	5.55
	d_b	4 570	5.67	8.50	5.24	7.86	4.80	7.20	4.15	6.21
	7.6	4 080	7.79	11.69	9.34	14.02	8.95	13.43	8.38	12.55
		4 570	8.59	13.08	10.47	15.72	10.04	15.05	9.38	14.07
DVS	2 2/3	4 080	5.26	7.88	4.87	7.30	4.48	6.71	3.9	5.84
	d_b	4 570	5.89	8.84	5.46	8.18	5.01	7.52	4.37	6.55
	7.6	4 080	7.79	11.69	9.34	14.02	9.15	13.73	8.57	12.85
		4 570	8.74	13.08	10.47	15.72	10.26	15.38	9.59	14.39
LSLP	2 2/3	4 080	2.92	4.39	1.95	2.92	0.97	1.46	---	---
	d_b	4 570	3.28	4.90	2.18	3.28	1.09	1.64	---	---
	7.6	4 080	7.59	11.38	6.62	9.93	5.64	8.47	4.67	7.02
		4 570	8.50	12.76	2.18	11.13	6.32	9.49	5.24	7.86
LSLT	2 2/3	4 080	4.71	7.05	4.39	6.57	4.06	6.09	3.72	5.60
	d_b	4 570	5.28	7.91	4.90	7.36	4.55	6.82	4.19	6.27
	7.6	4 080	6.50	9.74	7.79	11.69	7.95	11.92	7.63	11.44
		4 570	7.27	10.90	8.74	13.08	8.91	13.35	8.54	12.82
STD, SSLT, SSLP, DVS, LSLP	$S \geq S_{total}$	4 080	7.79	11.69	9.34	14.02	10.9	16.36	12.46	18.62
		4 570	8.74	13.08	10.47	15.72	12.23	18.26	13.96	20.94
LSLT	$S \geq S_{total}$	4 080	6.55	9.74	7.79	11.69	9.09	13.62	10.38	15.57
		4 570	7.27	10.9	8.74	13.08	10.19	15.27	11.64	17.45

Notas:
STD = Agujero estandard
SSLT = Agujeros alargados cortos transversales a la dirección de la carga
SSLP = Agujeros alargados cortos paralelos a la dirección de la carga
OVS = Agujeros sobredimensionados
LSLP = Agujeros alargados largos paralelos a la dirección de la carga
LSLT = Agujeros alargados largos transversales a la dirección de la carga
ϕ_v = 0.75
Ω_v = 2.0

En agujeros para tornillos basada en la separación de los tornillos
ton/cm por espesor

Tipo de agujero	Separación de tornillos $ (cm)	F_u (kg/cm²)	Diámetro nominal del tornillo d_b, cm (in)							
			16 (5/8")		19 (3/4")		22.1 (7/8")		25.4 (1")	
			r_n/Ω_v	$\phi_v r_n$	r_n/Ω_v	$\phi_v r_n$	r_n/Ω_v	$\phi_v r_n$	$\phi_v r_n$	$\phi_v r_n$
			ASD	LRFD	ASD	LRFD	ASD	LRFD	ASD	LRFD
STD	2 2/3	4 080	6.10	9.15	7.39	11.1	8.70	13.05	9.99	14.98
SSLT	d_b	4 570	6.84	10.26	8.29	12.44	9.74	14.62	11.21	16.79
	7.6	4 080	7.79	11.69	9.34	14.02	1.90	16.36	12.06	18.08
		4 570	8.74	13.08	10.47	15.72	12.23	18.26	13.53	20.23
SSLP	2 2/3	4 080	4.94	7.39	6.23	9.34	7.54	11.29	8.43	12.66
	d_b	4 570	5.53	8.29	6.98	10.47	8.43	12.66	9.45	14.18
	7.6	4 080	7.79	11.69	9.34	14.02	10.9	16.36	10.51	15.77
		4 570	8.74	13.08	10.47	15.72	12.23	18.26	11.78	17.67
DVS	2 2/3	4 080	5.32	7.98	6.62	9.93	7.91	11.87	8.82	13.25
	d_b	4 570	5.96	8.95	7.41	11.13	8.88	13.3	9.90	14.84
	7.6	4 080	7.79	11.69	9.34	14.02	10.9	16.36	10.9	16.36
		4 570	8.74	13.08	10.47	15.72	12.23	18.26	12.23	18.26
LSLP	2 2/3	4 080	0.65	0.97	0.78	1.17	0.91	1.36	1.04	1.56
	d_b	4 570	0.73	1.09	0.87	1.31	1.02	1.53	1.16	1.75
	7.6	4 080	7.79	11.69	7.02	10.51	5.07	7.59	3.11	4.67
		4 570	8.74	13.08	7.86	11.78	5.67	8.50	3.49	5.24
LSLT	2 2/3	4 080	5.08	7.63	6.16	9.25	7.25	10.87	8.32	12.49
	d_b	4 570	5.69	8.54	6.91	10.36	8.13	12.17	9.33	14
	7.6	4 080	6.50	9.74	7.79	11.69	9.09	13.62	10.06	15.09
		4 570	7.27	10.9	8.74	13.08	10.19	15.27	11.28	16.92
STD, SSLT, SSLP, DVS, LSLP	$S \geq S_{total}$	4 080	7.79	11.69	9.34	14.02	10.9	16.36	12.46	18.62
		4 570	8.74	13.08	10.47	15.72	12.23	18.26	13.96	20.94
LSLT	$S \geq S_{total}$	4 080	6.50	9.74	7.79	11.69	9.09	13.62	10.38	15.57
		4 570	7.27	10.9	8.74	13.08	10.19	15.27	11.64	17.45

Notas:
STD = Agujero estandard
SSLT = Agujeros alargados cortos transversales a la dirección de la carga
SSLP = Agujeros alargados cortos paralelos a la dirección de la carga
OVS = Agujeros sobredimensionados
LSLP = Agujeros alargados largos paralelos a la dirección de la carga
LSLT = Agujeros alargados largos transversales a la dirección de la carga
ϕ_v = 0.75
Ω_v = 2.0

CAPITULO

VIII

VIII.3 SOLDADURAS

- VIII.3.1 SOLDADURAS DE RANURA DE PENETRACIÓN COMPLETA
- VIII.3.2 SOLDADURAS DE RANURA DE PENETRACIÓN PARCIAL
- VIII.3.3 SOLDADURAS DE RANURA CON BISEL ACAMPANADO

Introducción

Definición de soldadura
Resultado de la operación de soldar. Proceso mediante el cual se unen piezas de acero con la aplicación de calor, con o sin fusión, con o sin adición de material de relleno y con o sin aplicación de presión. Las soldaduras se clasifican de acuerdo con la posición, forma y preparación de las juntas.

Procesos de soldadura
El tipo de soldadura estructural aplicable en la construcción metálica es el de arco eléctrico con electrodo metálico, aplicado manual, semiautomática o automáticamente. Los procesos aprobados en las normas de diseño que se mencionan en este manual son la soldadura manual con electrodo recubierto, la soldadura automática de arco sumergido, la protegida con gases y la soldadura con electrodo con corazón de fundente. Pueden utilizarse otros procesos si se califican adecuadamente para los casos en que se vayan a utilizar.

Tipos de juntas
Existen cinco tipos básicos de juntas soldadas que se emplean en las estructuras de acero: a tope, en esquina, en Té, traslapada y de borde o de orilla. Esta nomenclatura se refiere a la posición relativa que guardan entre sí las piezas que sevan a soldar. Ni la forma geométrica de los cordones ni la preparación de los bordes de la junta influyen en la clasificación de filete o de ranura.

Junta a tope
La junta a tope se usa principalmente para unir los extremos de placas planas que tienen igual o aproximadamente el mismo espesor. La ventaja de este tipo de junta es la eliminación de la excentricidad, que se presenta en las juntas traslapadas sencillas; al usarse con soldaduras de penetración completa, este tipo de junta minimiza el tamaño de la conexión. Su desventaja estriba en la necesidad de preparar los bordes y alisarlos cuidadosamente antes de aplicar la soldadura; por esto la mayor parte de las juntas a tope se hace en taller, donde es más fácil regular el proceso de soldadura.

Junta en esquina
La junta en esquina se utiliza en especial para formar secciones rectangulares de tipo cajón destinadas a columnas y también vigas que estarán sometidas a elevados esfuerzos torsionantes.

Junta traslapada
La junta traslapada se emplea debido a las siguientes ventajas: las piezas destinadas a conectarse no requieren de una fabricación tan precisa como en los demás tipos de juntas y pueden desplazarse ligeramente para absorber pequeños errores de fabricación. Los bordes de las piezas no necesitan de una preparación especial y se cortan generalmente con soplete. La unión entre las partes se puede efectuar con soldadura de filete pudiendo hacerse ésta tanto en campo como en taller. Finalmente, la junta traslapada permite conectar fácilmente placas de distinto espesor como en el caso particular de los nudos en las armaduras.

Junta en Té
La junta en Té se emplea en la fabricación de trabes armadas, en la conexión de atiesadores, ménsulas, etc. La soldadura puede ser de filete o de ranura.

Junta de borde
Las juntas de borde no son, en muchos casos, condideradas como juntas estructurales ya que se utilizan para obtener un acabado adecuado, impedir el paso de líquidos o gases entre las dos placas o mantenerlas alineadas.

Uso de juntas soldadas
El uso de una u otra junta depende de numerosas consideraciones prácticas y de diseño, entre las que se encuentran la posición de las soldaduras, el tamaño y forma de los miembros estructurales que concurren en la junta, las solicitaciones a que estarán sometidas, los costos relativos, el proceso utilizado para depositar el metal de aportación, la habilidad de los soldadores disponibles, etc; en muchos casos, la única manera de saber cómo se comportará una junta con respecto a estos parámetros es realizar pruebas no destructivas y destructivas en juntas modelo en condiciones análogas a las que se presentarán en las estructuras reales.

Hay, sin embargo, un número considerable de tipos de juntas que han demostrado eficiencia a través de repetidas pruebas de laboratorio y de su empleo con éxito durante los daños en estructuras reales, por lo que se sabe que, utilizándolas, se pueden obtener soldaduras de buena calidad siempre que sean efectuadas por operarios capacitados y que se empleen en cada caso los electrodos y procesos adecuados. A estas juntas se le da el nombre de “precalificadas” y pueden utilizarse sin necesidad de efectuar pruebas previas.

Tipos de soldaduras
Los cuatro tipos fundamentales de soldaduras estructurales son de filete, penetración, tapón y ranura. Las de penetración se subdividen en soldaduras de penetración completa y parcial. Cada tipo de soldadura tiene su propio símbolo.

1) **Soldaduras de filete.** Se obtienen depositando un cordón de metal de aportación en el ángulo diedro formado por dos piezas. Su sección transversal es aproximadamente triangular.

2) **Soldaduras de penetración.** Se obtienen depositando metal de aportación entre dos placas que pueden, o no, estar alineadas en un mismo plano. Pueden ser de penetración completa o parcial, según que la fusión de la soldadura y el metal base abarque todo o parte del espesor de las placas, o de la más delgada de ellas.

3) **Soldaduras de tapón.** Las soldaduras de tapón se hacen en placas traslapadas o superpuestas, rellenando por completo, con metal de aportación, un agujero circular, hecho en una de ellas, cuyo fondo está constituido por la otra placa.

4) **Soldaduras de ranura.** Las soldaduras de ranura se hacen en placas superpuestas o traslapadas, rellenando por completo, con metal de aportación, un agujero alargado, hecho en una de ellas, cuyo fondo está constituido por la otra placa.

Metal de aportación
Se usará el electrodo, o la combinación de electrodo y fundente, adecuados al metal base que se esté soldando, teniendo especial cuidado en aceros con altos contenidos de carbón y otros alimentos aleados, y de acuerdo con la posición en que se deposite la soldadura estructural. Se seguirán las instrucciones del fabricante respecto a los patrámetros que controlan el proceso de soldadura, como son voltaje, amperaje, polaridad y tipo de corriente. La resistencia del material depositado con el electrodo será compatible con la del metal base.

Soldadura compatible con el metal base
Para que una soldadura sea compatible con el metal base, tanto el esfuerzo de fluencia mínimo como el esfuerzo mínimo de ruptura en tensión del metal de aportación depositado, sin mezclar con el metal base, deben ser iguales o ligeramente mayores que los correspondientes del metal base. Por ejemplo, las soldaduras obtenidas con electrodos *E60XX* o *E70XX*, que producen metal de aportación con esfuerzos mínimos especificados de fluencia de 331 y 365 MPa (3 400 y 3 700 kg/cm^2), respectivamente, y de ruptura en tensión de 412 y 481 MPa (4 200 y 4 900 kg/cm^2), son compatibles con el acero A36, cuyos esfuerzos mínimos especificados de fluencia y ruptura en tensión son 250 y 400 MPa (2530 y 4 080 kg/cm^2), respectivamente.

Posiciones de la soldadura
Desde el punto de vista de la posición que ocupa el operario con respecto a la junta durante la ejecución de las soldaduras, éstas se clasifican en soldaduras en posición plana, horizontal, vertical y sobre cabeza.

Se considera que una soldadura se efectúa en posición plana cuando el metal de aportación se deposita desde el lado superior de la junta y la cara visible de la soldadura es aproximadamente horizontal. En una soldadura en posición horizontal el metal de aportación se coloca sobre una superficie también horizontal y contra otra vertical, de manera que en caso común de un filete de lados iguales, la inclinación de la cara exterior es de 45º. Si la soldadura es de ranura, su eje es una recta horizontal y la cara exterior se encuentra en un plano vertical. La posición vertical es aquella en la que el eje de la soldadura forma una recta vertical y en las soldaduras sobre cabeza el metal de aportación se coloca desde la parte inferior de la junta.

La importancia de la posición en que se efectúa la soldadura estriba en su grado de dificultad. Se han enumerado, en orden creciente de dificultad, las soldaduras más fáciles, en las que los rendimientos del electrodo y soldador son máximos, y en las que se reducen a un mínimo las posibilidades de que haya defectos; éstas son las que se realizan en posición plana. Las más difíciles son las depositadas sobre cabeza; por consiguiente, las estructuras deben diseñarse y fabricarse de manera que la mayor parte de las soldaduras, tanto de taller como de campo, se efectúen en posición plana y se reduzcan a un mínimo o aún se eliminen las soldaduras sobre cabeza.

Las soldaduras manuales de taller deben hacerse en posición plana siempre que sea posible, para lo cual, si es necesario, se mueven o giran las piezas por soldar de modo que el operario tenga acceso por la parte superior de la junta; si esto es posible o muy dificil de lograr, pueden hacerse en posición horizontal y algunos cordones cortos y de poca importancia estructural depositarse en posición vertical.

Las juntas de campo deben diseñarse de manera que la mayor cantidad posible de soldadura se coloque en posición plana u horizontal sobre todo en esta última ya que las soldaduras planas son raras en juntas de campo. Aunque las soldaduras verticales y sobre cabeza presentan más dificultades que las planas u horizontales, cuando se hacen correctamente tienen la misma resistencia que éstas por lo que su empleo no se traduce en ninguna reducción de la capacidad de carga; sin embargo pueden incrementar el costo de la estructura en forma apreciable.

Como se menciono anteriormente, las juntas en "te" pueden conectarse con soldadura de filete o de ranura; estas últimas, así como las juntas a tope, pueden ser de penetración completa o de penetración parcial y en ambos casos existen juntas precalificadas.

En una junta con penetración completa, el metal de aportación debe tener acceso a todo el espesor de las piezas que van a unirse puesto que tienen que quedar ligadas entre si en toda el área de la sección transversal; si la junta es de penetración incompleta, debe obtenerse el grado de penetración especificado.

En las placas delgadas puede lograrse una penetración completa colocándolas una frente a la otra, ya sea en contacto o dejando un espacio entre sus bordes y depositando el metal de aportación por un solo lado de la junta o por los dos. En la figura se muestran los gruesos máximos de las placas para las que puede seguirse ese procedimiento en juntas a tope soldadas manualmente con electrodo recubierto. En los dos primeros casos, las placas son lo suficientemente delgadas como para que la soldadura las funda totalmente y en los otros dos se deja una separación para que el metal de aportación penetre entre los bordes.

Para obtener una penetración completa en material más grueso es necesario preparar los bordes de las piezas que se van a unir, dándoles la forma adecuada para que el electrodo tenga acceso y se pueda depositar el metal de aportación en todo el espesor.

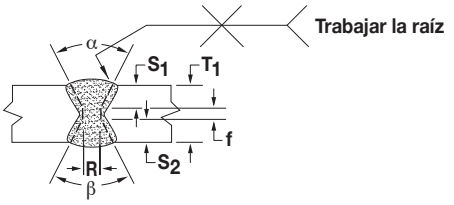
Costo de juntas soldadas
El costo de las juntas incluye el del material de aportación, la mano de obra para depositarlo y el de las preparaciones; en una placa de grueso determinado se requiere menos material de aportación si se utiliza, por ejemplo, una preparación en bisel doble en vez de una en bisel sencillo, pero en cambio ésta es más económica que aquella pues requiere un solo corte, Otras variables que intervienen en el costo son la abertura de raíz y el ángulo de inclinación de los biseles.

Tolerancias
Durante la preparación de los planos y la fabricación de la estructura deben tomarse en cuenta las tolerancias establecidas en las especificaciones para las aberturas de raíz y los ángulos de los biseles; estas tolerancias son de *1/16" (1.6 mm)* y 10° respectivamente; si no se cumple alguno de estos requisitos geométricos, la junta deje de ser precalificada (si se disminuye la abertura de raíz o el ángulo comprendido entre los biseles, se dificulta o aún se impide la colocación correcta del material de aportación, lo que puede ocasionar fallas de penetración y otros defectos; si esas cantidades crecen, aumentan la cantidad de metal de aportación que se requiere para efectuar la junta, los costos se elevan y se agravan los problemas de esfuerzos residuales, distorsiones, etc.)

La preparación de las juntas (corte, formado de biseles) puede efectuarse por medios términos o mecánicos. Dos de los procesos térmicos más usados con el oxicorte y el arcoaire.

Simbología
El símbolo básico que representa soldar es una línea de referencia con una flecha en uno de los extremos. Alrededor de esta línea que proporciona, por medio de letras, cifras y símbolos, la información sobre la localización, el tamaño, el tipo de soldadura, etc. La Norma Oficial Mexicana *NOM-H-111-1986* establece los símbolos básicos de soldaduras.

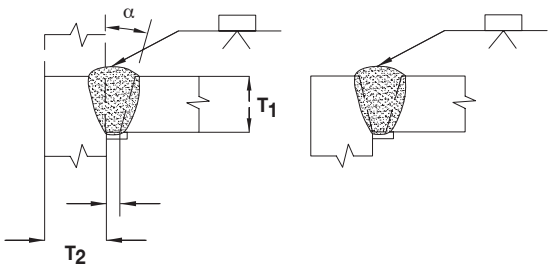
Soldadura a tope con preparación en bisel en V doble
• Junta a tope (B)



Proceso de soldadura	Designación de la junta	Grueso del metal base		Preparación de la junta			Posiciones permitidas para soldar	Protección con gas (FCAW)	Notas
					Tolerancias				
		T_1	T_2	Abertura de la raíz, Cara de la raíz, Ángulo del bisel	En planos (ver 3.13.1)	En ejecución (ver 3.13.1)			
SMAW	B-U3b	U	---	R = 0 a 3 mm f = 0 a 3 mm α = β = 60°	+1.6 mm, -0 +1.6 mm, -0 +10°, -0°	+1.6 mm, -3 mm Sin límite +10°, -5°	Todas	---	4, 5, 8, 10
GMAW FCAW	B-U3-GF						Todas	No requerida	1, 4, 8, 10
SAW	B-U3c-S	U	---	R = 0 f = 6.4 mm mín α = β = 60°	+1.6 mm, -0 +6.4 mm, -0 +10°, -5°	+1.6 mm, -0 +6.4 mm, -0 +10°, -5°	SAW	SAW	4, 8, 10
				Para encontrar S_1 ver tablas: $S_2 = T_1 - (S_1 + f)$					

Para B-U3c-S únicamente		
T_1		S_1
De	Hasta	
50 mm	64 mm	035 mm
64 mm	76 mm	45 mm
76 mm	92 mm	53 mm
92 mm	102 mm	62 mm
102 mm	121 mm	70 mm
121 mm	140 mm	83 mm
140 mm	160 mm	95 mm
Para $T_1 > 160$ ó $T_1 \leq 50$ mm $S_1 = 2/3\ (T_1 - 6.4)$		

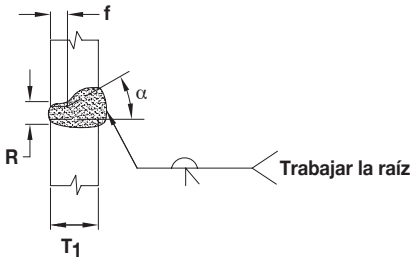
Soldadura de ranura con bisel sencillo (4)
- Junta en T (T)
- Junta en esquina (C)



Proceso de soldadura	Designación de la junta	Grueso del metal base		Preparación de la junta		Posiciones permitidas para soldar	Protección con gas (FCAW)	Notas
		T_1	T_2	Abertura de la raíz (mm)	Ángulo de la preparación			
SMAW	TC-U4a	U	U	R = 6.4	α = 45°	Todas	---	5, 7, 10, 11
				R = 10	α = 30°	F, V, OH	---	5, 7, 10, 11
GMAW FCAW	TC-U4a-GF	U	U	R = 5	α = 30°	Todas	Se requiere	1, 7, 10, 11
				R = 6.4	α = 30°	F	No se requiere	1, 7, 10, 11
				R = 6.4	α = 45°	Todas	No se requiere	1, 7, 10, 11
SAW	TC-U4a-S	U	U	R = 10	α = 30°	F	---	7, 10, 11
				R = 6.4	α = 45°			

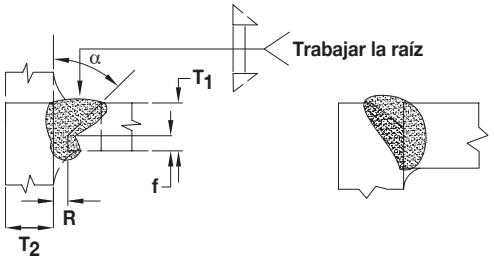
Tolerancias	
En planos (ver 3.13.1)	En ejecución (ver 3.13.1)
R = +1.6 mm, -0	+1.6 mm, -1.6 mm
α = +10°, -0°	+10°, -5°

Soldadura de ranura con bisel sencillo (4)
• Junta a tope (B)



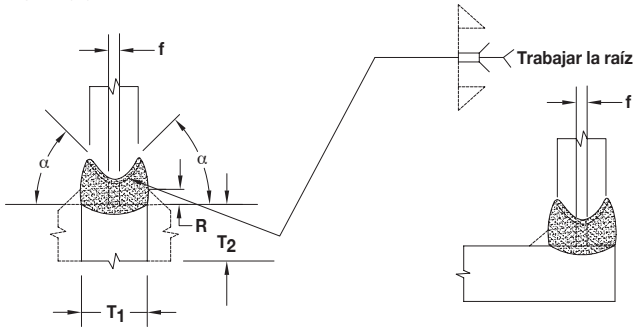
Proceso de soldadura	Designación de la junta	Grueso del metal base (U = ilimitado)		Preparación de la junta			Posiciones permitidas para soldar	Protección con gas (FCAW)	Notas
				Abertura de la raíz, Cara de la raíz, Ángulo del bisel	Tolerancias				
		T_1	T_2		En planos (ver 3.13.1)	En ejecución (ver 3.13.1)			
SMAW	B-U4b	U	---	R = 0 a 3 R = 0 a 3 α = 45°	+2, -0 +2, -0 +10°, -0°	+2, -3 Sin límite +10°, -5°	Todas	---	3, 4, 5, 10
GMAW FCAW	B-U4b-GF	U	---				Todas	No se requiere	1, 3, 4, 10
SAW	B-U4b-S	U	U	R = 0 f = 6.4 máx α = 60°	±0 +0, -3 mm +10°, -0°	+6.4, -0 ±2 +10°, -5°	F	S	3, 4, 10

Soldadura de ranura con bisel sencillo (4)
- Junta en T
- Junta en esquina (C)



Proceso de soldadura	Designación de la junta	Grueso del metal base (U = Ilimitado)		Preparación de la junta			Posiciones permitidas para soldar	Protección con gas (FCAW)	Notas
				Abertura de la raíz, Cara de la raíz, Ángulo del bisel	Tolerancias				
		T_1	T_2		En planos (ver 3.13.1)	En ejecución (ver 3.13.1)			
SMAW	TC-U4b	U	U	R = 0 a 3 R = 0 a 3 α = 45°	+2, -0 +2, -0 +10°, -0°	+2, -3 Sin límite +10°, -5°	Todas	---	4, 5, 7, 10, 11
GMAW FCAW	TC-U4b-GF	U	U				Todas	No se requiere	1, 4, 7, 10, 11
SAW	TC-U4b-S	U	U	R = 0 f = 6.4 máx α = 60°	±0 +0, -3 mm +10°, -0°	+6.4, -0 ±2 +10°, -5°	F	---	4, 7, 10, 11

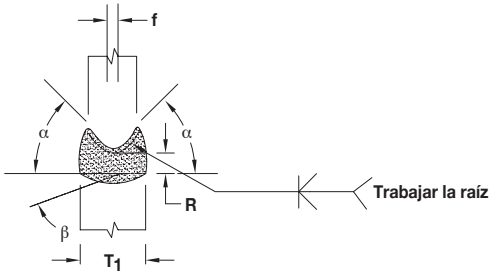
Soldadura de ranura con bisel doble (5)
- Junta a tope (B)
- Junta en T (T)
- Junta en esquina (C)



Proceso de soldadura	Designación de la junta	Grueso del metal base		Preparación de la junta			Posiciones permitidas para soldar	Protección con gas (FCAW)	Notas
		T_1	T_2	Abertura de la raíz	Cara de la raíz	Ángulo del bisel			
SMAW	B-U5b	U Separador = 3 x R	U	R = 6.4	f = 0 a 3	α = 45°	Todas	---	3, 4, 5, 8, 10
							Todas	---	4, 5, 7, 8, 10, 11
	TC-U5a	U Separador = 6.4 x R	U	R = 6.4	f = 0 a 3	α = 45°	F, OH	---	4, 5, 7, 8, 10, 11
				R = 10	f = 0 a 3	α = 30°			

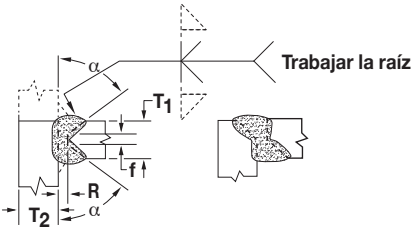
Tolerancias	
En planos (ver 3.13.1)	En ejecución (ver 3.13.1)
R = ±0	+6.4, -0
f = +2, -0	±2
α = +10°, -0°	+10°, -5°
+2, -0	+3, 0

Soldadura de ranura en bisel doble
• Junta a tope (B)



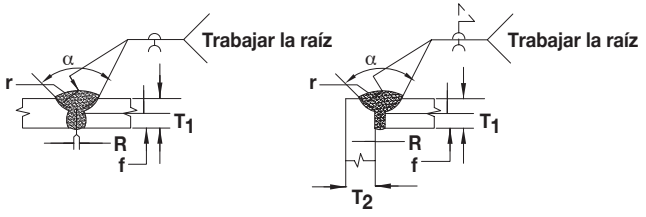
Proceso de soldadura	Designación de la junta	Grueso del metal base (U = Ilimitado)		Preparación de la junta			Posiciones permitidas para soldar	Protección con gas (FCAW)	Notas
				Abertura de la raíz, Cara de la raíz, Ángulo del bisel	Tolerancias				
		T_1	T_2		En planos (ver 3.13.1)	En ejecución (ver 3.13.1)			
SMAW	B-U5a	U	---	R = 0 a 3 f = 0 a 3 α = 45° β = 0° a 15°	+2, -0 +2, -0 $\alpha + \beta$ +10° 0°	+2, -3 Sin límite $\alpha + \beta$ +10° -5°	Todas	---	3, 4, 5, 8, 10
GMAW FCAW	B-U5-GF	U	---	R = 0 a 3 f = 0 a 3 α = 45° β = 0° a 15°	+2, -0 +2, -0 $\alpha + \beta$ = +10°, 0°	+2, -3 Sin límite $\alpha + \beta$ = +10°, -5°	Todas	No se requiere	1, 3, 4, 8, 10

Soldadura de ranura con bisel doble)
- Junta en T
- Junta en esquina (C)



Proceso de soldadura	Designación de la junta	Grueso del metal base (U = ilimitado)		Preparación de la junta			Posiciones permitidas para soldar	Protección con gas (FCAW)	Notas
				Abertura de la raíz, Cara de la raíz, Ángulo del bisel	Tolerancias				
		T_1	T_2		En planos (ver 3.13.1)	En ejecución (ver 3.13.1)			
SMAW	TC-U5b	U	U	R = 0 a 3 R = 0 a 3 α = 45°	+2, -0 +2, -0 +10°, -0°	+2, -3 Sin límite +10°, -5°	Todas	---	4, 5, 7, 8, 10, 11
GMAW FCAW	TC-U5-GF	U	U				Todas	No se requiere	1, 4, 7, 8, 10, 11
SAW	TC-U5-S	U	U	R = 0 f = 6.4 máx α = 60°	±0 +0, -5 +10°, -0°	+2, -0 ±2 +10°, -5°	F	---	4, 7, 8, 10, 11

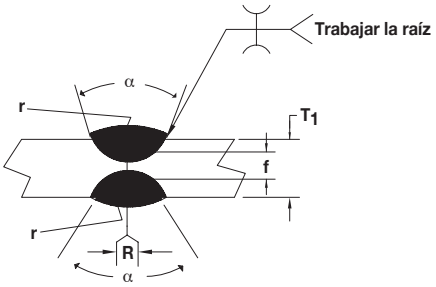
Soldadura de ranura con preparación en U (6)
- Junta a tope (B)
- Junta en esquina (C)



Proceso de soldadura	Designación de la junta	Grueso del metal base (U = ilimitado)		Preparación de la junta				Posiciones permitidas para soldar	Protección con gas (FCAW)	Notas
		T_1	T_2	Abertura de la raíz	Ángulo de la preparación	Cara de la raíz	Radio del bisel			
SMAW	B-U6	U	U	R = 0 a 3	α = 45°	f = 3	r = 6.4	Todas	---	4, 5, 10
				R = 0 a 3	α = 20°	f = 3	r = 6.4	F, OH	---	4, 5, 10
	C-U6	U	U	R = 0 a 3	α = 45°	f = 3	r = 6.4	Todas	---	4, 5, 7, 10
				R = 0 a 3	α = 20°	f = 3	r = 6.4	F, OH	---	4, 5, 7, 10
GMAW FCAW	B-U6-GF	U	U	R = 0 a 3	α = 20°	f = 3	r = 6.4	Todas	No se requiere	1, 4, 10
	C-U6-GF	U	U	R = 0 a 3	α = 20°	f = 3	r = 6.4	Todas	No se requiere	1, 4, 7, 10

Tolerancias	
En planos (ver 3.13.1)	En ejecución (ver 3.13.1)
R = +2, -0	+2, -3
α = +10°, -0°	+10°, -5°
f = ±2	Sin límite
r = +3, -0	+3, -0

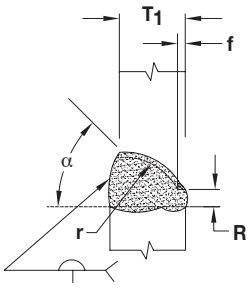
Soldadura de ranura en U doble (7)
• Junta a tope (B)



Proceso de soldadura	Designación de la junta	Grueso del metal base (U = ilimitado)		Preparación de la junta				Posiciones permitidas para soldar	Protección con gas (FCAW)	Notas
		T_1	T_2	Abertura de la raíz	Ángulo de la preparación	Cara de la raíz	Radio del bisel			
SMAW	B-U7	U	---	R = 0 a 3	α = 45°	f = 3	r = 6.4	Todas	---	4, 5, 8, 10
				R = 0 a 3	α = 20°	f = 3	r = 6.4	F, OH	---	4, 5, 8, 10
GMAW FCAW	B-U7-GF	U	---	R = 0 a 3	α = 20°	f = 3	r = 6.4	Todas	No se requiere	1, 4, 8, 10
SAW	TC-U7-S	U	---	R = 0	α = 20°	f = 6.4 máx	r = 6.4	F	---	4, 8, 10

Tolerancias	
En planos (ver 3.13.1)	En ejecución (ver 3.13.1)
Para B-U7 y B-U7-GF	
R = +2, -0	2, -3
α = +10°, -0°	+10°, -5°
f = ±2, 0	Sin límite
r = +6.4, -0	±2
Para B-U7-S	
R = ±0	+2, -0
f = +0, +6.4	±2

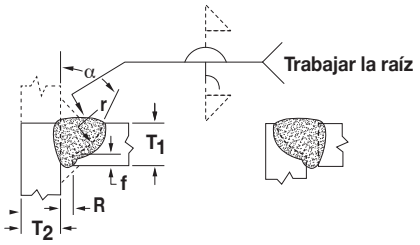
Soldadura en J sencilla (8)
• Junta a tope (B)



Proceso de soldadura	Designación de la junta	Grueso del metal base (U = Ilimitado)		Preparación de la junta				Posiciones permitidas para soldar	Protección con gas (FCAW)	Notas
		T_1	T_2	Abertura de la raíz	Ángulo de la preparación	Cara de la raíz	Radio del bisel			
SMAW	B-U8	U	---	R = 0 a 3	α = 45°	f = 3	r = 10	Todas	---	3, 4, 5, 10
GMAW FCAW	B-U8-GF	U	---	R = 0 a 3	α = 30°	f = 3	r = 10	Todas	No se requiere	1, 3, 4, 10
SAW	B-U8-S	U	U	R = 0	α = 45°	f = 6.4 máx	r = 10	F	---	3, 4, 10

Tolerancias	
En planos (ver 3.13.1)	En ejecución (ver 3.13.1)
Para B-U8 y B-U8-GF	
R = +2, -0	+2, -3
α = +10°, -0°	+10°, -5°
f = ±3, 0	Sin límite
r = +6.4, -0	±2
Para B-U8-S	
R = ±0	+6.4, -0
α = +10°, -0°	+10°, -5°
f = +0, +2	±2
r = +6.4, -0	±2

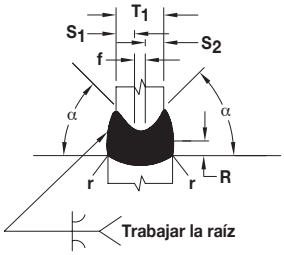
Soldadura de ranura en J sencilla (8)
- Junta en T
- Junta en esquina (C)



Proceso de soldadura	Designación de la junta	Grueso del metal base (U = ilimitado)		Preparación de la junta				Posiciones permitidas para soldar	Protección con gas (FCAW)	Notas
		T_1	T_2	Abertura de la raíz	Ángulo de la preparación	Cara de la raíz	Radio del bisel			
SMAW	B-U8a	U	U	R = 0 a 3	α = 45°	f = 3	r = 10	Todas	---	4, 5, 7, 10, 11
				R = 0 a 3	α = 30°	f = 3	r = 10	F, OH	---	4, 5, 7, 10, 11
GMAW FCAW	TC-U8a-GF	U	U	R = 0 a 3	α = 30°	f = 3	r = 10	Todas	No se requiere	1, 4, 7, 10, 11
SAW	TC-U8a-S	U	U	R = 0	α = 45°	f = 6.4 máx	r = 10	F	---	4, 7, 10, 11

Tolerancias	
En planos (ver 3.13.1)	En ejecución (ver 3.13.1)
TC-U8a y TC-U8a-GF	
R = +2, -0	+2, -1/8
α = +10°, -0°	+10°, -5°
f = ±2, 0	Sin límite
r = +6.4, -0	±2
TC-U8a-S	
R = ±0	+6.4, -0
α = +10°, -0°	+10°, -5°
f = +0, +13	±2
r = +6.4, -0	±2

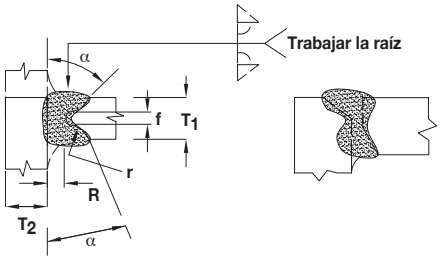
Soldadura en J doble (9)
• Junta a tope (B)



Proceso de soldadura	Designación de la junta	Grueso del metal base (U = ilimitado)		Preparación de la junta				Posiciones permitidas para soldar	Protección con gas (FCAW)	Notas
		T_1	T_2	Abertura de la raíz	Ángulo de la preparación	Cara de la raíz	Radio del bisel			
SMAW	B-U9	U	---	R = 0 a 3	α = 45°	f = 3	r = 10	Todas	---	3, 4, 5, 8, 10
GMAW FCAW	B-U9-GF	U	---	R = 0 a 3	α = 30°	f = 3	r = 10	Todas	No se requiere	1, 3, 4, 8, 10

Tolerancias	
En planos (ver 3.13.1)	En ejecución (ver 3.13.1)
R = +2, -0	+2, -3
α = +10°, -0°	+10°, -5°
f = ±2, 0	Sin límite
r = +3, -0	±2

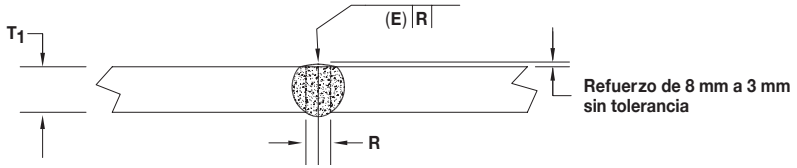
Soldadura en J doble (9)
- Junta en T (T)
- Junta en esquina (C)



Proceso de soldadura	Designación de la junta	Grueso del metal base (U = ilimitado)		Preparación de la junta				Posiciones permitidas para soldar	Protección con gas (FCAW)	Notas
		T_1	T_2	Abertura de la raíz	Ángulo de la preparación	Cara de la raíz	Radio del bisel			
SMAW	TC-U9a	U	U	R = 0 a 3	α = 45°	f = 3	r = 10	Todas	---	3, 4, 5, 7, 8, 10, 11
				R = 0 a 3	α = 30°	f = 3	r = 10	F, OH	---	4, 5, 7, 8, 11
GMAW FCAW	B-U9-GF	U	U	R = 0 a 3	α = 30°	f = 3	r = 10	Todas	No se requiere	1, 4, 7, 8, 10, 11

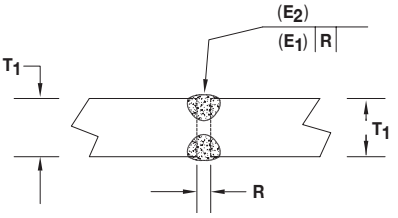
Tolerancias	
En planos (ver 3.13.1)	En ejecución (ver 3.13.1)
R = +2, -0	+2, -3
α = +10°, -0°	+10°, -5°
f = ±2, 0	Sin límite
r = 3, -0	±2

Soldadura a tope en placas sin preparación
• Junta a tope (B)



Proceso de soldadura	Designación de la junta	Grueso del metal base (U = ilimitado)		Preparación de la junta			Posiciones permitidas para soldar	Tamaño de soldadura (E)	Notas
				Abertura de la raíz	Tolerancias				
		T_1	T_2		En planos (ver 3.12.3)	En ejecución (ver 3.12.3)			
SMAW	B-P1a	3	---	R = 0 a 2	±2, -0	±2	Todas	T_1 - 0.8	2,5
	B-P1c	6.4 máx	---	R = T_1/2	+2, -0	±2	Todas	T_1/2	2,5

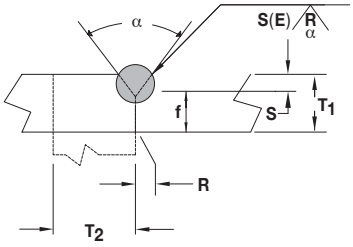
Soldadura a tope en placas sin preparación
• Junta a tope (B)



$E_1 + E_2$ no debe exceder $3T_1/4$

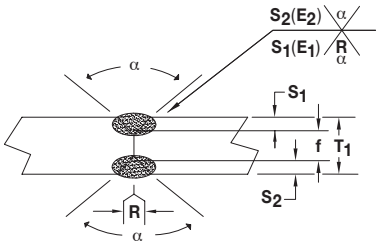
Proceso de soldadura	Designación de la junta	Grueso del metal base (U = ilimitado)		Preparación de la junta			Posiciones permitidas para soldar	Tamaño total de la soldadura	Notas
					Tolerancias				
		T_1	T_2	Abertura de la raíz	En planos (ver 3.12.3)	En ejecución (ver 3.12.3)			
SMAW	B-P1b	6.4 máx	---	$R = T_1/2$	+2, -0	±2	Todas	$3T_1/4$	5

Soldadura en V sencilla
- Junta a tope (B)
- Junta en esquina (C)



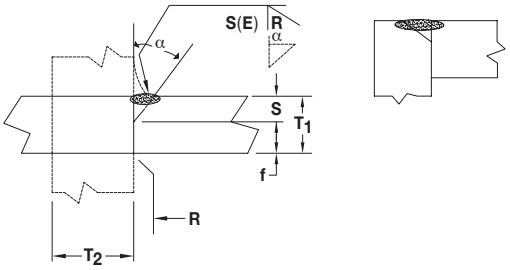
Proceso de soldadura	Designación de la junta	Grueso del metal base (U = ilimitado)		Preparación de la junta			Posiciones permitidas para soldar	Tamaño de la sodadura (E)	Notas
				Abertura de la raíz, Cara de la raíz, Ángulo del bisel	Tolerancias				
		T_1	T_2		En planos (ver 3.12.3)	En ejecución (ver 3.12.3)			
SMAW	BC-P2	6.4 mín	U	R = 0 f = 0.8 mín α = 60°	-0, +2 +U, -0 +10°, -0°	+3, -2 ±2 +10°, -5°	Todas	S	2, 5, 6, 10
GMAW FCAW	BC-P2-GF	6.4 mín	U	R = 0 f = 3 mín α = 60°	-0, +2 +U, -0 +10°, -0°	+3, -2 ±2 +10°, -5°	Todas	S	1, 2, 6, 10
SAW	BC-P2-S	11 mín	U	R = 0 f = 6.4 máx α = 60°	±0 +U, -0 +10°, -0°	+2, -0 ±2 +10°, -5°	F	S	2, 6, 10

Soldadura en V doble (3)
• Junta a tope (B)



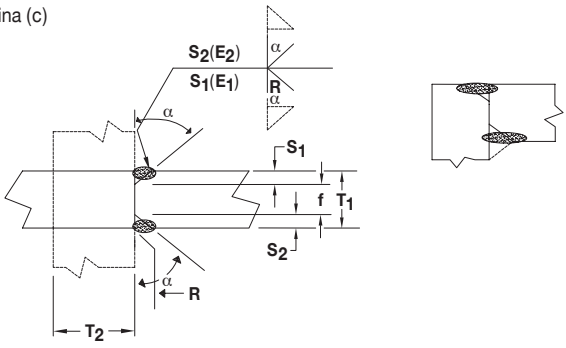
Proceso de soldadura	Designación de la junta	Grueso del metal base (U = ilimitado)		Preparación de la junta			Posiciones permitidas para soldar	Tamaño de la sodadura ($E_1 + E_2$)	Notas
				Abertura de la raíz, Cara de la raíz, Ángulo del bisel	Tolerancias				
		T_1	T_2		En planos (ver 3.12.3)	En ejecución (ver 3.12.3)			
SMAW	B-P3	13 mín	---	R = 0 f = 3 mín α = 60°	+2, -0 +U, -0 +10°, -0°	+3, -2 ±2 +10°, -5°	Todas	$S_1 + S_2$	5, 6, 9, 10
GMAW FCAW	BC-P3-GF	13 mín	---	R = 0 f = 3 mín α = 60°	+2, -0 +U, -0 +10°, -0°	+3, -2 ±2 +10°, -5°	Todas	$S_1 + S_2$	1, 6, 9, 10
SAW	B-P3-S	19 mín	---	R = 0 f = 6.4 máx α = 60°	±0 +U, -0 +10°, -0°	+2, -0 ±2 +10°, -5°	F	$S_1 + S_2$	6, 9, 10

Soldadura en bisel sencillo (4)
- Junta a tope (B)
- Junta en T (T)
- Junta en esquina (C)



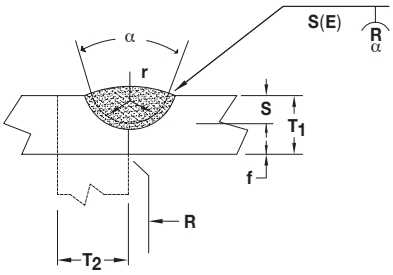
Proceso de soldadura	Designación de la junta	Grueso del metal base (U = ilimitado)		Preparación de la junta			Posiciones permitidas para soldar	Tamaño de sodadura	Notas
				Abertura de la raíz, Cara de la raíz, Ángulo del bisel	Tolerancias				
		T_1	T_2		En planos (ver 3.12.3)	En ejecución (ver 3.12.3)			
SMAW	BTC-P4	U	---	R = 0 f = 3 mín α = 45°	+2, -0 +U, -0 +10°, -0°	+3, -2 ±2 +10°, -5°	Todas	S - 3	2, 5, 6, 7, 10, 11
GMAW FCAW	BTC-P4-GF	6.4 mín	---	R = 0 f = 3 mín α = 45°	+2, -0 +U, -0 +10°, -0°	+3, -2 ±2 +10°, -5°	F, H	S	1, 2, 6, 7, 10, 11
							Todas	S - 3	
SAW	TC-P4-S	11 mín	---	R = 0 f = 6.4 máx α = 60°	±0 +U, -0 +10°, -0°	+2, -0 ±2 +10°, -5°	F	S	2, 6, 7, 10, 11

Soldadura de bisel doble (5)
- Junta a tope (B)
- Junta en T (T)
- Junta en esquina (c)



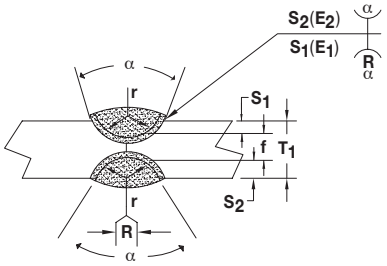
Proceso de soldadura	Designación de la junta	Grueso del metal base (U = ilimitado)		Preparación de la junta			Posiciones permitidas para soldar	Tamaño de la sodadura ($E_1 + E_2$)	Notas
				Abertura de la raíz, Cara de la raíz, Ángulo del bisel	Tolerancias				
		T_1	T_2		En planos (ver 3.12.3)	En ejecución (ver 3.12.3)			
SMAW	BTC-P5	8 mín	U	R = 0 f = 3 mín α = 45°	+2, -0 +U, -0 +10°, -0°	+3, -2 ±2 +10°, -5°	Todas	$S_1 + S_2$ -6.4 mm	5, 6, 7, 9, 10, 11
GMAW FCAW	BTC-P5-GF	13 mín	U	R = 0 f = 3 mín α = 45°	+2, -0 +U, -0 +10°, -0°	+3, -2 ±2 +10°, -5°	F, H	$S_1 + S_2$	1, 6, 7, 9, 10, 11
							V, OH	$S_1 + S_2$ -6.4 mm	
SAW	TC-P5-S	19 mín	U	R = 0 f = 6.4 máx α = 60°	±0 +U, -0 +10°, -0°	+2, -0 ±2 +10°, -5°	F	$S_1 + S_2$	6, 7, 9, 10, 11

Soldadura en U sencilla (6)
- Junta a tope (B)
- Junta en esquina (C)



Proceso de soldadura	Designación de la junta	Grueso del metal base (U = ilimitado)		Preparación de la junta			Posiciones permitidas para soldar	Tamaño de la sodadura (E)	Notas
				Abertura de la raíz, Cara de la raíz, Ángulo del bisel	Tolerancias				
		T_1	T_2		En planos (ver 3.12.3)	En ejecución (ver 3.12.3)			
SMAW	BC-P6	6.4 mín	U	R = 0 f = 0.8 mín r = 6.4 α = 45°	+2, -0 +U, -0 +6.4, -0 +10°, -0°	+3, -2 ±2 ±2 +10°, -5°	Todas	S	2, 5, 6, 10
GMAW FCAW	BC-P6-GF	6.4 mín	U	R = 0 f = 3 mín r = 6.4 α = 20°	+2, -0 +U, -0 +6.4, -0 +10°, -0°	+3, -2 ±2 ±2 +10°, -5°	Todas	S	1, 2, 6, 10
SMAW	BC-P6-S	11 mín	U	R = 0 f = 6.4 mín r = 6.4 α = 20°	±0 +U, -0 +6.4, -0 +10°, -0°	+2, -0 ±2 ±2 +10°, -5°	F	S	2, 6, 10

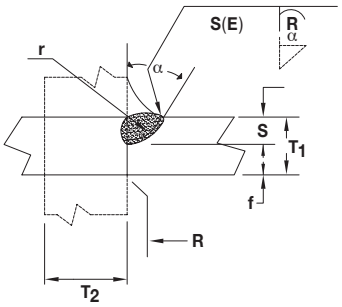
Soldadura en U doble (7)
• Junta a tope (B)

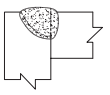


Proceso de soldadura	Designación de la junta	Grueso del metal base (U = Ilimitado)		Preparación de la junta			Posición permitida para soldar	Tamaño de la sodadura ($E_1 + E_2$)	Notas
				Abertura de la raíz, Cara de la raíz, Ángulo del bisel	Tolerancias				
		T_1	T_2		En planos (ver 3.12.3)	En ejecución (ver 3.12.3)			
SMAW	B-P7	13 mín	---	R = 0 f = 3 mín r = 6.4 α = 45°	+2, -0 +U, -0 +6.4, -0 +10°, -0°	+3, -2 ±2 +10°, -5°	Todas	$S_1 + S_2$	5, 6, 9, 10
GMAW FCAW	B-P7-GF	013 mín	---	R = 0 f = 3 mín r = 6.4 α = 20°	+2, -0 +U, -0 +6.4, -0 +10°, -0°	+3, -2 ±2 +10°, -5°	Todas	$S_1 + S_2$	1, 6, 9, 10
SMAW	B-P7-S	19 mín	---	R = 0 f = 6.4 mín r = 6.4 α = 20°	±0 +U, -0 +6.4, -0 +10°, -0°	+2, -0 ±2 +10°, -5°	F	$S_1 + S_2$	6, 9, 10

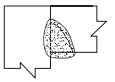
Soldadura en J sencilla (8)
- Junta a tope (B)
- Junta en T (T)
- Junta en esquina (C)

α_{oc} = esquina exterior del ángulo del bisel
α_{ic} = esquina interior del ángulo del bisel





Lado exterior de la esquina

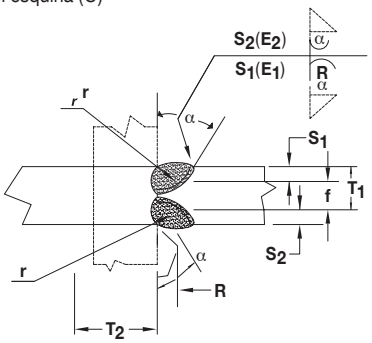


Lado interior de la esquina

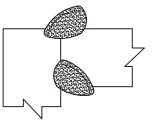
Proceso de soldadura	Designación de la junta	Grueso del metal base (U = ilimitado)		Preparación de la junta			Posiciones permitidas para soldar	Tamaño total de sodadura (E)	Notas
				Abertura de la raíz, Cara de la raíz, Ángulo del bisel	Tolerancias				
		T_1	T_2		En planos (ver 3.12.3)	En ejecución (ver 3.12.3)			
SMAWO	B-P8	6.4 mín	U	R = 0 f = 3 mín r = 10 α = 30°	+2, -0 +U, -0 +6.4, -0 +10°, -0°	+3, -2 ±2 ±2 +10°, -5°	Todas	S	5, 6, 7, 10, 11
	TC-P8	6.4 mín	U	R = 0 f = 3 mín r = 10 α_{oc} = 30°* α_{ic} = 45°*	+2, -0 +U, -0 +6.4, -0 +10°, -0° +10°, -0°	+3, -2 ±2 ±2 +10°, -5° +10°, -5°	Todas	S	5, 6, 7, 10, 11
GMAW FCAW	B-P8-GF	6.4 mín	U	R = 0 f = 3 mín r = 10 α = 30°	+2, -0 +U, -0 +6.4, -0 +10°, -0°	+3, -2 ±2 ±2 +10°, -5°	Todas	S	1, 6, 7, 10, 11
	TC-P8-GF	6.4 mín	U	R = 0 f = 3 mín r = 10 α_{oc} = 30°* α_{ic} = 45°*	+2, -0 +U, -0 +6.4, -0 +10°, -0° +10°, -0°	+3, -2 ±2 ±2 +10°, -5° +10°, -5°	Todas	S	1, 6, 7, 10, 11
SAW	B-P8-S	11 mín	U	R = 0 f = 6.4 mín r = 13 α = 20°*	±0 +U, -0 +6.4, -0 +10°, -0°	+2, -0 ±2 ±2 +10°, -5°	Todas	S	6, 7, 10, 1
	TC-P8-S	11 mín	U	R = 0 f = 6.4 mín r = 13 α_{oc} = 20°* α_{ic} = 45°*	±0 +U, -0 +6.4, -0 +10°, -0° +10°, -0°	+2, -0 ±2 ±2 +10°, -5° +10°, -5°	Todas	S	6, 7, 10, 11

Soldadura en J sencilla (9)
- Junta a tope (B)
- Junta en T (T)
- Junta en esquina (C)

α_{oc} = esquina exterior del ángulo de bisel
α_{ic} = esquina interior del ángulo del bisel



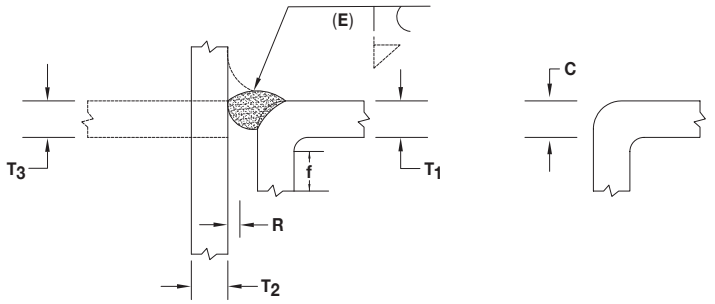
Lado exterior de la esquina



Lado interior de la esquina

Proceso de soldadura	Designación de la junta	Grueso del metal base (U = ilimitado)		Preparación de la junta			Posiciones permitidas para soldar	Tamaño total de sodadura ($E_1 + E_2$)	Notas
				Abertura de la raíz, Cara de la raíz, Ángulo del bisel	Tolerancias				
		T_1	T_2		En planos (ver 3.12.3)	En ejecución (ver 3.12.3)			
SMAWO	B-P9	13 mín	U	R = 0 f = 3 mín r = 10 α = 30°	+2, -0 +U, -0 +6.4, -0 +10°, -0°	+3, -2 ±2 ±2 +10°, -5°	Todas	$S_1 + S_2$	5, 6, 7, 9, 10, 11
	TC-P9	13 mín	U	R = 0 f = 3 mín r = 10 α_{oc} = 30°* α_{ic} = 45°*	+2, -0 +U, -0 +6.4, -0 +10°, -0° +10°, -0°	+3, -2 ±2 ±2 +10°, -5° +10°, -5°	Todas	$S_1 + S_2$	5, 6, 7, 9, 10, 11
GMAW FCAW	B-P9-GF	13 mín	U	R = 0 f = 3 mín r = 10 α = 30°	+2, -0 +U, -0 +6.4, -0 +10°, -0°	+3, -2 ±2 ±2 +10°, -5°	Todas	$S_1 + S_2$	1, 6, 7, 9, 10, 11
	TC-P9-GF	13 mín	U	R = 0 f = 3 mín r = 10 α_{oc} = 30°* α_{ic} = 45°*	+2, -0 +U, -0 +6.4, -0 +10°, -0° +10°, -0°	+2, -0 ±2 ±2 +10°, -5° +10°, -5°	Todas	$S_1 + S_2$	1, 6, 7, 9, 10, 11
SAW	B-P9-S	19 mín	U	R = 0 f = 6.4 mín r = 13 α = 20°*	±0 +U, -0 +6.4, -0 +10°, -0°	+2, -0 ±2 ±2 +10°, -5°	F	$S_1 + S_2$	6, 7, 9, 10, 1
	TC-P9-S	19 mín	U	R = 0 f = 6.4 mín r = 13 α_{oc} = 20°* α_{ic} = 45°*	±0 +U, -0 +6.4, -0 +10°, -0° +10°, -0°	+2, -0 ±2 ±2 +10°, -5° +10°, -5°	F	$S_1 + S_2$	6, 7, 9, 10, 11

Junta soldada con bisel acampanado
- Junta a tope (B)
- Junta en T (T)
- Junta en esquina (C)



Proceso de soldadura	Designación de la junta	Grueso del metal base (U = ilimitado)			Preparación de la junta			Posiciones permitidas para soldar	Tamaño total de sodadura (E)	Notas
					Abertura de la raíz, Cara de la raíz, Ángulo del bisel	Tolerancias				
		T_1	T_2	T_3		En planos (ver 3.12.3)	En ejecución (ver 3.12.3)			
SMAW	BTC-P10	5 mín	U	T_1 mín	R = 0 f = 5 mín C = $\frac{3T_1}{2}$ mín	+2, -0 +U, -0 +U, -0	+3, -2 +U, -2 +U, -0	Todas	$\frac{5T_1}{8}$	5, 7, 10, 12
GMAW FCAW	BTC-P10-GF	5 mín	U	T_1 mín	R = 0 f = 5 mín C = $\frac{3T_1}{2}$ mín	+2, -0 +U, -0 +U, -0	+3, -2 +U, -2 +U, -0	Todas	$\frac{5T_1}{8}$	1, 7, 10, 12
SMAW	T-P10-S	13 mín	13 mín	N/A	R = 0 f = 1/2 mín C = $\frac{3T_1}{2}$ mín	±0 +U, -0 +U, -0	+2, -0 +U, -2 +U, -0	F	$\frac{5T_1}{8}$	7, 10, 12

CAPITULO

VIII

VIII.4 Ángulos

VIII.4.1 Áreas netas de ángulos en cm^2

Los agujeos se han considerado 3.2 mm (1/8") mayores que el diámetro nominal del tornillo

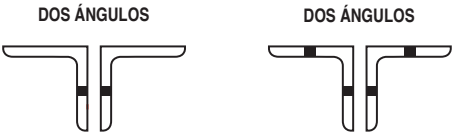
Dimensiones

UN ÁNGULO **UN ÁNGULO**

Lados	Espesor		Deduciendo un agujero de				Deduciendo dos agujeros de			
	mm	Pulgadas	19.0	22.2	25.4	28.6	19.0	22.2	25.4	28.6
6" x 6"	152.4 x 152.4									
	9.5	3/8	26.32	26.02	25.72	25.42	24.52	23.91	23.91	22.70
	11.1	7/16	30.53	30.18	29.82	29.48	28.42	27.71	27.00	26.30
	12.7	1/2	34.69	34.28	33.87	33.47	32.27	31.46	30.65	29.84
	14.3	9/16	39.36	39.01	37.85	37.39	36.03	35.13	34.21	33.31
	15.9	5/8	42.85	42.34	41.83	41.32	39.83	38.81	37.79	36.78
	19.0	3/4	50.84	50.23	49.62	49.02	47.23	46.01	44.80	43.58
	22.2	7/8	58.55	57.84	57.13	56.42	54.33	52.91	51.49	50.07
	25.4	1	66.14	65.33	64.52	63.71	61.32	59.69	58.07	56.44
6" x 4"	152.4 x 101.6									
	9.5	3/8	21.48	21.18	20.88	20.57	19.68	19.07	18.47	17.86
	11.1	7/16	24.85	24.50	24.14	23.80	22.74	22.03	21.32	20.62
	12.7	1/2	28.24	27.83	27.42	27.02	25.82	25.01	24.20	23.39
	14.3	5/16	31.54	31.09	30.63	30.18	28.81	27.91	27.00	26.09
	15.9	5/8	34.79	34.28	33.77	33.26	31.77	30.75	29.73	28.72
	19.0	3/4	41.16	40.55	39.94	39.34	37.55	36.33	35.12	33.90
	22.2	7/8	47.26	46.55	45.84	45.13	43.04	41.62	40.20	38.78

Los agujeros se han considerado 3.2 mm (1/8") mayores que el diámetro nominal del tornillo

Dimensiones



Lados	Espesor		Deduciendo un agujero de				Deduciendo dos agujeros de			
	mm	Pulgadas	19.0	22.2	25.4	28.6	19.0	22.2	25.4	28.6
6" x 6"	152.4 x 152.4									
	9.5	3/8	52.65	52.04	51.44	50.84	49.04	47.82	46.62	45.40
	11.1	7/16	61.07	60.36	59.65	58.95	56.84	55.42	54.00	52.60
	12.7	1/2	69.38	68.56	67.74	66.94	64.54	62.92	61.30	59.68
	14.3	9/16	77.51	76.61	75.70	74.79	72.07	70.26	68.43	66.62
	15.9	5/8	85.70	84.68	83.66	82.64	79.66	77.62	75.58	73.56
	19.0	3/4	101.68	100.46	99.24	98.04	94.46	92.02	89.60	87.16
	22.2	7/8	117.10	115.68	114.26	112.84	108.66	105.82	102.98	100.14
	25.4	1	132.28	130.66	129.04	127.42	122.64	119.38	116.14	112.88
6" x 4"	152.4 x 101.6									
	9.5	3/8	42.96	42.36	41.76	41.14	39.36	38.14	36.94	35.72
	11.1	7/16	49.71	49.00	48.29	47.60	45.48	44.06	42.64	41.24
	12.7	1/2	56.48	55.66	54.84	54.04	51.64	50.02	48.40	46.78
	14.3	5/16	63.07	62.17	61.26	60.35	57.63	55.82	54.00	52.18
	15.9	5/8	69.58	68.56	67.54	66.52	63.54	61.50	59.46	57.44
	19.0	3/4	82.32	81.10	79.88	78.68	75.10	72.66	70.24	67.80
	22.2	7/8	94.52	93.10	91.68	90.26	86.08	83.24	80.40	77.56

CAPITULO

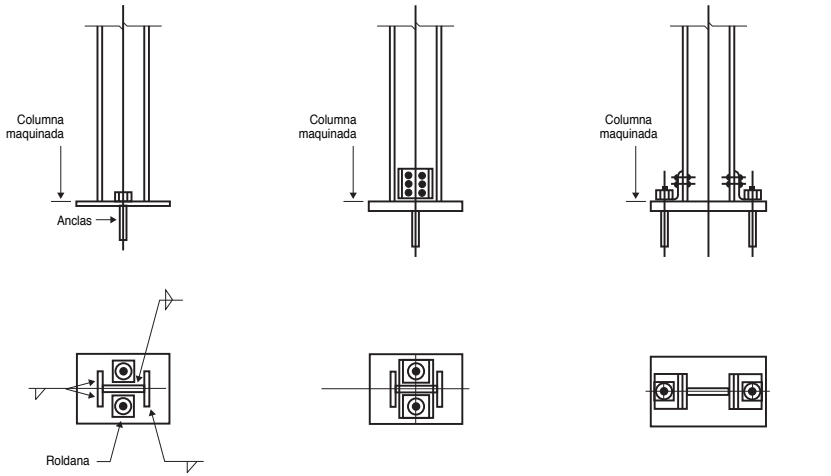
VIII

VIII.5 CONEXIONES ENTRE MIEMBROS DE ACERO ESTRUCTURAL

VIII.5.1 CONEXIONES TÍPICAS

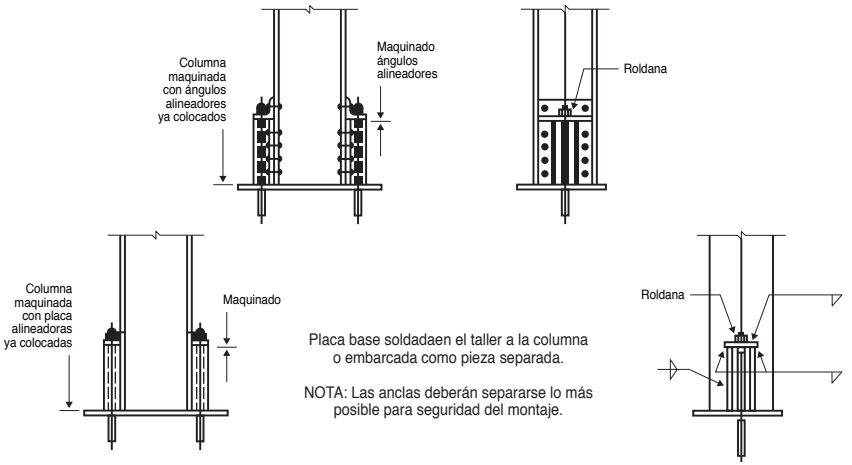
Los detalles presentados en esta página y en las siguientes, son sugestiones y no se intenta limitar el uso de otras conexiones similares.

Placas de asiento para columnas



Placa de base soldada en el taller a la columna

Placa de base terminada y embarcada por separado



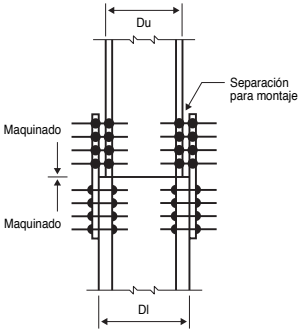
Placa base soldadaen el taller a la columna o embarcada como pieza separada.

NOTA: Las anclas deberán separarse lo más posible para seguridad del montaje.

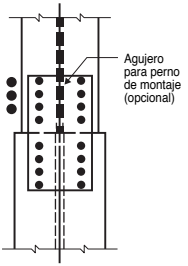
Detalle de conexiones

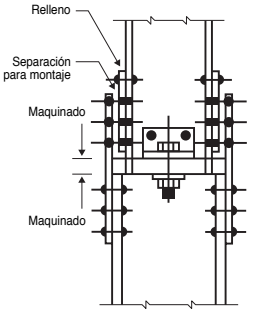
Uniones para columnas

Remachado y atornillado

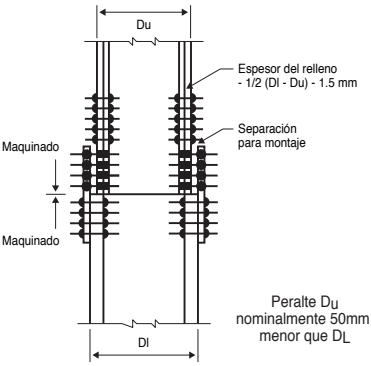


Peralte D_U y D_L
Nominalmente el mismo

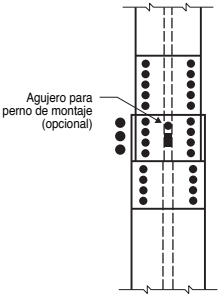




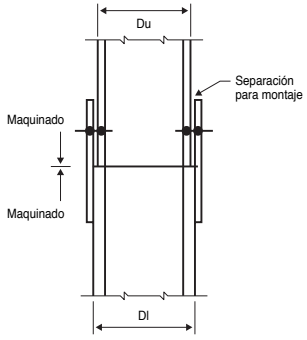
Placa de asiento



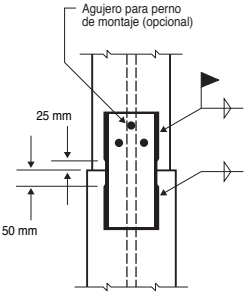
Peralte D_U nominalmente 50mm menor que D_L

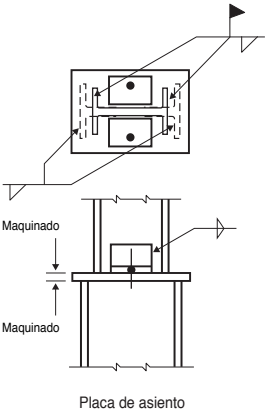


Uniones para columnas soldadas



Peralte D_U y D_L
Nominalmente el mismo

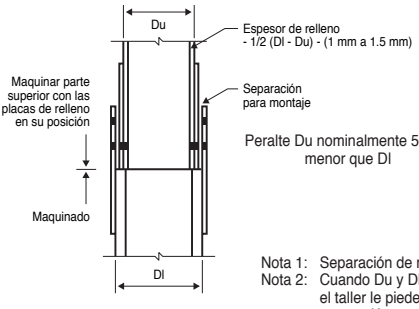


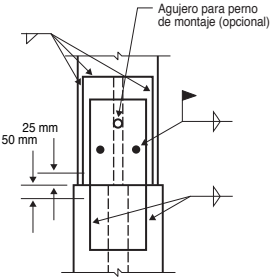


Placa de asiento

Detalle de conexiones

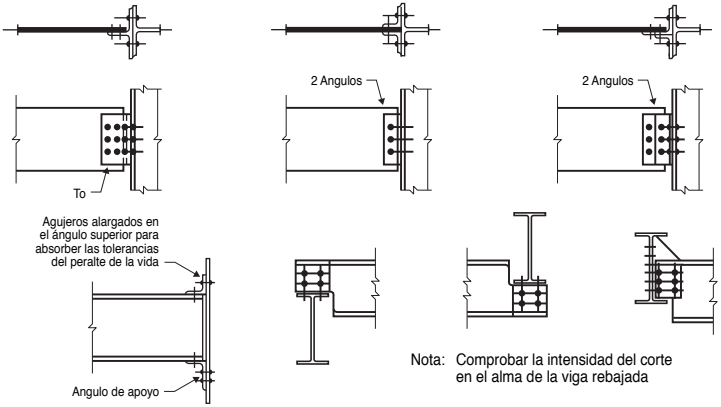
Uniones para columnas soldadas





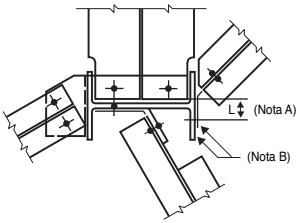
Nota 1: Separación de montaje, de 1 a 1.5 mm.
Nota 2: Cuando Du y Dl son nominalmente el mismo y se necesitan rellenos delgados, el taller le piede soldar la placa de unión a la sección superior y proveer la separación para montaje de campo de la sección inferior.

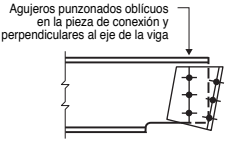
Conexiones para corte



Nota: Comprobar la intensidad del corte en el alma de la viga rebajada

Conexiones oblicuas típicas

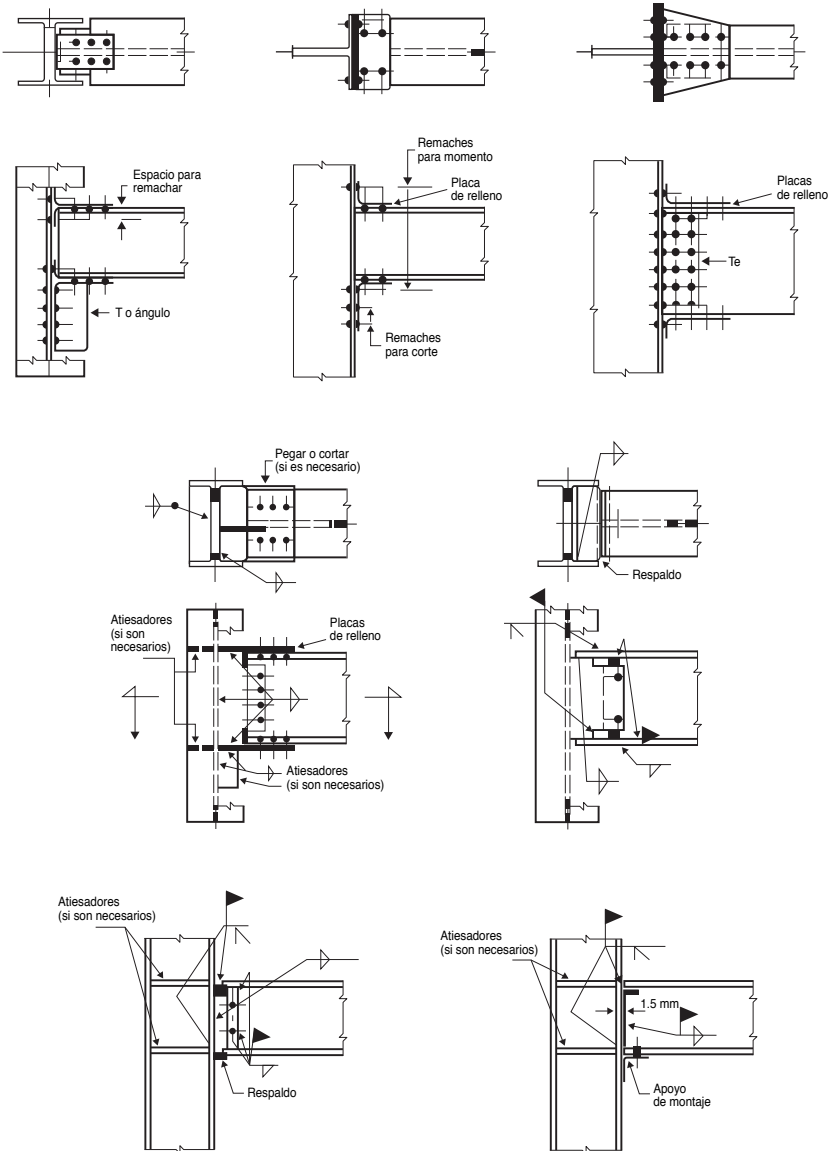




Nota A: La dimensión de la placa deberá calcularse usando un brazo de palanca igual a L, y con la excentricidad efectiva revisar los remaches o tornillos.
Nota B: Si varias conexiones se encuentran a un mismo nivel, debe preverse suficiente espacio para el remachado o atornillado de la misma.

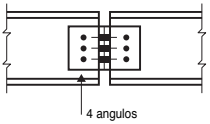
Conexiones para momento

Las conexiones para resistir viento o diseñados para resistir momentos flexionantes, generalmente se hacen con ángulos, tes estructurales o placas.

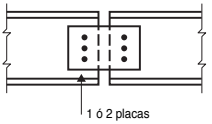


Detalle de conexiones

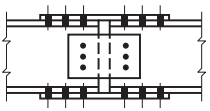
Juntas a corte

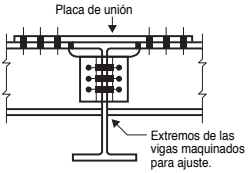


Nota: El de 4 ángulos es más flexible.

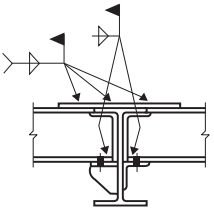


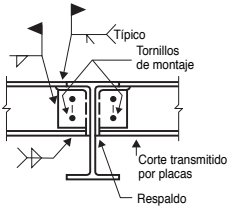
Juntas atornilladas para transmitir momento

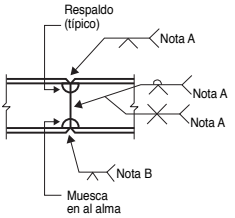




Juntas atornilladas para transmitir momento

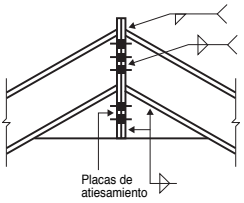




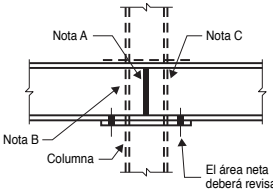


Nota A: La preparación de la junta depende del espesor del material y del proceso de soldadura.
Nota B: Invertir la preparación de la junta si la viga no se puede voltear.

Juntas para transmitir momentos en caballete (atornillado en campo)

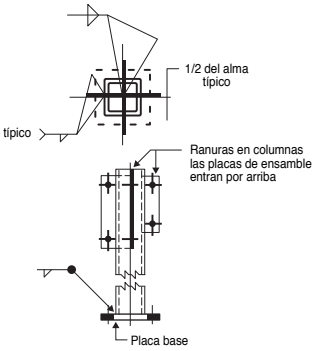


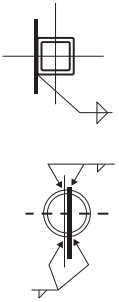
Vigas sobre columnas (continuas)

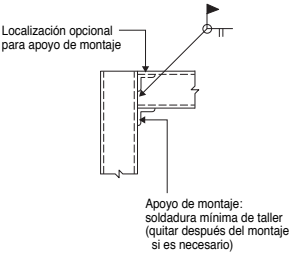


Nota A: Dos atiesadores, efectivos sólo si el entramado o losa impide la rotación del patín superior.
Nota B: Localización opciones de 2 atiesadores sobre la columna y en dirección de sus patines.
Nota C: Si hay columna arriba, úsense 4 atiesadores ajustados.

Conexiones de vigas a columnas para secciones tubulares y tubos

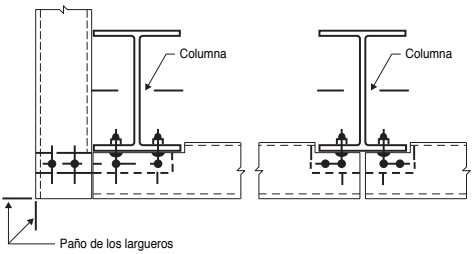


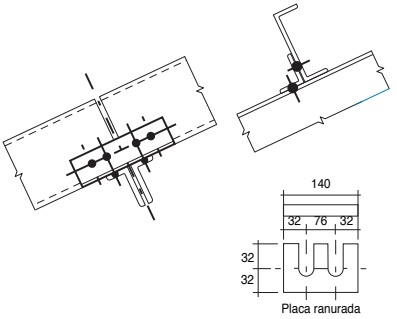




Nota: Detalles similares para secciones tubulares y tubos

Conexiones para polines

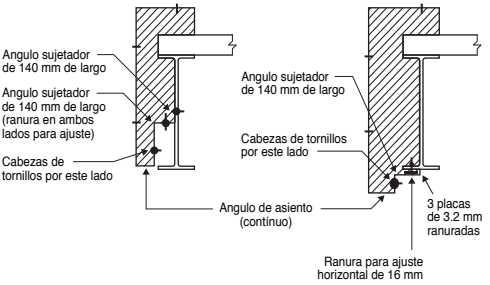




Ángulos de asiento con ajustamiento

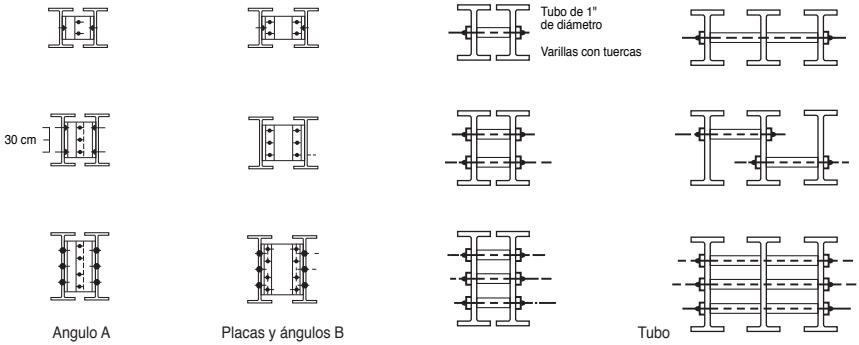
Nota:

El ajuste horizontal se hace por medio de agujeros alargados, el ajuste vertical pude hacerse por medio de agujeros alargados o por placas de relleno. Para la tolerancia permisible de alargamiento, ver el código de prácticas estándar de AISC.



Detalle de conexiones

Separadores típicos para vigas / varios

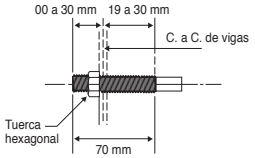


Angulo A

Placas y ángulos B

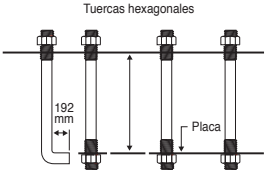
Tubo

Tirantes y anclas / varios



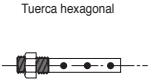
La longitud de varilla debe especificarse en múltiplos de 76 mm

Tirantes

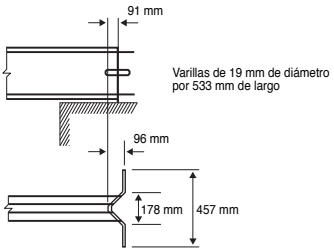


Nota: La dimensión "d" se determina con la tensión en el ancla

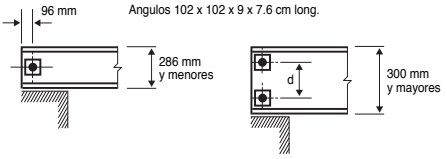
Tornillos para anclas



Tornillos arponados



Anclas de pared



Anclas de ángulo para pared

GRUPO AZERO

FERRETERA PRADO

Av Central No. 47
Col. San Juan Bosco
San Juan del Río, Qro. C.P. 76805
gerentedeventas@ferreteraprado.com
T. (427) 272 1093 / 272 3399

COMPAÑÍA FERRETERA PRADO

Av. Constituyentes No. 34
Col. Valle de Oro
San Juan del Río, Qro. C.P. 76800
ventas@ferreteraprado.com
T. (427) 272 6157 / 272 8585

FERRETERA PRADO HERRAMIENTAS

Puerto de Veracruz No. 110
Rancho de en Medio
San Juan del Río, Qro. C.P. 76842
herramientas@ferrereraprado.com
T. (427) 268 4544 / 268 4577

FERRETERÍA Y ACEROS DE QUERÉTARO

Carretera Campo Militar No. 4
Col. San Antonio de la Punta
Querétaro, Querétaro. C.P. 76135
T. (442) 215 7507 al 10

FERRETERÍA Y ACEROS DE CELAYA

Blvd. Adolfo López Mateos
No. 1556 Pte., Col. Rosalinda.
Celaya, Guanajuato. C.P. 38060
T. (461) 615 2389 / 90, 91 y 92

FERRETERÍA Y ACEROS DE IRAPUATO

C. Gustavo Díaz Ordaz No. 6
Col. Las Delicias
Irapuato, Guanajuato. C.P. 36680
T. (462) 627 5982 / 693 1218 /
627 8035

FERRETERÍA Y ACEROS 2000

Mezquital No. 3, Col. San Pablo
Querétaro, Querétaro. C.P. 76130
T. (442) 217 4621 / 195 7226 y 27

SUC. LA NORIA.
Cataratas No. 18, Parque Ind. La Noria,
Querétaro, Qro.
T. (442) 277 4692 / 277 4693

PERFILES Y FERRETERÍA MIXCOAC

Tiziano No. 68,
Col. Alfonso XIII
México, DF, C.P. 01460
T. (55) 5664 3667 / 5593 7768