



Gobierno de Reconciliación
y Unidad Nacional

El Pueblo, Presidente!



2017
TIEMPOS DE VICTORIAS!
Por Gracia de Dios!



Reglamento Nacional
de Construcción RNC

NORMAS MÍNIMAS DE DISEÑO
Y CONSTRUCCIÓN GENERAL DE

ACERO

(AE-001)



Créditos

INSTITUCIONES PÚBLICAS

INVUR
MINSA
MINED
FISE
SINAPRED
INETER

ALCALDÍA DE MANAGUA Y SUS DISTRITOS

UNIVERSIDADES PÚBLICAS Y PRIVADAS

UNI
UNAN
UCA
UCC
UNICIT
UAM

GREMIOS Y ASOCIACIONES

ANIA
CNC
SIEN
CIN

ORGANIZACIONES

OPS
MESA NACIONAL DE GESTION DE RIESGOS

CONSULTORES REDACTORES - BID

CONSULTORES ESTRUCTURALES Y PRIVADOS

EMPRESA PRIVADA

HOPSA
GRUPO PANELCONSA
PLYCEM
CONCRETERA TOTAL
ROBECA, S. A.
CONINCA, S. A.
CEMEX



NORMAS MÍNIMAS DE DISEÑO
Y CONSTRUCCIÓN GENERAL DE
ACERO



Ministerio de Transporte e Infraestructura
MTI
Despacho del Ministro

RESOLUCIÓN MINISTERIAL N° 077-2017

El **Ministro de Transporte e Infraestructura**, en uso de las facultades conferidas de conformidad con los instrumentos legales siguientes: Ley N° 290 "Ley de Organización, Competencia y Procedimientos del Poder Ejecutivo con Reformas Incorporadas", publicada en La Gaceta, Diario Oficial No. 35 del 22 de febrero del año dos mil trece; Ley N° 864 "Ley de Reforma a la Ley N° 290", publicada en La Gaceta, Diario Oficial N° 91, del veinte de mayo del dos mil catorce; Ley N° 885, Ley de Reformas y Adiciones a la Ley No. 290, "Ley de Organización, Competencia y Procedimientos del Poder Ejecutivo, publicada en La Gaceta No. 199 del 21 de octubre de 2014; Decreto N° 25-2006 "Reformas y Adiciones al Decreto No. 71-98, Reglamento de la Ley No. 290, Ley de Organización, Competencia y Procedimientos del Poder Ejecutivo", publicado en La Gaceta, Diario Oficial No. 91 y 92 del 11 de mayo del 2006, respectivamente.

CONSIDERANDO

I

Que el 18 de mayo de 1983, el Ministerio de Vivienda y Asentamientos Humanos, emitió el **Reglamento de la Construcción que regirá en el Territorio Nacional**, el cual fue publicado en La Gaceta, Diario Oficial N° 180, 181, 182, 183, 184, 185, 186 y 187 con fechas 8, 9, 11, 12, 13, 15, 16 y 17 de agosto de 1983.

II

Que mediante Resolución Ministerial 01-2007, publicada en La Gaceta, Diario Oficial N° 45 del cinco de marzo del año dos mil siete, se actualizó el Reglamento Nacional de Construcción, denominado RNC-07, estableciendo en su artículo 4° lo siguiente: **"Este Reglamento podrá ser revisado cuando sea necesario a fin de incorporar los últimos avances de la ingeniería estructura sísmica y de suelos"**. Siendo que según el mismo Reglamento en la parte de Disposiciones Generales establece, en el artículo 1, como su objeto: **"Estas Normas Reglamentarias establecen los requerimientos aplicables a diseño y construcción de nuevas edificaciones, así como a la reparación y refuerzo de las ya existentes que lo requieran, con el objeto de: a) Evitar pérdidas de vidas y disminuir la posibilidad de daños físicos a personas; (...), "** y teniendo en cuenta que los costos de construcción y mantenimiento deben de ser razonables con relación al comportamiento Sismoresistente aceptable y vientos huracanados de tal forma que la vida útil proyectada sea alcanzada y por lo tanto la inversión realizada cumpla con el objetivo propuesto, tanto para el dueño o inversor, el constructor y el usuario, y considerando que después de 10 años de promulgadas las actualizaciones del Reglamento vigente y dado el avance de la ingeniería Sismoresistente, así como de nuevos métodos de diseño estructural, de nueva información geofísica, geotécnica y de vientos, se hace necesaria su actualización.

III

Que el Ministerio de Transporte e Infraestructura, a través de la Dirección General de Normas de Construcción y Desarrollo Urbano, ha actualizado el Reglamento Nacional de Construcción, en los títulos específicos de Concreto Reforzado, que ahora se denominará Concreto Estructural, y los títulos de Acero Estructural y Mampostería. Así mismo, incorpora dos nuevos títulos correspondientes a los nuevos sistemas estructurales especiales, como son: Fibrocemento y Electromallas con Núcleo de Poliestireno Expandido, los cuales tendrán codificación propia. Esta Actualización nace como una iniciativa de la Dirección General de Normas de Construcción y Desarrollo Urbano del MTI y se logró concretar con el apoyo de la Co-Dirección del Sistema

Frente al Estadio Nacional Denis Martínez
Apartado Postal # 26 Managua; Nicaragua
Tels: (505) 2222545 – (505) 2227361- Fax (505) 2282060





Gobierno de Reconciliación
y Unidad Nacional

El Pueblo, Presidente!

2017

TIEMPOS DE VICTORIAS! *Por Gracia de Dios!*

PRESENTACION

EL MINISTERIO DE TRANSPORTE E INFRAESTRUCTURA se complace en presentar al pueblo de Nicaragua en general, especialmente a la Comunidad Académica y al Sector de Infraestructura y Construcción, la presente Actualización del Reglamento Nacional de Construcción, en sus Títulos: **CONCRETO ESTRUCTURAL, ACERO ESTRUCTURAL Y MAMPOSTERÍA**, que nace como una iniciativa de la Dirección General de Normas de Construcción y Desarrollo Urbano y se logra concretar con el apoyo de la Co-Dirección del Sistema Nacional para la Prevención, Mitigación y Atención de Desastres (CD-SINAPRED), como parte de las acciones prioritarias del componente de reducción del riesgo en el marco del Programa de Gestión Integral de Riesgos de Desastres de Nicaragua (AP-PGIRDN) ATN/OC-14249-NI (NI-T1188) financiado por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID).

El Reglamento Nacional de Construcción; RNC-07 que promulgó el Ministerio de Transporte e Infraestructura en el año 2007, sirvió de base y referencia para este logro: EL RNC, cuya actualización en los Títulos de **CONCRETO ESTRUCTURAL, ACERO ESTRUCTURAL Y MAMPOSTERÍA**, fue acompañada de un intenso y amplio proceso de consultas con la comunidad de ingenieros y arquitectos, así como de universidades, asociaciones gremiales e instituciones públicas y privadas dedicadas al diseño y construcción de estructuras. Se efectuaron 3 presentaciones técnicas especializadas, donde participaron más de ciento cincuenta ingenieros civiles y arquitectos, cuyos valiosos aportes están considerados e incorporados en estos documentos.

La actualización del **REGLAMENTO NACIONAL DE CONSTRUCCIÓN (RNC)**, en los títulos arriba mencionados se presenta en documentos independientes con su respectiva codificación para su identificación, de tal forma que cada uno pueda ser actualizado conforme a los últimos avances de la ingeniería.

Quedan vigentes de la edición 2007, hasta sus próximas actualizaciones, los Títulos que incluyen:

I-Disposiciones Generales, II-Normas Mínimas para determinar Cargas debidas a Sismos, III-Disposiciones Diversas, IV-Normas Mínimas para determinar Cargas debidas a Vientos, VI- Normas Mínimas Generales para Madera, IX-Normas Técnicas para realizar Estudios de Micro Zonificación Sísmica. Complementan este Reglamento 4 Anexos, los cuales incluyen: A-tablas de Cargas Muertas Mínimas, B- Factores Q según el tipo de Sistema Estructural, C- Isotacas de Vientos e Isoaceleraciones y D- Ejemplos de Aplicación.

El Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI) agradece a la Co-Dirección del SINAPRED, a las instituciones y a los profesionales por su colaboración y aportes en la actualización de estos temas que forman parte del reglamento, de singular importancia para la sociedad nicaragüense, los cuales serán un instrumento decisivo en la GESTIÓN DE RIESGOS A DESASTRES y por ende, la Reducción de la Vulnerabilidad y la prevención de los mismos.

ING. JOSE AMADEO SANTANA RODRIGUEZ
MINISTRO





CONTENIDO

CAPÍTULO I	1
GENERALIDADES	1
Arto. 1 – Alcance	1
Arto. 2 – Aplicabilidad	1
Arto. 3 – Autoridad competente	1
Arto. 4 – Profesional facultado para diseñar	2
Arto. 5 – Documentos para construcción y registros de diseño	2
Arto. 6 – Aprobación de sistemas especiales alternativos	2
Arto. 7 – Notación y unidades	2
Arto. 8 – Definiciones	17
Arto. 9 – Normas de referencia	25
CAPÍTULO II	28
ANÁLISIS Y DISEÑO	28
Arto. 10 – Alcance	29
Arto. 11 – Requisitos para sistemas estructurales	29
a) Sistema estructural resistente a cargas gravitacionales o de viento	29
b) Sistema estructural resistente a cargas sísmicas	30
c) Miembros estructurales	30
d) Marcos resistentes a momento	31
e) Muros estructurales	31
f) Sistemas estructurales duales	32
g) Sistemas prefabricados	32
h) Sistemas preesforzados	33
Arto. 12 – Cargas	33
Arto. 13 – Métodos de análisis estructural	34
a) Efectos de esbeltez	34

b) Geometría de vigas Tee	38
c) Disposición de la carga viva	38
d) Análisis directo de losas y vigas continuas	39
e) Análisis de primer orden	40
f) Análisis no lineal elástico de segundo orden	42
g) Análisis inelástico de segundo orden	43
h) Análisis con elementos finitos	43
Arto. 14 – Losas en una dirección	44
a) Límites de diseño	44
b) Resistencias requeridas y de diseño	45
c) Límites del refuerzo	45
d) Detallado del refuerzo	46
Arto. 15 – Losas en dos direcciones	47
a) Límites de diseño	48
b) Resistencias requeridas y de diseño	49
c) Límites del refuerzo	52
d) Detallado del refuerzo	53
e) Losa reticular con nervios en dos direcciones no preesforzadas	59
f) Losas en dos direcciones que no forman parte del sistema resistente a sismos pero que lo acompañan	59
Arto. 16 – Vigas	60
a) Límites de diseño	60
b) Resistencias requeridas y de diseño	61
c) Límites del refuerzo	62
d) Detallado del refuerzo	64
e) Losas nervadas armadas en una dirección	66
f) Vigas de gran altura	67
g) Consideraciones sismorresistentes para vigas de marcos ordinarios resistentes a momento (OMF)	67
h) Consideraciones sismorresistentes para vigas de marcos intermedios resistentes a momento (IMF)	67
i) Consideraciones sismorresistentes para vigas de marcos especiales resistentes a momento (SMF)	68
j) Vigas que no forman parte del sistema resistente a sismos pero que lo acompañan	71

Arto. 17 – Columnas	73
a) Límites de diseño	73
b) Resistencias requeridas y de diseño	73
c) Límites del refuerzo	74
d) Detallado del refuerzo	74
e) Consideraciones sismorresistentes para columnas de marcos ordinarios resistentes a momento (OMF)	76
f) Consideraciones sismorresistentes para columnas de marcos intermedios resistentes a momento (IMF)	77
g) Consideraciones sismorresistentes para columnas de marcos especiales resistentes a momento (SMF)	78
h) Columnas que no forman parte del sistema resistente a sismos pero que lo acompañan	82
Arto. 18 – Muros	83
a) Límites de diseño	83
b) Resistencias requeridas y de diseño	84
c) Límites del refuerzo	85
d) Detallado del refuerzo	86
e) Método alternativo para el análisis fuera del plano en muros esbeltos	87
a) Consideraciones sismorresistentes para muros estructurales especiales (SSW)	88
Arto. 19 – Diafragmas	96
a) Límites de diseño	96
b) Resistencia requerida	96
c) Límites del refuerzo	98
d) Detallado del refuerzo	98
e) Consideraciones sismorresistentes para diafragmas	99
Arto. 20 – Fundaciones	101
a) Fundaciones superficiales	102
b) Fundaciones profundas	103
c) Consideraciones sismorresistentes para fundaciones	104
Arto. 21 – Concreto Simple	106
a) Límites de diseño	106
b) Resistencias requeridas y de diseño	108
c) Detallado del refuerzo	109
d) Concreto ciclópeo	109

Arto. 22 – Conexiones	110
a) Conexiones entre miembros prefabricados	110
b) Conexiones a la fundación	112
c) Transferencia del corte horizontal en miembros construidos en diferentes edades sometidos a flexión	113
d) Ménsulas y cartelas	115
e) Consideraciones sismorresistentes de nodos viga-columna de marcos especiales	116
f) Conexiones en marcos especiales resistentes a momento (SMF- Prefabricado)	118
Arto. 23 – Anclajes pre y post instalados en el concreto sometidos a tracción y/o a cortante	120
a) Anclajes a tracción en zona sísmica que requieren elevada capacidad de disipación de energía	120
b) Factores de reducción de resistencia para anclajes	122
c) Diseño de anclajes a tracción	122
d) Diseño de anclajes a cortante	128
e) Interacción de las fuerzas de tracción y cortante	133
f) Distancias mínimas y críticas a borde	133
Arto. 24 – Requisitos de diseño y durabilidad para los materiales	134
a) Requisitos de diseño para el concreto	134
b) Requisitos de durabilidad para el concreto	135
c) Requisitos de diseño para el acero de refuerzo	137
d) Requisitos de durabilidad para el acero de refuerzo	139
Arto. 25 – Resistencia nominal y de diseño de las secciones de los miembros	142
a) Hipótesis para determinar la resistencia nominal de las secciones	142
b) Resistencia nominal a flexión	142
c) Resistencia nominal a fuerza axial o a fuerza axial y flexión combinadas	143
d) Resistencia nominal a cortante en una dirección	143
e) Resistencia nominal a cortante en dos direcciones	146
f) Resistencia nominal a torsión	148
g) Resistencia nominal al aplastamiento	150
h) Resistencia nominal a corte por fricción	151
i) Resistencia de diseño y factores de reducción de resistencia	152
Arto. 26 – Requisitos de funcionamiento	153
a) Deflexiones por cargas gravitacionales a nivel de servicio	153
b) Deflexiones dependientes del tiempo	154

c) Distribución del refuerzo a flexión en vigas y losas en una dirección	155
d) Refuerzo para resistir retracción y cambios de temperatura	155
e) Esfuerzos de servicio admisibles en miembros de concreto preesforzado sometidos a flexión	156
Arto. 27 – Detallado del refuerzo	157
a) Espaciamiento mínimo	157
b) Gancho estándar	158
c) Longitud de desarrollo del refuerzo	159
d) Longitud de empalme	162
e) Grupo de varillas	163
f) Refuerzo transversal	163
g) Zonas de anclaje para torones de preesforzado	164
CAPÍTULO III	166
CONSTRUCCIÓN	166
Arto. 28 – Alcance	167
a) Ley de Abrams	167
b) Ley del cemento	167
c) Ley del tiempo	168
d) Ley de la temperatura	168
Arto. 29 – Calidad de los materiales componentes del concreto	168
a) Cemento	169
b) Agua de mezclado y de curado.	170
c) Agregados.	170
Arto. 30 Acero de refuerzo	172
a) Determinación del peso lineal	174
b) Verificación del espaciamiento de los resaltes transversales	174
c) Verificación de la altura de los resaltes transversales	175
d) Verificación del ancho de los resaltes transversales	175
e) Plan de muestreo y criterio de aceptación del acero	176
f) Marcación, rotulación y embalaje del acero	176
Arto. 31 Aditivos	177

Arto. 32 Proporcionamiento de la mezcla de concreto	178
a) Selección de las proporciones	179
b) Métodos permitidos	182
c) Diseño de mezcla con base a la experiencia de campo	184
d) Diseño de mezcla con base a pruebas de laboratorio	184
e) Diseño de mezcla con base a la relación a/c	185
Arto. 33. Juntas.	185
a) Juntas de colado o construcción	186
b) Juntas de contracción	186
c) Juntas de dilatación	187
d) Consideraciones adicionales relacionadas con las juntas	187
Arto. 34. Preparación y colocación del acero	188
a) Empalmes por solape	189
b) Empalmes por soldadura	190
Arto. 35. Tuberías y conductos dentro del concreto	192
Arto. 36. Formaletas	193
Arto. 37. Mezclado	200
Arto. 38 Transporte, colocación y compactación del concreto	203
a) Transporte	203
b) Colado	204
c) Compactación	206
d) Cantidad de vibradores y sus características	206
e) Manipulación de los vibradores	207
f) Concreto colado bajo agua	207
g) Preparación de concreto en tiempo caluroso	208
h) Preparación de concreto en tiempo lluvioso	208
Arto. 39 Curado del concreto	208
a) Curado por riego	209
b) Curado por inmersión	209
c) Curado por vapor	209

Arto. 40 Desencofrado	210
Arto. 41 Calidad del concreto en la obra	211
a) Resistencia característica mínima	211
b) Edad de ensayo	212
c) Resistencia a la tracción	212
d) Homogeneidad del concreto	212
e) Consistencia del concreto	212
f) Comprobación de la calidad del concreto durante la construcción	212
g) Pruebas de especímenes curados en el campo	213
h) Pruebas de especímenes curados en el laboratorio	213
i) Investigación de los resultados de las pruebas de baja resistencia	213
Arto. 42 Prueba de carga	214
Arto. 43 Toma de muestras de concreto endurecido	216
Arto. 44 Inspección final	216



CAPITULO A
DISPOSICIONES
GENERALES PARA
EL DISEÑO
DE ESTRUCTURAS
DE ACERO

Artículo A1. Este capítulo A resume las especificaciones que han sido referencia, tomadas de códigos internacionales y estándares de diseño, y reúne los requisitos para los materiales y documentos del diseño estructural.

Se organiza este capítulo de la siguiente manera:

- A1 Alcances
- A2. Referencias: Especificaciones, códigos y estándares internacionales de diseño
- A3. Materiales para el diseño de estructuras de acero
- A4. Planos Constructivos de Diseño y Especificaciones

A1. – ALCANCES

Artículo A2. Esta Normativa se aplicará al diseño de sistemas estructurales en acero o sistemas con acero estructural, las cuales podrán actuar en estructuras compuestas con concreto armado, cuyos componentes de acero se definen en el AISC, *Code of Standard Practice for Steel Buildings and Bridges*, Sección 2.1, en lo sucesivo referida como el *Code of Standard Practice*.

Artículo A3. Esta Normativa establece criterios para el diseño, fabricación y construcción de edificios de acero estructural y otras estructuras diseñadas, fabricadas y montadas de manera semejante a los edificios en donde sus elementos resistentes a cargas gravitacionales y laterales son similares a los sistemas presentes en los edificios.

Artículo A4. Otras condiciones fuera de esta Normativa, son permitidas si el diseño se realiza bajo ensayos o análisis que demuestren resultados satisfactorios ante condiciones similares a las previstas durante la vida útil de la estructura, todo ello siendo debidamente aprobado por el MTI y las Alcaldías locales. De igual manera, se permite el uso de métodos alternativos de análisis y diseño, también bajo la debida aprobación del MTI y las Alcaldías locales.

Artículo A5. El diseño de elementos estructurales, que no correspondan a secciones tubulares HSS, así como secciones conformadas en frío, cuyos espesores son inferiores a 2,5 cm (25 mm.), deberán ser guiadas por las disposiciones del AISI *North American Specification for the Design of Cold Formed Steel Structural Members*.

1. Diseño Sismorresistente

Artículo A6. Esta Normativa considera recomendaciones del *Seismic Provisions for Structural Steel Buildings* (ANSI-AISC 341), sin embargo, mientras que no se diga lo contrario, cada sistema sismorresistente deberá cumplir con los requerimientos establecidos por dicho documento o su más reciente actualización.

A2. – REFERENCIAS: ESPECIFICACIONES, CÓDIGOS Y ESTÁNDARES INTERNACIONALES DE DISEÑO

Artículo A7. Las especificaciones, códigos y estándares internacionales en los que esta normativa se basa y hace referencia son las siguientes:

ACI International (ACI)

- ACI 318-08 *Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary*
- ACI 318M-08 *Metric Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary*

American Institute of Steel Construction (AISC)

- ANSI/AISC 360-10 *Specification for Structural Steel Buildings*
- AISC 303-10 *Code of Standard Practice for Steel Buildings and Bridges*
- ANSI/AISC 341-10 *Seismic Provisions for Structural Steel Building*

American Society of Civil Engineers (ASCE)

- ASCE/SEI/SFPE29-05 *Standard Calculation Methods for Structural Fire Protection*

American Society of Mechanical Engineers (ASME)

- ASME B18.2.6-06 *Fasteners for Use in Structural Applications*
- ASME B46.1-02 *Surface Texture, Surface Roughness, Waviness, and Lay*

American Society for Nondestructive Testing (ASNT)

- ANSI/ASNT CP-189-2006 *Standard for Qualification and Certification of Nondestructive Testing Personnel*
- Recommended Practice No. SNT-TC-1A-2006 *Personnel Qualification and Certification in Nondestructive Testing*

ASTM International (ASTM)

- A6/A6M-09 *Standard Specification for General Requirements for Rolled Structural Steel Bars, Plates, Shapes, and Sheet Piling*
- A36/A36M-08 *Standard Specification for Carbon Structural Steel*
- A53/A53M-07 *Standard Specification for Pipe, Steel, Black and Hot-Dipped, Zinc-Coated, Welded and Seamless*
- A193/A193M-08b *Standard Specification for Alloy-Steel and Stainless Steel Bolting Materials for High Temperature or High Pressure Service and Other Special Purpose Applications*
- A194/A194M-09 *Standard Specification for Carbon and Alloy Steel Nuts for Bolts for High Pressure or High Temperature Service, or Both*
- A216/A216M-08 *Standard Specification for Steel Castings, Carbon, Suitable for Fusion Welding, for High Temperature Service*
- A242/A242M-04(2009) *Standard Specification for High-Strength Low-Alloy Structural Steel*
- A283/A283M-03(2007) *Standard Specification for Low and Intermediate Tensile Strength Carbon Steel Plates*
- A307-07b *Standard Specification for Carbon Steel Bolts and Studs, 60,000 PSI Tensile Strength*
- A325-09 *Standard Specification for Structural Bolts, Steel, Heat Treated, 120/105 ksi Minimum Tensile Strength*

- A325M-09 *Standard Specification for Structural Bolts, Steel, Heat Treated 830 MPa Minimum Tensile Strength (Metric)*
- A354-07a *Standard Specification for Quenched and Tempered Alloy Steel Bolts, Studs, and Other Externally Threaded Fasteners*
- A370-09 *Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products*
- A449-07b *Standard Specification for Hex Cap Screws, Bolts and Studs, Steel, Heat Treated, 120/105/90 ksi Minimum Tensile Strength, General use*
- A490-08b *Standard Specification for Heat-Treated Steel Structural Bolts, Alloy Steel, Heat Treated, 150 ksi Minimum Tensile strength*
- A490M-08 *Standard Specification for High-Strength Steel Bolts, Classes 10.9 and 10.9.3, for Structural Steel Joints (Metric)*
- A500/A500M-07 *Standard Specification for Cold-Formed Welded and Seamless Carbon Steel Structural Tubing in Rounds and Shapes*
- A501-07 *Standard Specification for Hot-Formed Welded and Seamless Carbon Steel Structural Tubing*
- A502-03 *Standard Specification for Steel Structural Rivets, Steel, Structural*
- A514/A514M-05 *Standard Specification for High-Yield Strength, Quenched and Tempered Alloy Steel Plate, Suitable for Welding*
- A529/A529M-05 *Standard Specification for High-Strength Carbon-Manganese Steel of Structural Quality*
- A563-07a *Standard Specification for Carbon and Alloy Steel Nuts*
- A563M-07 *Standard Specification for Carbon and Alloy Steel Nuts [Metric]*
- A568/A568M-09 *Standard Specification for Steel, Sheet, Carbon, Structural, and High-Strength, Low-Alloy, Hot-Rolled and Cold-Rolled, General Requirements for A572/ A572M-07 Standard Specification for High-Strength Low-Alloy Columbium-Vanadium Structural Steel*
- A588/A588M-05 *Standard Specification for High-Strength Low-Alloy Structural Steel, up to 50 ksi [345 MPa] Minimum ield Point, with Atmospheric Corrosion Resistance*
- A606/A606M-09 *Standard Specification for Steel, Sheet and Strip, High-Strength, Low- Alloy, Hot-Rolled and Cold-Rolled, with Improved Atmospheric Corrosion Resistance*
- A618/A618M-04 *Standard Specification for Hot-Formed Welded and Seamless High- Strength Low-Alloy Structural Tubing*
- A668/A668M-04 *Standard Specification for Steel Forgings, Carbon and Alloy, for General Industrial Use*
- A673/A673M-04 *Standard Specification for Sampling Procedure for Impact Testing of Structural Steel*
- A709/A709M-09 *Standard Specification for Structural Steel for Bridges*
- A751-08 *Standard Test Methods, Practices, and Terminology for Chemical Analysis of Steel Products*
- A847/A847M-05 *Standard Specification for Cold-Formed Welded and Seamless High- Strength, Low-Alloy Structural Tubing with Improved Atmospheric Corrosion Resistance*
- A852/A852M-03(2007)*Standard Specification for Quenched and Tempered Low-Alloy Structural Steel Plate with 70 ksi [485 MPa] Minimum Yield Strength to 4 in.[100 mm] Thick*
- A913/A913M-07 *Standard Specification for High-Strength Low-Alloy Steel Shapes of Structural Quality, Produced by Quenching and Self-Tempering Process (QST)*
- A992/A992M-06a *Standard Specification for Structural Steel Shapes*
- A1011/A1011M-09a *Standard Specification for Steel, Sheet and Strip, Hot-Rolled, Carbon,*

- *Structural, High-Strength Low-Alloy, High-Strength Low-Alloy with Improved Formability, and Ultra-High Strength*
- *A1043/A1043M-05 Standard Specification for Structural Steel with Low Yield to Tensile Ratio for Use in Buildings*
- *C567-05a Standard Test Method for Determining Density of Structural Lightweight Concrete*
- *E119-08a Standard Test Methods for Fire Tests of Building Construction and Materials*
- *E165-02 Standard Test Method for Liquid Penetrant Examination*
- *E709-08 Standard Guide for Magnetic Particle Examination*
- *F436-09 Standard Specification for Hardened Steel Washers*
- *F436M-09 Standard Specification for Hardened Steel Washers (Metric)*
- *F606-07 Standard Test Methods for Determining the Mechanical Properties of Externally and Internally Threaded Fasteners, Washers, Direct Tension Indicators, and Rivets*
- *F606M-07 Standard Test Methods for Determining the Mechanical Properties of Externally and Internally Threaded Fasteners, Washers, and Rivets (Metric)*
- *F844-07a Standard Specification for Washers, Steel, Plain (Flat), Unhardened for General Use*
- *F959-09 Standard Specification for Compressible-Washer-Type Direct Tension Indicators for Use with Structural Fasteners*
- *F959M-07 Standard Specification for Compressible-Washer-Type Direct Tension Indicators for Use with Structural Fasteners (Metric)*
- *F1554-07a Standard Specification for Anchor Bolts, Steel, 36, 55, and 105 ksi Yield Strength*
- *F1852-08 Standard Specification for "Twist-Off" Type Tension Control Structural Bolt/Nut/Washer Assemblies, Steel, Heat Treated, 120/105 ksi Minimum Tensile Strength*
- *F2280-08 Standard Specification for "Twist Off" Type Tension Control Structural Bolt/Nut/Washer Assemblies, Steel, Heat Treated, 150 ksi Minimum Tensile Strength*

American Welding Society (AWS)

- *AWS A5.1/A5.1M-2004 Specification for Carbon Steel Electrodes for Shielded Metal Arc Welding*
- *AWS A5.5/A5.5M-2004 Specification for Low-Alloy Steel Electrodes for Shielded Metal Arc Welding*
- *AWS A5.17/A5.17M-1997 (R2007) Specification for Carbon Steel Electrodes and Fluxes for Submerged Arc Welding*
- *AWS A5.18/A5.18M-2005 Specification for Carbon Steel Electrodes and Rods for Gas Shielded Arc Welding*
- *AWS A5.20/A5.20M-2005 Specification for Carbon Steel Electrodes for Flux Cored Arc Welding*
- *AWS A5.23/A5.23M-2007 Specification for Low-Alloy Steel Electrodes and Fluxes for Submerged Arc Welding*
- *AWS A5.25/A5.25M-1997 (R2009) Specification for Carbon and Low-Alloy Steel Electrodes and Fluxes for Electrode Gas Welding*
- *AWS A5.26/A5.26M-1997 (R2009) Specification for Carbon and Low-Alloy Steel Electrodes for Electrode Gas Welding*
- *AWS A5.28/A5.28M-2005 Specification for Low-Alloy Steel Electrodes and Rods for Gas Shielded Arc Welding*
- *AWS A5.29/A5.29M-2005 Specification for Low-Alloy Steel Electrodes for Flux Cored Arc Welding*
- *AWS A5.32/A5.32M-1997 (R2007) Specification for Welding Shielding Gases*

- AWS B5.1-2003 *Specification for the Qualification of Welding Inspectors*
- AWS D1.1/D1.1M-2010 *Structural Welding Code—Steel* AWS D1.3 -2008 *Structural Welding Code—Sheet Steel*

Research Council on Structural Connections (RCSC)

- *Specification for Structural Joints Using High-Strength Bolts*, 2009

Artículo A8. Deberán considerarse las actualizaciones posteriores a la publicación de esta Normativa de cada una de las referencias antes mencionadas.

A3. – MATERIAL PARA EL DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE ACERO

1. Materiales para Acero Estructural

Artículo A9. El MTI y las Alcaldías locales considerarán como evidencia los informes de ensayos de materiales realizados por un fabricante o por un laboratorio de ensayos, siempre y cuando, estos se hayan realizado de acuerdo con los estándares de la norma ASTM que para cada caso corresponda.

1a. Estándares ASTM para prueba de materiales

Artículo A10. Los informes de ensayos de materiales realizados por el fabricante o por el laboratorio de ensayos deberán estar sujetos al cumplimiento de los siguientes estándares ASTM:

(1) Perfiles Estructurales Laminados en Caliente

- ASTM A36/A36M ASTM A529/A529M ASTM A572/A572M ASTM A588/A588M ASTM A709/A709M ASTM A913/A913M ASTM A992/A992M ASTM A1043/A1043M

(2) Tubos Estructurales

- ASTM A500
- ASTM A501
- ASTM A618/A618M ASTM A847/A847M

(3) Placas de Acero

- ASTM A36/A36M ASTM A242/A242M ASTM A283/A283M ASTM A514/A514M
- ASTM A529/A529M ASTM A572/A572M ASTM A588/A588M ASTM A709/A709M
- ASTM A852/A852M ASTM A1011/A1011M ASTM A1043/A1043M

(4) Barras de Acero

- ASTM A36/A36M ASTM A529/A529M ASTM A572/A572M ASTM A709/A709M

(5) Láminas de Acero

- ASTM A606/A606M
- ASTM A1011/A1011M SS, HSLAS, AND HSLAS-F

Artículo A11. Deberán considerarse las actualizaciones posteriores a la publicación de esta Normativa, de cada una de los estándares antes mencionadas.

1b. Otros aceros no incluidos en ASTM o en las referencias de esta Normativa

Artículo A12. Otros aceros no incluidos en la lista anterior o en las referencias citadas, podrán ser utilizados mientras hayan sido debidamente documentados mediante resultados satisfactorios ante pruebas con requerimientos de otros estándares internacionales aprobados por el MTI y la Alcaldía local.

1c. Perfiles Laminados y Fabricados Pesados

Artículo A13. Perfiles laminados de acero y fabricados en caliente conforme ASTM A6/A6M o equivalentes según otros estándares internacionales aceptados por el MTI y las Alcaldías locales, cuyos espesores de ala son mayores de 2" (50 mm.), se consideran perfiles laminados pesados. Estos perfiles pesados, cuando son utilizados como elementos sujetos a fuerzas de tracción, debido a solicitaciones de tracción pura o flexión, empalmados o conectados mediante soldadura de tope de penetración completa, fundida a través del ala, o del ala y el alma; deberán ser previamente ensayados al impacto mediante el ensayo de muesca en V de Charpy (CVN).

Artículo A14. En el caso de los perfiles laminados según el estándar ASTM A6/A6M, *Supplementary Requirements S30, Charpy V Notch Impact Tests for Structural Shapes – Alternate Core Location*, satisfacer un promedio mínimo de 20 libras-pie (27J) de energía absorbida a una temperatura máxima de +70°F (21°C). Estos requisitos no son aplicables a empalmes y conexiones apernadas.

Artículo A15. En el caso de los perfiles fabricados según el estándar ASTM A6/A6M, *Supplementary Requirements S5, Charpy V Notch Impact Tests*, cuyo ensayo de impacto deberá realizarse de acuerdo con el estándar ASTM A673/A673M, frecuencia P, satisfacer un promedio mínimo de 20 libras-pie (27J) de energía absorbida a una temperatura máxima de +70°F (21°C).

2. Pernos, arandelas y tuercas

Artículo A16. El material para la fabricación de pernos, arandelas y tuercas deberá satisfacer los siguientes estándares u otros estándares internacionales aprobados por el MTI y la Alcaldía local.

(1) Pernos

ASTM	A307
ASTM	A325
ASTM	A325M
ASTM	A354
ASTM	A449
ASTM	A490
ASTM	A490M
ASTM	F1852
ASTM	F2280

(2) Tuercas

ASTM	A194/A194M
ASTM	A563
ASTM	A563M

(3) Arandelas

ASTM	F436
ASTM	F436M
ASTM	F844

(4) Arandelas Compresibles de Indicación de Tensión Directa

ASTM	F959
ASTM	F959M

Artículo A17. Deberán considerarse las actualizaciones posteriores a la publicación de esta Normativa en cada uno de los estándares antes mencionados.

Artículo A18. Las certificaciones de conformidad de los estándares de los fabricantes, constituirán evidencia suficiente para las consideraciones de aceptación de parte del MTI y las Alcaldías locales.

3. Barras de Anclaje y Barras con Hilo

Artículo A19. Las barras de anclaje y las barras con hilo deberán ser fabricadas de acuerdo a cualquiera de los siguientes estándares ASTM u otro estándar internacional aprobado por el MTI y la Alcaldía local:

ASTM	A36/A36M
ASTM	A193/A193M
ASTM	A354
ASTM	A449
ASTM	A572/A572M
ASTM	A588/A588M
ASTM	F1554

Artículo A20. Deberán considerarse las actualizaciones posteriores a la publicación de esta Normativa en cada uno de los estándares antes mencionados.

Artículo A21. Las certificaciones de conformidad de los estándares de los fabricantes, constituirán evidencia suficiente para las consideraciones de aceptación de parte del MTI y las Alcaldías locales.

4. Insumos para Soldaduras

Artículo A22. Deberá considerarse como metal de relleno y revestimiento todo aquel que satisfaga cualquiera de las siguientes especificaciones de la American Welding Society:

AWS	A5.1
AWS	A5.5
AWS	A5.17/A5.17

AWS	A5.18
AWS	A5.20
AWS	A5.23/A5.23M
AWS	A5.25/A5.25M
AWS	A5.26/A5.26M
AWS	A5.28
AWS	A5.29
AWS	A5.32/A5.32M

Artículo A23. Deberán considerarse las actualizaciones posteriores a la publicación de esta Normativa en cada uno de los estándares antes mencionados.

Artículo A24. Las certificaciones de conformidad de los estándares de los fabricantes, constituirán evidencia suficiente para las consideraciones de aceptación de parte del MTI y las Alcaldías locales.

A4. – PLANOS CONSTRUCTIVOS DE DISEÑO Y ESPECIFICACIONES

Artículo A25. Los planos constructivos de diseño y las especificaciones deberán cumplir los requisitos establecidos en el *Code of Standard Practice for Steel Buildings and Bridges* o su más reciente actualización

Artículo A26. Los planos y los dibujos de la edificación deben mostrar la totalidad del sistema estructural, con las dimensiones, las secciones y la ubicación de todos los elementos, componentes y uniones, así como los siguientes aspectos:

- a. Indicación de los sistemas sismorresistentes.
- b. Identificación de los elementos y conexiones que forman parte de los sistemas sismorresistentes.
- c. Ubicación y dimensiones de las zonas protegidas.
- d. Configuración de las uniones.
- e. Especificación de los materiales de unión y sus dimensiones.
- f. Ubicación de las soldaduras críticas por demanda.
- g. Ubicaciones donde es requerido remover el respaldo de soldadura.
- h. Ubicación donde es requerida soldadura de filete cuando no se remuevan los respaldos de soldadura.
- i. Ubicación donde es requerido reforzar soldaduras de penetración con soldaduras de filete.
- j. Ubicación donde es requerido remover las placas de extensión de la soldadura.
- k. Ubicación de empalmes donde es requerido realizar transiciones graduales.
- l. Geometría de perforación de acceso.
- m. Cualquier otra información relevante o indicaciones que sean esenciales y que tengan que ser del conocimiento del profesional inspector.

Artículo A27. Los componentes de estructuras que formen parte de los sistemas sismorresistentes, deben contar con sus respectivos planos de taller y montaje antes de proceder a su fabricación y erección. Será deber del profesional responsable de la construcción, elaborar los planos de taller y montaje, pero es obligación del profesional responsable de la inspección verificar que estos contengan

la información requerida. Adicionalmente, cuando corresponda, estos planos de taller deberán mostrar la siguiente información:

- a. Planos de corte o despiece con sus tolerancias correspondientes.
- b. Preparación de bordes para soldaduras.
- c. Ubicación de perforaciones para pernos.
- d. Ubicación de accesorios para montaje.
- e. Secuencia de armado y soldadura de piezas.
- f. Procedimiento, técnica y secuencia de soldadura.
- g. Preparación de superficie para pintura.
- h. Planos y secuencia de montaje.

Artículo A28. Los planos de taller, fabricación, pintura de taller y montaje deberán satisfacer cada uno de los requisitos estipulados en el Capítulo M, Fabricación y Montaje del ANSI/AISC 360-10 *Specification for Structural Steel Buildings, del American Institute of Steel Construction (AISC)*.

Artículo A29. Los métodos para el control de calidad y el aseguramiento de la calidad deberán satisfacer los requisitos estipulados en el Capítulo N, Control de Calidad y Aseguramiento de la Calidad del ANSI/AISC 360-10 *Specification for Structural Steel Buildings, del American Institute of Steel Construction (AISC)*.



CAPITULO B **REQUISITOS DE ANÁLISIS Y DISEÑO SISMORRESISTENTE**

Artículo B1. En este capítulo se presentan los requisitos generales para el análisis y diseño de estructuras de acero, que son aplicables a todos los capítulos de esta Normativa.

La organización del presente capítulo es la siguiente:

- B1. Disposiciones generales
- B2. Cargas y Combinaciones de Cargas
- B3. Bases de Diseño Estructural
- B4. Propiedades de las secciones.
- B5. Requisitos de Sismorresistencia

B1. – DISPOSICIONES GENERALES

Artículo B2. Deberá existir una plena relación entre el diseño de los elementos y sus conexiones de acuerdo con el comportamiento que se espera que tenga el sistema estructural y las hipótesis hechas en el análisis estructural. En caso que no se especifique lo contrario dentro de esta Normativa, se podrá hacer uso de cualquier combinación de elementos y conexiones como aporte a la resistencia y a la estabilidad de la estructura.

B2. – CARGAS Y COMBINACIONES DE CARGAS

Artículo B3. Las cargas y combinaciones de cargas requeridas para el análisis y diseño de estructuras de acero están contenidas en el Reglamento Nacional de la Construcción vigente que complementa esta Normativa de Diseño en Acero Estructural.

B3. – BASE DE DISEÑO ESTRUCTURAL

Artículo B4. El diseño estructural de toda obra de acero se realizará de acuerdo a los lineamientos contenidos en la metodología de *Diseño con Factores de Carga y Resistencia* (LRFD). Otras metodologías como el *Diseño por Esfuerzos Permisibles* (ASD) estarán sujetas a la aceptación del MTI o las Alcaldías locales para revisión y aprobación del diseño estructural.

Artículo B5. Esta Normativa hará uso de las expresiones de cálculo determinadas para la metodología de diseño LRFD, pero podrán encontrarse sus equivalencias en ASD en el ANSI/AISC 360-10 *Specification for Structural Steel Buildings*, del American Institute of Steel Construction (AISC).

1. Resistencia Necesaria

Artículo B6. La resistencia necesaria en los elementos estructurales y sus conexiones será determinada mediante análisis estructural ante las combinaciones de carga requeridas en la Sección B2

2. Estados Límites

Artículo B7. Los límites de resistencia o de servicio no deberán ser excedidos en ningún momento cuando la estructura sea sometida a las combinaciones de carga requeridas en la Sección B2.

Artículo B8. Los requerimientos de diseño deberán estar basados en resistencias nominales, en lugar de resistencias de diseño, a menos que sea indicado de otra forma.

3. Diseño por Resistencia

Artículo B9. El diseño estructural debe satisfacer que la *resistencia de diseño* de cada componente estructural sea mayor o igual a la *resistencia necesaria* determinada de acuerdo a las combinaciones de carga del Reglamento Nacional de la Construcción vigente.

El diseño se realizará de acuerdo con la ecuación B3-1:

$$R_u \leq \phi \cdot R_n \quad (B3-1)$$

Donde:

R_u = resistencia requerida

R_n = resistencia nominal, según se especifica en los Capítulos B a K

ϕ = factor de resistencia, según se especifica en los Capítulos B a K

ϕR_n = resistencia de diseño

4. Diseño por Estabilidad Estructural

Artículo B10. La estabilidad de la estructura en general y de cada uno de sus elementos se determinará de acuerdo a las indicaciones del Capítulo C.

5. Diseño de Conexiones

Artículo B11. Se hará uso de las disposiciones descritas en esta normativa, así como las presentes en los Capítulos J y K del ANSI/AISC 360-10 *Specification for Structural Steel Buildings*, para el diseño de los elementos de conexión, en donde es de especial importancia que las fuerzas y deformaciones de diseño sean completamente consistentes con el desempeño esperado de la unión y las hipótesis previstas del análisis estructural.

5a. Conexiones Simples

Artículo B12. Toda conexión simple considerada en la estructura, deberá contar con la suficiente capacidad de rotación para poder lograr que el sistema estructural pueda experimentar las rotaciones determinadas en el análisis estructural. La capacidad de soportar momento en estas conexiones deberá considerarse despreciables.

5b. Conexiones de Momento

Artículo B13. Están permitidas dos tipos de conexiones de momento, las cuales consideran los siguientes requerimientos:

(a) Conexiones Completamente Restringidas (FR)

Toda conexión de momento completamente restringida (FR) deberá transmitir momento con una rotación despreciable entre los elementos conectados. En el análisis de la estructura deberá suponerse que la conexión no permite la rotación relativa, además, deberá tener suficiente resistencia y rigidez para mantener el ángulo entre los elementos conectados bajo los estados límites resistentes.

(b) Conexiones Parcialmente Restringidas (PR)

Toda conexión de momento parcialmente restringida (PR) deberá transmitir momento con una rotación no despreciable entre los elementos conectados. En el análisis estructural, se deberá considerar la relación fuerza deformación de la conexión. Las curvas características de estas conexiones deberán provenir de referencias técnicas o en su defecto ser determinadas analíticamente o experimentalmente; todas ellas aprobadas por el MTI y las Alcaldía locales. Los elementos componentes de una conexión deberán tener suficiente resistencia y rigidez para mantener el ángulo entre los elementos conectados bajo los estados límites resistentes.

6. Análisis y Diseño a Fatiga

Artículo B14. Los elementos y conexiones sometidas a cargas repetidas tendrán que ser verificadas ante los efectos de la fatiga, según las indicaciones del Anexo 3 del ANSI/AISC 360-10 *Specification for Structural Steel Buildings*.

7. Diseño ante Incendio

Artículo B15. El Diseño Estructural ante Condiciones de Incendio deberá ser hecho para edificaciones del Grupo A, o bien estructuras que albergan más de 1000 personas en un preciso instante, siguiendo los requerimientos plasmados en el Anexo 4 del ANSI/AISC 360-10 *Specification for Structural Steel Buildings*.

8. Diseño para Efectos de la Corrosión

Artículo B16. Toda estructura ubicada en ambientes salinos o ambientes agresivos, en donde los procesos de corrosión pueden afectar la integridad de la estructura y por ende la disminución de su capacidad estructural, deberá ser diseñada para compensar las pérdidas de espesor por corrosión o bien garantizar su protección. En estas estructuras, se deberá garantizar el acceso y visión de los sistemas estructurales para dar seguimiento de sus condiciones.

9. Diseño para Elementos de Sección Compuesta

Artículo B17. El Diseño Estructural de elementos actuando en sección compuesta deberá ser hecho siguiendo los requerimientos plasmados en ANSI/AISC 360-10 *Specification for Structural Steel Buildings* o actualización más reciente.

Artículo B18. Para el concreto que forme parte de la sección compuesta se deberá considerar la sección agrietada cuando el concreto se encuentre en tracción y la sección completa cuando el concreto se encuentre en compresión.

B4. – PROPIEDADES DE LOS ELEMENTOS

1. Clasificación de las secciones según pandeo local.

Artículo B19. Para elementos con una sección no esbelta, la razón ancho-espesor de sus elementos comprimidos no debe de exceder los valores λ_r , de la tabla B1. Si la razón ancho espesor de cualquier elemento en compresión excede el valor λ_r , la sección se considera esbelta.

Artículo B20. Para flexión, las secciones se clasifican como compactas, no compactas y esbeltas. Para que una sección califique como compacta, sus alas deben de estar continuamente conectadas al alma o bien a las almas cuando se trate de secciones tipo cajón o secciones especiales, y la razón ancho-espesor de sus elementos comprimidos no debe de exceder la razón ancho-espesor λ_p de la tabla B2.

Artículo B21. Si la razón ancho espesor de algunos de los elementos comprimidos excede λ_p , pero sin superar λ_r de la tabla B2, la sección se considera no compacta. Si la razón ancho-espesor de cualquier elemento comprimido excede λ_r , la sección se considera como esbelta.

Artículo B22. Cuando existan alas de espesor variable en secciones laminadas, el espesor deberá ser el valor promedio entre el espesor del lado libre y el espesor medido en la cara del alma.

2. Espesor de Diseño para Secciones HSS.

Artículo B23. El espesor de diseño t , de secciones tubulares (HSS), será igual a 0,93 veces el espesor nominal para secciones HSS soldadas mediante resistencia eléctrica (ERW), e igual al espesor nominal para secciones HSS soldadas por medio de arco sumergido (SAW).

3. Determinación del Área Neta

3a. Área Neta

Artículo B24. Mientras que el área bruta de un miembro, A_g , corresponde al área total de la sección transversal, el área neta, A_n , representa la suma de los productos de los espesores por sus respectivos anchos netos.

Artículo B25. En secciones donde no existan perforaciones el área neta, A_n , es igual al área bruta, A_g .

Tabla B1. Razones Ancho-Espesor: Elementos en Compresión.
Elementos Sujetos a Compresión Axial

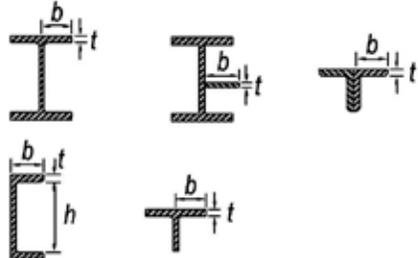
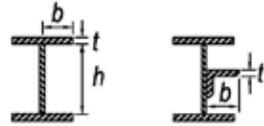
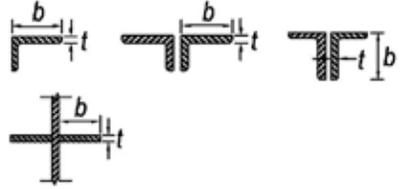
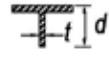
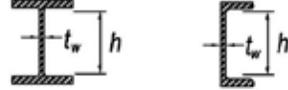
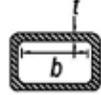
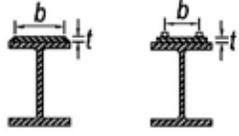
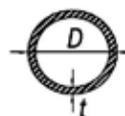
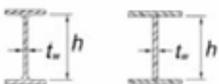
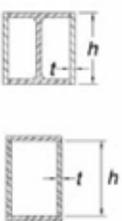
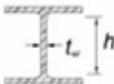
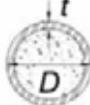
Caso	Descripción del elemento	Razón Ancho-Espesor	Límite de la razón Ancho-Espesor λ , (Esbelto-No Esbelto)	Esquema de Sección	
Elementos No-Atiesados	1	Alas de perfiles laminados, placas conectadas a perfiles laminados, alas de pares de angulares conectados continuamente, alas de canales y alas de secciones T	b/t	$0.56 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	2	Alas de perfiles I soldados y placas o angulares conectados a secciones soldadas.	b/t	$0.64 \sqrt{\frac{k_c E}{F_y}}$ [a]	
	3	Alas de perfiles angulares laminados; alas de pares de angulares con separadores y todo tipo de elementos no atiesados	b/t	$0.45 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	4	Almas de secciones T	d/t	$0.75 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
Elementos Atiesados	5	Almas de secciones I con doble simetría y secciones canal.	h/t	$1.49 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	6	Paredes de secciones HSS rectangulares y cajones de espesor uniforme	b/t	$1.40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	7	Alas de sobre placas y placas diafragma entre líneas de conectores o soldadura	b/t	$1.40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	8	Todo elemento atiesador	b/t	$1.49 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	9	Tubos circulares.	D/t	$0.11 \frac{E}{F_y}$	

Tabla B3. (continuación) Razones Ancho-Espesor: Elementos en Compresión debido a Carga Axial y Flexión para Elementos con Ductilidad Adecuada (SDA) y Ductilidad Especial (SDE)

	Descripción del Elemento	Razón Ancho-Espesor	Límite de la Razón Ancho- Espesor		Esquema de Sección
			λ_{hd} SDE	λ_{hd} SDE	
Elementos Atiesados	Almas de secciones I laminadas y de sección soldada usadas como columnas y vigas ^[d]	h/t_w	Para $C_a \leq 0.125$ $2.45\sqrt{(E/F_y)} (1-0.93C_a)$ Para $C_a > 0.125$ $0.77\sqrt{(E/F_y)} (2.93 - C_a)$ $\geq 1.49\sqrt{(E/F_y)}$	Para $C_a \leq 0.125$ $3.76\sqrt{(E/F_y)} (1-2.75C_a)$ Para $C_a > 0.125$ $1.12\sqrt{(E/F_y)} (2.33 - C_a)$ $\geq 1.49\sqrt{(E/F_y)}$	
	Placas alma de secciones cajón de perfiles I laminados usados como vigas y columnas.	h/t	Donde $C_a = \frac{Pu}{\phi_c P_y}$	Donde $C_a = \frac{Pu}{\phi_c P_y}$	
	Almas de secciones cajón soldadas usadas como vigas y columnas	h/t			
	Almas de secciones pilotes - H	h/t_w	$0.94 \sqrt{(E/F_y)}$	No aplica	
	Paredes de secciones circulares HSS	D/t	$0.038E / F$	$0.044E / F_y$ ^[e]	
Sección Comp.	Paredes de secciones rectangulares rellenas de concreto	b/t	$1.4\sqrt{(E/F_y)}$	$2.26 \sqrt{(E/F_y)}$	
	Paredes de secciones circulares rellenas de concreto	D/t	$0.076E/F_y$	$0.15E/F_y$	

[a] Para secciones tipo T sujetas a compresión, el límite de la razón ancho-espesor para SDE para el alma de la T puede ser incrementado a $0.38 \sqrt{(E/F_y)}$ si ningunas de las siguientes condiciones son satisfechas:

(1) El pandeo de los elementos a compresión ocurre en el plano del alma.

(2) La carga de compresión axial es transferida al extremo de la conexión a solo la cara exterior del ala de la sección T resultando una conexión excéntrica que reduce el esfuerzo de compresión en la punta del alma.

[b] El límite de la razón ancho-espesor de alas de secciones I laminadas y soldadas en sección cajón de columnas en Sistemas SMF deben no exceder $0.6\sqrt{(E/F_y)}$.

[c] El límite de la razón ancho-espesor de paredes de secciones rectangulares HSS, alas de secciones I soldadas en sección cajón usadas como vigas y columnas deberá no exceder $1.12\sqrt{(E/F_y)}$.

[d] Para secciones I de vigas de Sistemas SMF, donde C_a es menos o igual a 0.125, el límite de la razón ancho-espesor h/t_w deberá no exceder $2.45\sqrt{(E/F_y)}$. Para secciones I de vigas de Sistemas IMF, donde C_a es menos o igual a 0.125, el límite de la razón ancho-espesor deberá no exceder $3.76\sqrt{(E/F_y)}$.

[e] El límite de la razón diámetro-espesor para secciones HSS usadas como vigas o columnas, deberá no exceder $0.07E/F_y$.

Tabla B4. Ductilidad para diferentes sistemas sismorresistentes y Ductilidad del Sistema Global

		Sistema Estructural	Ductilidad del Sistema Sismorresistente	Ductilidad del Sistema Global	Altura máxima	Notas específicas
Sistemas estructurales conformados con elementos de acero estructural	Sistemas no arriostrados	OMF	-	1.5 o 1.0	3 pisos o 10 m	a y b
		IMF	SDA	Según tabla 2.2	3 pisos o 10 m	c
		SMF	SDE	Según tabla 2.2	-	-
		STMF	SDE	Según tabla 2.2	-	-
	Sistemas arriostrados	OCBF	SDA	Según tabla 2.2	3 pisos o 10 m	a, c y g
		SCBF	SDE	Según tabla 2.2	-	d y f
		EBF	SDE	Según tabla 2.2	-	e y f
		SPSW	SDE	Según tabla 2.2	-	e y f

Notas específicas:

- a. Los sistemas OMF y OCBF, según la tabla B4, tienen una ductilidad global efectiva de 1.5, excepto si presentan una irregularidad severa, en cuyo caso sería 1.0.
- b. Los sistemas estructurales OMF deberán cumplir con:
 1. La carga permanente a nivel de techo para edificaciones de 1 nivel o en los entrepisos para edificaciones de más niveles, no puede ser mayor a 95 kg/m^2 .
 2. Pueden ser utilizados en edificaciones de varios niveles con una altura máxima de 10 m en su parte más alta, siempre y cuando la carga permanente de entrepiso y techo no exceda 95 kg/m^2 .
- c. Los sistemas estructurales IMF y OCBF deberán cumplir con:
 1. La carga permanente a nivel de techo para edificaciones de 1 nivel o en los entrepisos para edificaciones de más niveles, no puede ser mayor a 95 kg/m^2 .
 2. Pueden ser utilizados en edificaciones de varios niveles con una altura máxima de 10 m en su parte más alta.
- d. La ductilidad global efectiva del sistema será la indicada en la tabla B5, pero no puede ser mayor que 3.
- e. Para determinar la ductilidad global efectiva de sistemas estructurales tipo muro EBF o SPSW, se permite utilizar las disposiciones para estructuras arriostradas de la tabla B5.

- f. Para cualquier sistema estructural, queda prohibido el uso de sistemas de arriostramiento tipo “K”.

Tabla B5. Ductilidad global efectiva para diferentes sistemas sismorresistentes

Configuración estructural	Sistema Estructural	Ductilidad local	Ductilidad Global Efectiva (a utilizarse para la obtención de Espectros de diseño)	
			Edificaciones regulares	Edificaciones irregulares
Sistemas no arriostrados	OMF	–	1.5	1
	IMF	SDA	3	2
	SMF	SDE	5	3
	STMF	SDE	5	3
Sistemas arriostrados	OCBF	SDA	1.5	1
	SCBF	SDE	3	2
	EBF	SDE	4	3
	SPSW	SDE	4	3

Artículo B41. Los sistemas estructurales compuestos por medio de perfiles de acero laminado en frío, podrán ser utilizados únicamente en edificaciones de uno o dos niveles con una altura máxima de 10 m en su parte más alta, y cuya carga permanente de entrepiso y techo no exceda 90 kg/m². A las edificaciones con perfiles estructurales de laminado en frío se les deberá asignar una ductilidad global efectiva de 1.

Artículo B42. En caso de utilizarse combinaciones de sistemas sismorresistentes, la ductilidad global asignada deberá ser la menor de las ductilidades globales calculadas de forma independiente para cada sistema sismorresistente.

Artículo B43. A partir de su geometría, disposición de masas concentradas y distribución de rigideces, considerando las disposiciones del Reglamento Nacional de la Construcción vigente, se medirá el nivel de irregularidad en planta y elevación de la edificación, tomándose adicionalmente las limitantes de la Tabla B6 según la importancia de la obra.

Tabla B6. Limitaciones de estructuración^a

Importancia de la Edificación	Requerimiento del Sistema Dúctil	Irregularidad Grave
Grupo A	SDE	Prohibida
Grupo B	SDA o SDE	Permitida
Grupo C	SDA	Permitida

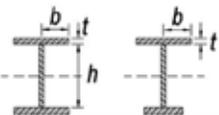
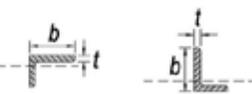
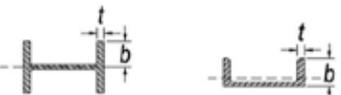
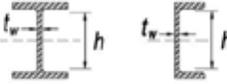
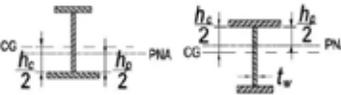
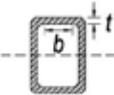
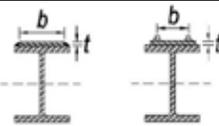
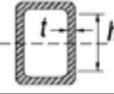
a. Deberá demostrarse claramente que los efectos torsionales son incluidos dentro del análisis y el cálculo estructural

Artículo B44. Si el cálculo estructural de la edificación se basa en un análisis elástico, las propiedades de rigidez de los elementos sismorresistentes de acero deberán basarse en las propiedades de la sección elástica. En aquellas secciones que puedan alcanzar pandeos locales se deberá considerar los anchos efectivos para el cálculo de la sección efectiva elástica.

Artículo B45. Los métodos permitidos para el análisis estructural de edificaciones de acero son los presentados y aceptados por el Reglamento Nacional de la Construcción vigente.

Artículo B46. Se podrán utilizar métodos alternativos de análisis no lineales que permitan estimar la respuesta inelástica de la estructura y evaluar el desempeño de la misma. Estos métodos pueden ser el Método de capacidad espectral y el Método no lineal dinámico de respuesta en el tiempo, pero su uso queda sujeto a un respaldo técnico sólido ante las entidades rectoras de la construcción nicaragüense que así lo soliciten previo a las aprobaciones del proyecto de edificación.

Tabla B2. Razones Ancho-Espesor: Elementos en Compresión debido a Carga Axial o Flexión

Caso	Descripción del elemento	Razón Ancho-Espesor	Límite de la Razón Ancho-Espesor		Esquema de Sección	
			λ_p (compacto-no compacta)	λ_c (esbelto-no esbelto)		
Elementos No-Atiesados	10	Flexión en alas de perfiles I laminados, canales y perfiles T.	b/t	$0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.0 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	11	Alas de secciones I soldadas con doble y simple simetría.	b/t	$0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$0.95 \sqrt{\frac{K_c E}{F_L}}$ ^{[a] [b]}	
	12	Alas de angulares simples	b/t	$0.54 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$0.91 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	13	Alas de toda doble T y canal en torno a su eje más débil.	b/t	$0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.0 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	14	Almas de secciones T	d/t	$0.84 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.03 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
Elementos Atiesados	15	Almas de doble T simétricas y canales.	h/t_w	$3.76 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$5.70 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	16	Almas de secciones doble T con un solo eje de simetría.	h/t	$\frac{n_y \sqrt{E}}{h_x \sqrt{F_y}} \leq \lambda_c$ ^[c]	$5.70 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	17	Alas de secciones tubulares y secciones cajón de espesor uniforme.	b/t	$1.12 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	18	Alas de sobre planchas y planchas diafragma entre líneas de conectores y soldadura.	b/t	$1.12 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	19	Almas de tubos rectangulares y secciones cajón.	h/t	$2.42 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$5.70 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
20	Tubos redondos.	D/t	$0.07 \frac{E}{F_y}$	$0.31 \frac{E}{F_y}$		

^[a] $K_c = 4/\sqrt{h/t_w}$, pero no deberá ser tomado menor que 0.35 ni mayor a 0.76.

^[b] $F_L = 0.7F_y$ para la flexión en el eje menor, el eje mayor en flexión de elementos esbeltos de secciones soldadas tipo I y ejes mayores en flexión de elementos compactos o no compactos de secciones soldadas tipo I con $S_{xt}/S_{xc} \geq 0.7$; $F_L = F_y S_{xt}/S_{xc} \geq 0.5F_y$ para el eje mayor en flexión de secciones compactas y no compactas de secciones soldadas tipo I con $S_{xt}/S_{xc} < 0.7$.

B5. – REQUISITOS DE SISMORRESISTENCIA

Artículo B26. Los elementos de sistemas sismorresistentes constituidos por marcos, marcos arriostrados y muros estructurales deben cumplir con las disposiciones del ANSI/AISC 360-10 y lo que en este Reglamento se estipule.

Artículo B27. La demanda sísmica para el cálculo sismorresistente de edificaciones de acero será conforme a la determinada mediante el Reglamento Nacional de la Construcción vigente, en su norma referente a sismo.

Artículo B28. Se hará uso de las combinaciones de carga establecidas por el Reglamento Nacional de la Construcción vigente, así como las exigencias en el control de las derivas.

Artículo B29. Se deberá brindar protección a los elementos, componentes y uniones frágiles presentes en la estructura manteniendo un comportamiento elástico de éstos, permitiendo el desarrollo de la ductilidad global de los sistemas sismorresistentes previstos en la edificación, sin que la respuesta global de los sistemas sismorresistentes sea limitada por los elementos, componentes y uniones frágiles. Se recomienda utilizar el diseño por capacidad estructural.

Artículo B30. Deberá considerarse como elemento, componente o unión frágil cuando éstos sean incapaces de mantener el 80% de su capacidad máxima al momento de que sus deformaciones exceden el doble de las deformaciones ocurridas al límite de cedencia. Estos elementos para mantenerse dentro del rango elástico durante los sismos deberán ser diseñados bajo el incremento de la acción sísmica resultante del análisis estructural por un factor de 1.8 para elementos horizontales o 1.8 veces la ductilidad global efectiva mostrada en la tabla **XXX para elementos verticales.**

Artículo B31. Se evitará el uso de elementos, componentes o uniones frágiles en edificaciones localizadas en la Zona C del Reglamento Nacional de la Construcción vigente o donde los resultados de estudios de amenaza sísmica arrojen valores de PGA mayores o iguales a 0.22g o que las condiciones de sitio resulten ser amplificadoras de las ondas sísmicas pudiéndose esperar aceleraciones mayores a las indicadas en el Mapa de Amenaza Sísmica del Reglamento Nacional de la Construcción vigente.

Artículo B32. Edificaciones nuevas en donde su estabilidad estructural dependa de sistemas estructurales frágiles serán prohibidas en el territorio nacional, así como obras existentes con sistemas de este tipo que formen parte del Grupo A, o del Grupo B cuando éstas alberguen durante su operación más de 1000 personas; deberán ser readecuadas estructuralmente mediante la incorporación de sistemas sismorresistentes calculados con este Reglamento.

Artículo B33. Se considera como resistencia requerida de los sistemas sismorresistentes de la edificación, la mayor de las siguientes resistencias dadas por la carga última del análisis estructural proveniente de las combinaciones de carga estipuladas en el Reglamento Nacional de la Construcción vigente o algún otro requerimiento de resistencia requerida estipulado por este Reglamento, entre ellos la resistencia requerida derivada según los principios de diseño por capacidad, en donde se supone que las deformaciones inelásticas generadas por el análisis sísmico, estarán concentradas en ciertos elementos considerados parte del sistema sismorresistente principal.

Artículo B34. Otros elementos sismorresistentes no descritos en el Artículo B29 deberán ser capaces de soportar las fuerzas impuestas por los elementos descritos en dicho Artículo B29 en una condición plastificada y endurecidos por la deformación experimentada.

Artículo B35. Deberá tomarse la resistencia de diseño como ϕR_n , donde R_n es la resistencia nominal. La resistencia de diseño de los elementos sismorresistentes y no sismorresistentes deberá ser determinada de acuerdo al AISC 360-10 o su actualización, o bien, en conformidad a este Reglamento cuando se especifique otro procedimiento.

Artículo B36. La estructuración de la edificación podrá realizarse por medio de ejes estructurales de resistencia, conformados por marcos no arriostrados, marcos arriostrados, muros de corte o combinaciones de estos. Estos ejes estructurales de resistencia deberán estar presentes en cada dirección principal de la edificación y deberán cumplir los requerimientos contemplados en este Reglamento.

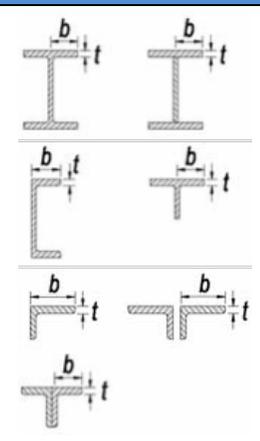
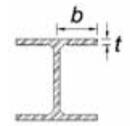
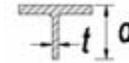
Artículo B37. Deberá procurarse que los elementos de los sistemas sismorresistentes que se calculen bajo el cumplimiento de este Reglamento, sean capaces de desarrollar deformaciones inelásticas al momento de ser sometidos a la demanda sísmica que el Reglamento Nacional de la Construcción vigente estipule. Para ello, este Reglamento, establece una clasificación de sistemas estructurales, denominados como: Sistemas con Ductilidad Adecuada (SDA) y Sistemas con Ductilidad Especial (SDE).

Artículo B38. Las secciones estructurales que dan lugar, tanto a los sistemas SDA como a los sistemas SDE, deben estar conformadas por alas conectadas de manera continua al alma, dando restricción contra el pandeo local de la sección estructural.

Artículo B39. La Ductilidad del Sistema Global de la Estructura (DSG) dependerá si la edificación presenta sistemas SDA o SDE y de su irregularidad definida según las previsiones del Reglamento Nacional de la Construcción vigente.

Artículo B40. Para la caracterización de las secciones de acero, en sistemas SDA o sistemas SDE, se establecen las limitaciones en razón de esbeltez que se presentan en la tabla B3. Las limitaciones de uso y determinación de requerimientos y valores de ductilidad de sistemas sismorresistentes, se presentan en la tabla B4 y B5 respectivamente.

Tabla B3. Razones Ancho-Espesor: Elementos en Compresión debido a Carga Axial y Flexión para Elementos con Ductilidad Adecuada (SDA) y Ductilidad Especial (SDE)

	Descripción del Elemento	Razón Ancho-Espesor	Límite de la Razón Ancho- Espesor		Esquema de Sección
			λ_{hd} SDE	λ_{md} SDA	
Elementos No-Atiesados	Alas de secciones I laminadas y de sección soldada, canales y sección tipo T; alas de angulares simples o dobles con separadores; alas de pares de angulares con unión continua	b/t	$0.30 \sqrt{E / F_y}$	$0.38 \sqrt{E / F_y}$	
	Alas de secciones pilotes - H	b/t	$0.45 \sqrt{E / F_y}$	No aplica	
	Almas de secciones tipo T	d/t	$0.30 \sqrt{E / F_y}^{[a]}$	$0.38 \sqrt{E / F_y}$	
Elementos Atiesados	Paredes de secciones rectangulares HSS	b/t	$0.55 \sqrt{E / F_y}^{[b]}$	$0.64 \sqrt{E / F_y}^{[c]}$	
	Alas de secciones cajón de perfiles I laminados y de sección soldada en cajón	b/t			
	Placas alma de secciones cajón de perfiles I laminados	h/t			
	Almas de secciones I laminadas y de sección soldada, usadas como arriostramiento diagonal.	h/t _w			



CAPITULO C
**REQUERIMIENTOS
PARA ESTABILIDAD
ESTRUCTURAL**

Artículo C1. Este capítulo contiene los requerimientos para lograr la estabilidad estructural. Se organiza este capítulo de la siguiente manera:

- C1. Requerimientos Generales para la Estabilidad Estructural
- C2. Determinación de la Resistencia Requerida
- C3. Determinación de la Resistencia Disponible

C1. – REQUERIMIENTOS GENERALES PARA ESTABILIDAD ESTRUCTURAL

Artículo C2. Se deberá suministrar estabilidad total a la estructura, así como a todos los elementos y componentes que la conforman, considerando:

- (1) Deformaciones por flexión, corte y esfuerzo axial, y cualquier otro tipo de deformación que pueda generar desplazamiento a la estructura.
- (2) Efectos de segundo orden ($P-\Delta$ y $P-\delta$)
- (3) Imperfecciones geométricas presentes.
- (4) Reducción de la rigidez producto del incursionamiento inelástico.
- (5) Incertidumbres de cualquier tipo, principalmente durante la determinación de la rigidez y la resistencia estructural.

Artículo C3. Son aceptados todos los métodos racionales de verificación o determinación de estabilidad estructural que consideren todos los efectos presentados en el párrafo anterior; estos pueden ser:

Artículo C4. Con el método Directo se determinará la resistencia requerida según la Sección C2, así como la resistencia disponible según Sección C3, siendo este método permitido para todo tipo de estructura.

Artículo C5. El método de la longitud efectiva y el método de análisis de primer orden, presentados en el Apéndice 7 del ANSI/AISC 360-10 *Specification for Structural Steel Buildings, del American Institute of Steel Construction (AISC)*, son permitidos cuando se satisfagan las condiciones que se detallan en dicho anexo.

Artículo C6. Estructuras diseñadas o verificadas por medio de métodos de análisis inelástico, deberán cumplir las disposiciones del Anexo 1 del ANSI/AISC 360-10 *Specification for Structural Steel Buildings, del American Institute of Steel Construction (AISC)*

C2. – DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA REQUERIDA

Artículo C7. En el método diseño de análisis directo, la resistencia requerida de cada elemento y componente de la estructura deberá determinarse por medio de un análisis en conformidad con las Secciones C2.1, C2.2 y C2.3 del ANSI/AISC 360-10 *Specification for Structural Steel Buildings, del American Institute of Steel Construction (AISC)*.

C3. – DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA DISPONIBLE

Artículo C8. En el método directo, la resistencia disponible de los elementos y componentes estructurales deberán ser determinadas conforme a las disposiciones de los Capítulos D, E, F, G, H, I, según corresponda a cada situación de análisis y diseño.

Artículo C9. Deberá ser considerado el factor K de longitud efectiva, con un valor unitario, a menos que un valor inferior pueda ser justificado por medio de un análisis racional.

Artículo 10. Los arriostramientos utilizados para definir longitudes no arriostradas de elementos, deberán contar con suficiente rigidez y resistencia para restringir movimientos en la zona de arriostramiento.

Artículo C11. Deberán utilizarse los métodos para satisfacción de los requisitos de arriostramiento conforme al Anexo 6 del ANSI/AISC 360-10 *Specification for Structural Steel Buildings, del American Institute of Steel Construction (AISC)*, cuyos requisitos no son aplicables en arriostramientos incluidos como parte del sistema resistente.



CAPITULO D DISEÑO DE ELEMENTOS EN TRACCIÓN

Artículo D1. Este capítulo detalla los requerimientos para el diseño de elementos actuando a tracción pura a lo largo de su eje central, los cuales deberán ser considerados en el análisis y diseño de estructuras de acero en el territorio nacional.

Se organiza este capítulo de la siguiente manera:

Artículo D2. Los elementos sometidos a tracción pura no tienen límite de esbeltez máxima. Sin embargo, es aconsejable mantener una razón de esbeltez L/r no mayor a 300.

Artículo D3. La resistencia de diseño en elementos sometidos a tracción, $\phi_1 P_n$, deberá ser la menor obtenida según los estados límites de fluencia en tracción, tomando la sección bruta. Y la ruptura en tracción, tomando la sección neta.

(a) Para fluencia en tracción tomando la sección bruta:

$$\begin{aligned} P_n &= F_y A_g & (D-1) \\ \phi_1 &= 0,90 \end{aligned}$$

(b) Para ruptura en tracción tomando la sección neta:

$$\begin{aligned} P_n &= F_u A & (D-2) \\ \phi_1 &= 0,75 \end{aligned}$$

A_e = área neta efectiva, cm^2 (mm^2).

A_g = área bruta del miembro, cm^2 (mm^2).

F_y = tensión de fluencia mínima especificada, kgf/cm^2 (MPa).

F_u = tensión última mínima especificada, kgf/cm^2 (MPa).

Artículo D4. Elementos sin perforaciones, completamente conectados por soldadura. El área neta efectiva usada en la Ecuación D2-2 debe ser determinado de la siguiente forma:

$$\begin{aligned} A_e &= A_n U & (D3) \\ \phi_1 &= 0,75 \end{aligned}$$

Donde U , es el factor de corte diferido determinado conforme a la Tabla D.1.

Tabla D1: Factor de Corte Diferido para Conexiones de Elementos en Tracción

Caso	Descripción del Miembro		Factor de Corte Diferido, U	Ejemplo:
1	Todos los elementos en tracción donde la carga es transmitida directamente a cada uno de los elementos de la sección por medio desconectores o soldaduras (excepto en los Casos 3, 4, 5 y 6)		$U = 1.0$	
2	Todos los elementos en tracción, excepto las placas y tubos, donde la carga es transmitida por sólo algunos de los elementos de la sección por conectores o soldaduras (Alternativamente, el Caso 7 puede ser utilizado para perfiles W, M, S y HP)		$U = 1 - \bar{x}/l$	
3	Todos los elementos en tracción donde la carga es transmitida por soldadura transversal a solamente algunos elementos de la sección.		$U = 1.0$ y $A = \text{área de los elementos conectados directamente}$	
4	Placas donde la carga de tracción es transmitida solamente por soldaduras longitudinales.		$l \geq 2w \dots U = 1.0$ $2w > l \geq 1.5w \dots U = 0.87$ $1.5w > l \geq w \dots U = 0.75$	
5	Tubos redondos con sólo una plancha gusset concéntrica.		$l \geq 1.3D \dots U = 1.0$ $D \leq l < 1.3D \dots U = 1 - \bar{x}/l$ $\bar{x} = D/\pi$	
6	Tubo Rectangular	con sólo una plancha gusset concéntrica	$l \geq H \dots U = 1 - \bar{x}/l$ $\bar{x} = \frac{B^2 + 2BH}{4(B+H)}$	
		con dos placas gusset concéntricas	$l \geq H \dots U = 1 - \bar{x}/l$ $\bar{x} = \frac{B^2}{4(B+H)}$	
7	Perfiles W, M, S o HP, o T cortadas a partir de estos perfiles (Si U es calculado según Caso 2, se permite utilizar el mayor valor)	con alas conectadas con 3 o más conectores por línea en la dirección de carga	$b_f \geq 2/3d \dots U = 0.90$ $b_f < 2/3d \dots U = 0.85$	
		con almas conectadas con 4 o más conectores en la dirección de carga	$U = 0.70$	
8	Ángulos simples (Si U es calculado según Caso 2, se permite utilizar el mayor valor)	con 4 o más conectores por línea en la dirección de carga	$U = 0.80$	
		con 2 o 3 conectores por línea en la dirección de carga	$U = 0.60$	

l = longitud de conexión, cm (mm); w = ancho plancha, cm (mm); X = excentricidad de conexión, cm (mm); B = ancho total del tubo rectangular, medido 90° respecto al plano de conexión, cm (mm); H = altura total del tubo rectangular, medido en el plano de conexión, cm (mm)

Artículo D5. En los elementos armados, así como en elementos conectados por pasadores y bielas, deberán utilizarse las disposiciones presentes en las secciones D4, D5 y D6 del ANSI/AISC 360-10 *Specification for Structural Steel Buildings*, del American Institute of Steel Construction (AISC).



CAPITULO E DISEÑO DE ELEMENTOS EN COMPRESIÓN

Artículo E1. Deberán tomarse en consideración los requerimientos establecidos en este Capítulo para el diseño y revisión de elementos actuando en compresión a lo largo de su eje central.

Se organiza este capítulo de la siguiente manera:

- E1. Pandeo por Flexión de Elementos sin Elementos Esbeltos
- E2. Pandeo Flexo-Torsional para Elementos sin Elementos Esbeltos
- E3. Compresión de Ángulos Simples
- E4. Elementos Armados
- E5. Elementos con Elementos Esbeltos

Artículo E2. La resistencia de diseño en elementos sometidos a compresión, $\phi_c P_n$, deberá ser determinada considerando la resistencia de compresión nominal, P_n , como el valor menor obtenido según los estados límites de pandeo, sean estos por flexión, pandeo torsional y pandeo flexo-torsional.

$$\phi_c = 0,90$$

Tabla Nota E1.1: Aplicaciones de las Secciones del Capítulo E

Sección transversal	Sin elementos esbeltos		Con elementos esbeltos	
	Secciones en Capítulo E	Estados Límites	Secciones en Capítulo	Estados Límites
	E1 E2	FB TB	E5	LB FB TB
	E1 E2	FB FTB	E5	LB FB FTB
	E1	FB	E5	LB FB
	E1	FB	E5	LB FB
	E1 E2	FB FTB	E5	LB FB FTB
	E4 E1 E2	FB FTB	E4 E5	LB FB FTB
	E3		E3	
	E1	FB	N/A	N/A
Secciones asimétricas, distintas de ángulos simples	E2	FTB	E5	LB FTB

FB=pandeo por flexión, TB=pandeo torsional, FTB=pandeo flexotorsional, LB=pandeo local

Artículo E3. El factor de longitud efectiva, K , requerido para el cálculo de la esbeltez de columna, KL/r , debe ser determinado de acuerdo con el Capítulo C o el Anexo 7 del ANSI/AISC 360-10 *Specification for Structural Steel Buildings*, del American Institute of Steel Construction (AISC).

Donde:

K = factor de longitud efectiva

L = longitud no arriostrada lateralmente del miembro, cm (mm).

r = radio de giro, cm (mm).

Artículo E4. Para elementos sometidos y diseñados sólo en compresión, se recomienda que la razón de esbeltez KL/r no sea mayor que 200. En caso que se supere esta esbeltez se deberá demostrar la estabilidad estructural y el buen desempeño del miembro dentro de la estructura.

E1. – PANDEO POR FLEXIÓN DE ELEMENTOS SIN ELEMENTOS ESBELTOS

Artículo E5. Esta sección aplica para elementos solicitados en compresión con secciones compactas y no compactas, como se define en el Capítulo B para elementos en compresión uniforme.

Artículo E6. La resistencia de compresión nominal, P_n , deberá ser determinada de acuerdo a un estado límite de pandeo por flexión:

$$P_n = \phi_c F_{cr} A_g \quad (\text{E1-1})$$

La tensión de pandeo por flexión, se determina:

$$\begin{aligned} \text{(a) Cuando } \frac{KL}{r} \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad \left(\text{o } \frac{F_y}{F_e} \leq 2,25 \right) \\ F_{cr} = \left[0,658 \frac{F_y}{F_e} \right] F_y \end{aligned} \quad (\text{E1-2})$$

$$\begin{aligned} \text{(b) Cuando } \frac{KL}{r} > 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad \left(\text{o } \frac{F_y}{F_e} > 2,25 \right) \\ F_{cr} = 0,877 F_e \end{aligned} \quad (\text{E1-3})$$

Donde:

F_e = tensión de pandeo elástico determinada según la Ecuación E1-4, o lo especificado en Anexo 7, Sección 7.2.3 (b) del ANSI/AISC 360-10 *Specification for Structural Steel Buildings*, del American Institute of Steel Construction (AISC), o de acuerdo con un análisis de pandeo elástico, cuando es aplicable, kgf/cm² (MPa).

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r} \right)^2} \quad (\text{E1-4})$$

E2. – RESISTENCIA A COMPRESIÓN, PANDEO TORSIONAL Y FLEXO-TORSIONAL DE ELEMENTOS SIN ELEMENTOS ESBELTOS

Artículo E7. Esta sección es aplicable a elementos con simetría simple y asimétrica, así como a ciertos elementos con simetría doble, como es el caso de columnas cruciformes o armadas, sin elementos esbeltos, como se describen en el Capítulo B, para elementos solicitados en compresión uniforme.

Artículo E7. Podrán ser parte de esta sección, elementos doblemente simétricos sin elementos esbeltos, cuando la longitud no arriostrada torsional excede la longitud lateral no arriostrada. Estas disposiciones se aplican a angulares simples, cuando $b/t > 20$.

Artículo E8. La resistencia nominal a compresión, P_n , debe ser determinada basada en el estado límite de pandeo por flexo-torsión y torsión, de la siguiente manera:

$$P_n = F_{cr} A_g \quad (E2-1)$$

La tensión crítica, F_{cr} , se determina como se indica a continuación:

- (a) Para secciones doble ángulo y T en compresión:

$$F_{cr} = \left(\frac{F_{cry} + F_{crz}}{2H} \right) \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4F_{cry}F_{crz}H}{(F_{cry} + F_{crz})^2}} \right] \quad (E2-2)$$

Donde F_{cry} se toma como F_{cr} en Ecuación E1-2 o E1-3, y

$$F_{crz} = \frac{GJ}{A_g \bar{r}_o^2} \quad (E2-3)$$

- (b) Para todos los otros casos, F_{cr} deberá ser determinado según la Ecuación E3-2 o E3-3, utilizando la tensión de pandeo elástico torsional o flexo-torsional, F_e , determinada de la siguiente forma:

- (i) Para elementos con doble simetría:

$$F_e = \left[\frac{\pi^2 EC_w}{(K_z L)^2} + GJ \right] \frac{1}{I_x + I_y} \quad (E2-4)$$

- (ii) Para elementos con simetría simple donde Y es el eje de simetría:

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

Artículo E9. Para secciones tipo I con doble simetría, C_w puede tomarse como $I_y h_o / 4$, donde h es la distancia entre centroides de alas. Para secciones T y doble angulares, se omite el término con C_w cuando se calcula F_{ez} y se toma x_0 como 0.

E3. – ANGULARES SIMPLES EN COMPRESIÓN

Artículo E10. La resistencia nominal en compresión, P_n , para angulares simples deberá ser determinada según corresponda con la Sección E1 o Sección E5, para elementos cargados axialmente. Angulares simples con $b/t > 20$, deberán ser verificados conforme la Sección E2.

Artículo E11. Los elementos que cumplan el criterio impuesto en Secciones E3(a) y E3(b) podrán ser diseñados como elementos cargados axialmente, usando la razón de esbeltez efectiva especificada, KL/r .

Artículo E12. Los efectos de la excentricidad en angulares simples pueden ser despreciados cuando los elementos son categorizados como elementos en compresión cargados axialmente, y se usa una de las razones de esbeltez efectivas indicadas en las Secciones E3(a) o E3(b), que deben cumplir las siguientes disposiciones:

- (1) elementos comprimidos, cargados a través de la misma ala en sus extremos;
- (2) elementos conectados por soldadura o por lo menos mediante dos pernos; y
- (3) no existen cargas transversales intermedias.

Artículo E13. Angulares simples con condiciones de carga distinta en los extremos de las indicadas en E5(a) o E5(b), con una relación entre el ancho del ala más larga y el ancho del ala más corta mayor a 1,7, o con cargas transversales, deberán ser evaluados como elementos bajo flexión combinada con carga axial.

Artículo E14. Angulares con alas iguales o alas desiguales conectadas en el ala más larga, que son elementos individuales o almas de enrejados planos con elementos adyacentes del alma, deberán ser conectados a al mismo lado de la plancha gusset o cordón:

(i) Cuando: $0 \leq \frac{L}{r_x} \leq 80$:

$$\frac{KL}{r} = 72 + 0,75 \frac{L}{r_x} \quad (E3-1)$$

(ii) Cuando: $\frac{L}{r_x} > 80$:

$$\frac{KL}{r} = 32 + 1,25 \frac{L}{r_x} \leq 200 \quad (E3-2)$$

Artículo E15. Angulares con alas desiguales y razón de longitud de ala, menor que 1,7 y conectados a través del ala corta, el KL/r de las Ecuaciones E3-1 y E3-2 deberá ser aumentadas sumando

$4[(b_1/b_2)^2 - 1]$, pero KL/r de los elementos no deberá ser menor que $0.95 L$.

Artículo E16. Angulares de alas iguales o alas desiguales conectadas a través del ala más larga, que son alma de secciones cajón o enrejados espaciales con elementos adyacentes de alma conectada al mismo lado de la plancha gusset o cordón:

(i) Cuando: $0 \leq \frac{L}{r_x} \leq 75$:

$$\frac{KL}{r} = 60 + 0,8 \frac{L}{r_x} \quad (\text{E3-1})$$

(ii) Cuando: $\frac{L}{r_x} > 75$:

$$\frac{KL}{r} = 45 + \frac{L}{r_x} \leq 200 \quad (\text{E3-2})$$

Artículo E17. Angulares con alas desiguales y razón de longitudes de alas menor que 1,7, conectadas a través del ala corta, el KL/r de las Ecuaciones E5-3 y E5-4 debe ser aumentados conforme a lo especificado en Capítulo E del ANSI/AISC 360-10 *Specification for Structural Steel Buildings*, del *American Institute of Steel Construction* (AISC), o su actualización más reciente.

E4. – ELEMENTOS ARMADOS

1. Resistencia a Compresión

Artículo E18. Las disposiciones dispuestas en esta sección aplican a los elementos conformados por dos secciones que pueden ser: (a) secciones interconectadas por pernos o soldadura; o (b) secciones con por lo menos un lado abierto interconectado por placas de cubierta perforadas o enlaces con plancha de asiento.

Artículo E19. La resistencia nominal a compresión de elementos armados compuestos por dos secciones interconectadas mediante pernos o soldaduras, deberá ser determinada de acuerdo con las Secciones E1, E2 o E5, pero con las siguientes modificaciones. En lugar de realizar un análisis más preciso, si el modo de pandeo involucra deformaciones relativas que producen fuerzas de corte en los conectores entre secciones individuales, el KL/r deberá ser reemplazado por $(KL/r)_m$ determinado de la siguiente forma:

a) Para cuando se utilizan conectores intermedios que son pernos de apriete calibrado:

$$\left(\frac{KL}{r}\right)_m = \sqrt{\left(\frac{KL}{r}\right)_o^2 + \left(\frac{a}{r_i}\right)^2} \quad (\text{E6-1})$$

b) Para cuando se utilizan conectores intermedios soldados o con pernos pretensionados:

i) Cuando $\frac{a}{r_i} < 40$

$$\left(\frac{KL}{r}\right)_m = \left(\frac{KL}{r}\right)_o \quad (\text{E6-2a})$$

ii) Cuando $\frac{a}{r_i} > 40$

$$\left(\frac{KL}{r}\right)_m = \sqrt{\left(\frac{KL}{r}\right)_o^2 + \left(\frac{K_i a}{r_i}\right)^2} \quad (\text{E6-})$$

$\left(\frac{KL}{r}\right)_m$ = esbeltez modificada de columna para el miembro armado

$\left(\frac{KL}{r}\right)_o$ = esbeltez de columna del miembro armado actuando como una unidad en la dirección de pandeo considerado.

K_i = 0,50 para angulares espalda-espalda

= 0,75 para canales espalda-espalda

= 0,86 para otros casos

a = distancia entre conectores, cm (mm)

r_i = radio de giro mínimo del componente individual, cm (mm)

Deberá considerarse los requerimientos dimensionales del E6.2 y del J3.5 del ANSI/AISC 360-10 *Specification for Structural Steel Buildings*, del American Institute of Steel Construction (AISC).

E5. – ELEMENTOS CON ELEMENTOS ESBELTOS

Artículo E20. Las disposiciones de esta sección son para elementos cargados en compresión con elementos esbeltos, definidos en el Capítulo B para elementos en compresión uniforme.

Artículo E21. La resistencia de compresión nominal, P_n , deberá ser determinada ante el estado límite de pandeo por flexión, torsional o flexo-torsional.

$$P_n = F_{cr} A_g \quad (E5-1)$$

(a) Cuando (E5-2)

$$\frac{KL}{r} \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{QF_y}} \quad \left(\text{o } \frac{QF_y}{F_e} \leq 2,25 \right)$$

$$F_{cr} = Q \left[0,658 \frac{QF_y}{F_e} \right] F_y$$

(b) Cuando (E5-3)

$$\frac{KL}{r} > 4,71 \sqrt{\frac{E}{QF_y}} \quad \left(\text{o } \frac{QF_y}{F_e} \geq 2,25 \right)$$

$$F_{cr} = 0,877 F_e$$

Donde:

F_e = tensión crítica de pandeo elástico, obtenida con las Ecuaciones E3-4 y E4-4 para elementos con doble simetría, Ecuaciones E3-4 y E4-5 para elementos con simetría simple, y Ecuación E4-6 para elementos asimétricos, excepto para angulares simples en que $b/t \leq 20$, donde F_e se calcula mediante la Ecuación E3-4,

Q = factor de reducción neto que toma en cuenta todos los elementos esbeltos en compresión

= 1,0 para elementos sin elementos esbeltos, como se define en Sección B4.1, para elementos en compresión uniforme.

= $Q_s Q_a$ para elementos con secciones de elementos esbeltos, como se define en Sección B4.1, para elementos en compresión uniforme.

1. Elementos Esbeltos No Atiesados, Q_s

Artículo E22. El factor de reducción Q_s para elementos esbeltos no atiesados se define a continuación, según corresponda:

- (a) Para alas, angulares, y placas proyectadas de columnas laminadas u otro miembro sometido en compresión:

(i) Cuando $\frac{b}{t} \leq 0,56 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$

$$Q_s = 1,0 \quad (E5-4)$$

(ii) Cuando $0,56 \sqrt{\frac{E}{F_y}} < \frac{b}{t} < 1,03 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$

$$Q_s = 1,415 - 0,74 \left(\frac{b}{t} \right) \sqrt{\frac{F_y}{E}} \quad (E5-5)$$

(iii) Cuando $\frac{b}{t} \geq 1,03 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$

$$Q_s = \frac{0,69E}{F_y \left(\frac{b}{t} \right)^2} \quad (E5-6)$$

- (b) Para alas, angulares, y placas proyectadas de columnas armadas u otro miembro en compresión:

(i) Cuando $\frac{b}{t} \leq 0,64 \sqrt{\frac{Ek_c}{F_y}}$

$$Q_s = 1,0 \quad (E5-7)$$

(ii) Cuando $0,64 \sqrt{\frac{Ek_c}{F_y}} < \frac{b}{t} < 1,17 \sqrt{\frac{Ek_c}{F_y}}$

$$Q_s = 1,415 - 0,65 \left(\frac{b}{t} \right) \sqrt{\frac{F_y}{Ek_c}} \quad (E5-8)$$

(iii) Cuando $\frac{b}{t} \geq 1,17 \sqrt{\frac{Ek_c}{F_y}}$

$$Q_s = \frac{0,90Ek_c}{F_y \left(\frac{b}{t} \right)^2} \quad (E5-9)$$

Donde:

$$k_c = \frac{4}{\sqrt{h/t_w}}$$

k_c para efectos de cálculo debe tomarse no menor que 0,35 ni mayor que 0,76.

(c) Para angulares simples:

(i) Cuando $\frac{b}{t} \leq 0,45 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ (E5-10)

$$Q_s = 1,0$$

(ii) Cuando $0,45 \sqrt{\frac{E}{F_y}} < \frac{b}{t} < 0,91 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ (E5-11)

$$Q_s = 1,34 - 0,76 \left(\frac{b}{t} \right) \sqrt{\frac{F_y}{E}}$$

(iii) Cuando $\frac{b}{t} \geq 0,91 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ (E5-12)

$$Q_s = \frac{0,53E}{F_y \left(\frac{b}{t} \right)^2}$$

Donde

b = ancho completo del ala más larga del angular, cm (mm).

(d) Para alma de secciones tipo T:

(i) Cuando $\frac{d}{t} \leq 0,75 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ (E5-13)

$$Q_s = 1,0$$

(ii) Cuando
$$0,75\sqrt{\frac{E}{F_y}} < \frac{d}{t} < 1,03\sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (E5-14)$$

$$Q_s = 1,908 - 1,22\left(\frac{d}{t}\right)\sqrt{\frac{F_y}{E}}$$

(iii) Cuando
$$\frac{d}{t} \geq 1,03\sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (E5-15)$$

$$Q_s = \frac{0,69E}{F_y\left(\frac{d}{t}\right)^2}$$

Donde

d = profundidad nominal completa de la sección tipo T, cm (mm)

2. Elementos Esbeltos Atiesados

Artículo E23. El factor de reducción, Q_a , para elementos esbeltos atiesados, sometidos a compresión, se calcula como a continuación se muestra:

$$Q_a = \frac{A_e}{A} \quad (E7-16)$$

Donde

A = área seccional total del miembro, cm^2 (mm^2)

A_e = suma de las áreas efectivas de las secciones basadas en el ancho efectivo reducido, b_e , cm (mm^2)

El ancho efectivo reducido, b_e , se deberá determinar de la siguiente forma:

- (a) Elementos esbeltos en compresión uniforme, con $\frac{b}{t} \geq 1,49\sqrt{\frac{E}{f}}$, excepto para aquellas secciones conformadas con alas de tubo cuadrado y rectangular de espesor uniforme:

$$b_e = 1,92t\sqrt{\frac{E}{f}}\left[1 - \frac{0,34}{(b/t)}\sqrt{\frac{E}{f}}\right] \leq b \quad (E5-17)$$

Donde:

f se podrá considerar como F_{cr} con F_{cr} calculada con $Q = 1,0$.

$$b_e = 1,92t \sqrt{\frac{E}{f} \left[1 - \frac{0,38}{(b/t)} \sqrt{\frac{E}{f}} \right]} \leq b \quad (\text{E5-18})$$

Donde:

$f = P / A$ (se permite considerar f igual a F_y)

(c) Para tubos de sección circulares cargados axialmente, cuando $0,11 \frac{E}{F_y} < \frac{D}{t} < 0,45 \frac{E}{F_y}$:

$$Q = Q_a = \frac{0,038E}{F_y(D/t)} + \frac{2}{3} \quad (\text{E5-19})$$

Donde

D = diámetro exterior, cm (mm)

t = espesor de pared del tubo, cm (mm)



CAPITULO F DISEÑO DE ELEMENTOS EN FLEXIÓN

Artículo F1. Las disposiciones de este capítulo se tomarán para el diseño y revisión de elementos sometidos a flexión simple en un eje principal.

Se organiza este capítulo de la siguiente manera:

- F1. Elementos Compactos de Sección I con doble simetría y Canales, flectados en su eje mayor
- F2. Elementos de Sección I con doble simetría con Almas Compactas y Alas No Compactas o Esbeltas, flectados en torno a su eje mayor
- F3. Otros Elementos de Sección I con Almas Compactas o No Compactas flectados en su eje mayor
- F4. Elementos de Sección I con doble simetría con Almas Esbeltas, flectados en su eje mayor
- F5. Elementos de Sección I y Canales, flectados en torno a su eje menor
- F6. Perfiles tubulares cuadrados y rectangulares
- F7. Perfiles tubulares circulares
- F8. Secciones T y Angulares Dobles cargados en el plano de simetría
- F9. Angulares Simples
- F10. Barras Rectangulares y Circulares
- F11. Secciones Asimétricas
- F12. Requisitos Dimensionales de Vigas

TABLA Notas F1.
Tabla de Selección para la Aplicación de las Secciones del Capítulo F

Sección en Capítulo F	Sección	Esbeltez Ala	Esbeltez Alma	Estados Límites
F1		C	C	Y, LTB
F2		NC, S	C	LTB, FLB
F3		C, NC, S	C, NC	Y, LTB, LLB, TFY
F4		C, NC, S	S	Y, LTB, LLB, TFY
F5		C, NC, S	N/A	Y, LTB
F6		C, NC, S	C, NC	Y, LTB, LLB
F7		N/A	N/A	Y, LTB
F8		C, NC, S	N/A	Y, LTB, LLB
F9		N/A	N/A	Y, LTB, LLB
F10		N/A	N/A	Y, LTB
F11	Perfiles asimétricos diferentes de ángulos simples	N/A	N/A	Todos

Y = fluencia, LTB = pandeo lateral-torsional, FLB = pandeo local ala, WLB = pandeo local alma, TFY = fluencia a tracción, LLB = pandeo local ala, LB = pandeo local, C = compacto, NC = no-compacto, S = esbelto

Artículo F2. En secciones de acero estructural la resistencia de diseño en flexión, $\phi_b M_n$, deberá ser determinada de la manera que este capítulo lo indique, considerando:

$$\phi_b = 0,90$$

Artículo F3. La resistencia de flexión nominal, M_n , deberá ser obtenida según las Secciones del F1 hasta F11, cuyas disposiciones están basadas en la suposición de que los puntos de apoyo de vigas están restringidos contra la rotación del eje longitudinal.

Artículo F4. El factor de modificación por pandeo lateral-torsional “ C_b ” para diagramas de momento no uniformes, cuando ambos extremos del segmento no arriostrado están restringidos fuera de su eje, deberá determinarse de la siguiente manera:

$$C_b = \frac{12,5M_{\max}}{2,5M_{\max} + 3M_A + 4M_B + 3M_C} \quad (\text{F1-1a})$$

Donde:

M_{\max} = valor absoluto del máximo momento en el segmento no arriostrado, T-m (N-mm).

M_A = valor absoluto del momento a un cuarto del segmento no arriostrado, T-m (N-mm).

M_B = valor absoluto del momento en el centro del segmento no arriostrado, T-m (N- mm).

M_C = valor absoluto del momento en tercer cuarto del segmento no arriostrado, T-m (N-mm).

Casos específicos para C_b :

Condición de contorno del segmento	C_b correspondiente
Momentos en los extremos iguales y del mismo signo (uniformes sin punto de inflexión)	1,00
Momentos en los extremos iguales pero de signo opuesto (con un punto de inflexión central)	2,27
Uno de los extremos tiene momento cero, pero no es voladizo	1,67
Voladizos donde el extremo libre no se encuentra arriostrado	1,00

Artículo F5. Para aquellos elementos con simetría simple cargados por flexión con curvatura simple, la resistencia de pandeo lateral-torsional deberá ser verificada para ambas alas. La resistencia disponible de flexión debe ser mayor o igual que el máximo momento que cause compresión del ala en consideración.

F1. – ELEMENTOS COMPACTOS DE SECCION I CON DOBLE SIMETRÍA Y CANALES FLECTADOS EN SU EJE MAYOR

Artículo F6. Esta sección es para elementos de sección I con doble simetría y canales, flectados en su eje mayor, con almas compactas y alas compactas, como están descritas en la Sección B4.1, sometidas a flexión, donde la resistencia nominal de flexión, M_n , deberá ser el menor valor obtenido según los estados límites de fluencia (momento plástico) y pandeo lateral-torsión.

1. E.L. de Fluencia

$$M_n = M_p = F_y Z_x \quad (\text{F1-1})$$

Donde:

F_y = tensión de fluencia mínima especificada del tipo de acero, kgf/cm² (MPa)

Z_x = módulo de sección plástico en el eje X, cm³ (mm³)

2. E.L. Pandeo Lateral-Torsional

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

(b) Cuando $L_p < L_b \leq L_r$

$$M_n = C_b \left[M_p - (M_p - 0,7F_y S_x) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_p \quad (\text{F1-2})$$

(c) Cuando $L_b < L_r$

$$M_n = F_{cr} S_x \leq M_p \quad (\text{F1-3})$$

$$F_{cr} = \frac{C_b \pi^2 E}{\left(\frac{L_b}{r_{ts}} \right)^2} \sqrt{1 + 0,078 \frac{Jc}{S_x h_o} \left(\frac{L_b}{r_{ts}} \right)^2}$$

Este término dentro de la raíz cuadrada puede ser conservadoramente igual 1,00

Donde:

E = módulo de elasticidad del acero = 2,04x10⁶ kgf/cm² (200.000 MPa)

J = constante torsional, cm⁴ (mm⁴)

S_x = módulo de sección elástico en torno al eje X, cm³ (mm³)

Las longitudes límites de verificación L_p y L_r se determinan de la siguiente manera:

$$L_p = 1,76 \cdot r_y \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (F1-5)$$

$$L_r = 1,95 r_{ts} \frac{E}{0,7F_y} \sqrt{\frac{Jc}{S_x h_o} + \sqrt{\left(\frac{Jc}{S_x h_o}\right)^2 + 6,76 \left(\frac{0,7F_y}{E}\right)^2}} \quad (F1-6)$$

Donde:

$$r_{ts}^2 = \frac{\sqrt{I_y C_w}}{S_x} \quad (F1-7)$$

Mientras que el coeficiente c se determina:

(a) Para secciones I con simetría doble: $c = 1$	(F1-8a)
(b) Para secciones tipo canales $c = \frac{h_o}{2} \sqrt{\frac{I_y}{C_w}}$	(F1-8b)

Secciones I con doble simetría y alas rectangulares, $C_w = \frac{I_y h_o^2}{4}$ por lo que la Ecuación F1-7 es igual a:

$$r_{ts}^2 = \frac{I_y h_o}{2S_x}$$

r_{ts} puede ser tomado conservadoramente como el radio de giro del ala en compresión más el aporte de un sexto del alma:

$$r_{ts} = \frac{b_f}{\sqrt{12 \left(1 + \frac{1}{6} \frac{h t_w}{b_f t_f}\right)}}$$

F2. – ELEMENTOS DE SECCIÓN I CON DOBLE SIMETRÍA, CON ALMAS COMPACTAS Y ALAS NO COMPACTAS O ESBELTAS, FLECTADOS EN SU EJE MAYOR

Artículo F7. Para secciones I con doble simetría, flectadas en su eje mayor, con almas compactas y alas no compactas o esbeltas, como están descritas en el Capítulo B, sometidas a flexión, la resistencia nominal de flexión, M_n , deberá ser el menor valor obtenido según los estados límites de pandeo lateral-torsional y pandeo local del ala en compresión.

1. E.L. Pandeo Lateral Torsional

Deberán aplicarse las disposiciones de Sección F1.2 para pandeo latera-torsional.

2. E.L. Pandeo Local Ala en Compresión

(a) Secciones con alas no compactas

$$M_n = \left[M_p - (M_p - 0,7F_y S_x) \left(\frac{\lambda - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}} \right) \right] \quad (F2-1)$$

(b) Secciones con alas esbeltas

$$M_n = \frac{0,9Ek_c S_x}{\lambda^2} \quad (F2-2)$$

Donde:

$$\lambda = \frac{b_f}{2t_f}$$

$\lambda_{pf} = \lambda_p$, es la esbeltez límite para ala compacta, Capítulo B

$\lambda_{rf} = \lambda_r$, es la esbeltez límite para ala no compacta, Capítulo B

$k_c = \frac{4}{\sqrt{h/t_w}}$; para propósitos de cálculo puede tomarse no menor que 0,35 ni mayor que 0,76.

h = distancia definida el Capítulo B, cm (mm)

F3. – OTROS ELEMENTOS DE SECCIÓN I CON ALMAS COMPACTAS O NO COMPACTAS, FLECTADOS EN SU EJE MAYOR

Artículo F8. Para: (a) elementos de sección I doble simetría, flectados en su eje mayor, con almas no compactas; y (b) elementos de sección I de simetría simple, en donde sus almas están conectadas a la mitad del ancho de alas, que se encuentran flectados en su eje mayor, y presentan almas compactas o no compactas, como están descritas en el Capítulo B, sometidas a flexión; la resistencia de flexión nominal, M_n , deberá ser el menor valor obtenido según los estados límites de fluencia del ala en compresión, pandeo lateral-torsional, pandeo local del ala en compresión, y fluencia del ala en tracción.

1. E.L. Fluencia del Ala en Compresión

$$M_n = R_{pc} M_{yc} = R_{pc} F_y S_{xc} \quad (F3-1)$$

Donde:

M_{yc} = momento de fluencia en el ala en compresión, T-m. (N-mm)

2. E.L. Pandeo Lateral-Torsional

- (a) Cuando $L_b \leq L_r$, este estado límite de pandeo lateral-torsional no aplica
- (b) Cuando $L_p < L_b \leq L_r$

$$M_n = C_b \left[R_{pc} M_{yc} - (R_{pc} M_{yc} - F_y S_{xc}) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq R_{pc} M_{yc} \quad (F3-2)$$

- (c) Cuando

$$M_n = F_{cr} S_{xc} \leq R_{pc} M_{yc} \quad (F3-3)$$

Donde:

$$M_{yc} = F_y S_{xc} \quad (F3-4)$$

$$F_{cr} = \frac{C_b \pi^2 E}{\left(\frac{L_b}{r_t} \right)^2} \sqrt{1 + 0,078 \frac{J}{S_{xc} h_o \left(\frac{L_b}{r_t} \right)^2}} \quad (F3-5)$$

Para $\frac{I_{xc}}{I_y} \leq 0,23$, J deberá tomarse como cero.

Donde:

I_{yc} = momento de inercia del ala en compresión en el eje Y, cm^4 (mm^4)
 La tensión, F_L , deberá ser calculada de la siguiente forma:

(i) Cuando $\frac{S_{xt}}{S_{xc}} \geq 0,7$

$$F_L = 0,7F_y \quad (\text{F3-6a})$$

(ii) Cuando $\frac{S_{xt}}{S_{xc}} < 0,7$

$$F_L = F_y \frac{S_{xt}}{S_{xc}} \geq 0,5F_y \quad (\text{F3-6b})$$

La longitud no arriostrada para el estado límite de fluencia, L_p , deberá ser determinada como:

$$L_p = 1,1r_t \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (\text{F3-7})$$

La longitud no arriostrada para el estado límite de pandeo inelástico lateral-torsional, L_r , deberá ser determinada como:

$$L_r = 1,95r_t \frac{E}{F_L} \sqrt{\frac{J}{S_{xc}h_o} + \sqrt{\left(\frac{J}{S_{xc}h_o}\right)^2 + 6,76\left(\frac{F_L}{E}\right)^2}} \quad (\text{F3-8})$$

El factor de plastificación del alma, R_{pc} , deberá ser considerado como:

(i) Cuando $I_{yc}/I_y > 0,23$

(a) Cuando $\frac{h_c}{t_w} \leq \lambda_{pw}$ (F3-9a)

$$R_{pc} = \frac{M_p}{M_{yc}}$$

(b) Cuando $\frac{h_c}{t_w} > \lambda_{pw}$ (F3-9b)

$$R_{pc} = \left[\frac{M_p}{M_{yc}} - \left(\frac{M_p}{M_{yc}} - 1 \right) \left(\frac{\lambda - \lambda_{pw}}{\lambda_{rw} - \lambda_{pw}} \right) \right] \leq \frac{M_p}{M_{yc}}$$

(ii) Cuando $I_{yc}/I_y < 0,23$

$$R_{pc} = 1,0$$

Donde:

$$M_p = Z_x F_y \leq 1,6 S_{xc} F_y$$

S_{xc}, S_{xt} = módulo de sección elástico referido al ala en compresión y tracción, respectivamente, cm^3 (mm^3)

$$\lambda = h_c / t_w$$

λ_{pw} = es la esbeltez límite para alma compacta, Capítulo B

λ_{rw} = es la esbeltez límite para alma no compacta, Capítulo B

h_c = es el doble de la distancia entre el centroide a la cara interna del ala en compresión, menos el radio de filete o de esquina para perfiles laminados; o bien, la línea más cercana de pernos en el ala en compresión o la cara interna del ala en compresión cuando se usan soldaduras para secciones armadas, cm. (mm)

El radio de giro efectivo para pandeo lateral-torsional, r_t , se determinará conforme a lo siguiente:

(i) Secciones I con ala rectangular en compresión

$$r_t = \frac{b_{fc}}{\sqrt{12 \left(\frac{h_o}{d} + \frac{1}{6} a_w \frac{h^2}{h_o d} \right)}} \quad (\text{F3-10})$$

Donde:

$$a_w = (h_c t_w) / (b_{fc} t_{fc}) \quad (\text{F3-11})$$

b_{fc} = ancho del ala en compresión, cm (mm)

t_{fc} = espesor del ala en compresión, cm (mm)

(ii) Para secciones I con canales o cubre placas fijadas al ala en compresión:

r_t = radio de giro de los componentes de ala en compresión por flexión más un tercio del área del alma en compresión debido únicamente a la aplicación de momento de flexión en el eje mayor, cm (mm).

a_w = la razón entre dos veces el área del alma en compresión debido solo a la aplicación de momento de flexión en el eje mayor y el área de los componentes del ala en compresión.

Las secciones tipo I con alas rectangulares en compresión, r_t puede ser tomado conservadoramente como el radio de giro del ala en compresión más el aporte de un sexto de la porción en compresión del alma;

$$r_t = \frac{b_{fc}}{\sqrt{12 \left(1 + \frac{1}{6} a_w \right)}}$$

3. E.L. Pandeo Local de Ala en Compresión

- (a) Para secciones con alas compactas, no se aplica el estado límite de pandeo local del ala en compresión.
- (b) Secciones con alas no compactas

$$M_n = \left[R_{pc} M_{yc} - (R_{pc} M_{yc} - F_L S_x) \left(\frac{\lambda - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}} \right) \right] \quad (\text{F3-12})$$

- (c) Secciones con alas esbeltas

$$M_n = \frac{0,9Ek_c S_{xc}}{\lambda^2} \quad (\text{F3-13})$$

Donde:

F_L = es descrito en las Ecuaciones F3-6a y F3-6b.

R_{pc} = es el factor de plastificación del alma, calculado con la Ecuación F3-9.

$k_c = \frac{4}{\sqrt{h/t_w}}$ no deberá ser menor que 0,35 ni mayor que 0,76.

$\lambda = b_{fc} / 2 t_{fc}$

$\lambda_{pf} = \lambda_p$ es la esbeltez límite para ala compacta, Capítulo B

$\lambda_{rf} = \lambda_r$ es la esbeltez límite para ala no compacta, Capítulo B

4. E.L. Fluencia del Ala en Tracción

- (a) Cuando $S_{xt} \geq S_{xc}$, no se considera el estado límite de fluencia del ala en tracción.
- (b) Cuando $S_{xt} < S_{xc}$

$$M_n = R_{pt} M_{yt} \quad (\text{F4-14})$$

Donde:

$$M_{yt} = F_y S_{xt}$$

El factor de plastificación del alma correspondiente al estado límite de fluencia del ala en tracción, R_{pt} , se determina de la siguiente manera:

(i) Cuando $\frac{h_c}{t_w} \leq \lambda_{pw}$

$$R_{pt} = \frac{M_p}{M_{yt}} \quad (\text{F3-15a})$$

(ii) Cuando $\frac{h_c}{t_w} > \lambda_{pw}$

$$R_{pt} = \left[\frac{M_p}{M_{yt}} - \left(\frac{M_p}{M_{yt}} - 1 \right) \left(\frac{\lambda - \lambda_{pw}}{\lambda_{rw} - \lambda_{pw}} \right) \right] \leq \frac{M_p}{M_{yt}} \quad (\text{F3-15b})$$

Donde:

$$\lambda = h_c / t_w$$

$$\lambda_{pw} = \lambda_p \text{ es la esbeltez límite para alma compacta, Capítulo B}$$

$$\lambda_{rw} = \lambda_r \text{ es la esbeltez límite para alma no compacta, Capítulo B}$$

Artículo F9. Adicionalmente estos elementos de sección I pueden ser conservadoramente diseñados bajo las indicaciones de la Sección F4.

F4. – ELEMENTOS DE SECCIÓN I DE DOBLE SIMETRÍA Y SIMPLE, CON ALMAS ESBELTAS, FLECTADOS EN SU EJE MAYOR

Artículo F10. Elementos de sección I con doble simetría, flectados en su eje mayor, teniendo almas compactas y alas no compactas o esbeltas como están descritas en el Capítulo B sometidas a flexión, se diseñaran y evaluarán bajo las disposiciones de esta sección.

Artículo F11. Son aptos para el diseño y evaluación elementos de sección I de doble simetría y simple con almas esbeltas conectadas a la mitad del ancho de las alas y flectados en su eje mayor, como están descritas en Capítulo B, sometidas a flexión.

Artículo F12. La resistencia de flexión nominal, M_n , deberá ser el menor valor obtenido según los estados límites de fluencia del ala en compresión, pandeo lateral-torsional, pandeo local del ala en compresión, y además, la fluencia del ala en tracción.

1. E.L. Fluencia del Ala en Compresión

$$M_n = R_{pg} F_y S_{xc} \quad (\text{F4-1})$$

2. E.L. Pandeo Lateral-Torsional

$$M_n = R_{pg} F_{cr} S_{xc} \quad (\text{F4-2})$$

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

(b) Cuando $L_p < L_b \leq L_r$,

$$F_{cr} = C_b \left[F_y - (F_y - 0.3F_y) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq F_y \quad (\text{F4-3})$$

(c) Cuando $L_b \leq L_p$,

$$F_{cr} = \frac{C_b \pi^2 E}{\left(\frac{L_b}{r_t} \right)^2} \leq F_y \quad (\text{F4-4})$$

Donde:

L_p se define por la Ecuación F3-7.

$$L_r = \pi r_t \sqrt{\frac{E}{0.7F_y}} \quad (\text{F4-5})$$

R_{pg} es el factor de reducción de resistencia a la flexión:

$$R_{pg} = 1 - \frac{a_w}{1200 + 300a_w} \left(\frac{h_c}{t_w} - 5.7 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \right) \leq 1.0 \quad (\text{F4-6})$$

a_w se define por la Ecuación F3-11 pero no deberá exceder de 10.

r_t es el radio de giro efectivo para pandeo lateral definido en la Sección F3 de este capítulo.

3. E.L. Pandeo Local de Ala en Compresión

$$M_n = R_{pg} F_{cr} S_{xc} \quad (\text{F4-7})$$

(a) Para secciones con alas compactas, el estado límite de pandeo local del ala en compresión no aplica.

(b) Secciones con alas no compactas

$$F_{cr} = \left[F_y - (F_y - 0,3F_y) \left(\frac{\lambda_p - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \right) \right] \quad (F4-8)$$

(c) Secciones con alas esbeltas

$$F_{cr} = \frac{0,9Ek_c}{\left(\frac{b_f}{2t_f} \right)^2} \quad (F4-9)$$

Donde:

$$k_c = \frac{4}{\sqrt{h/t_w}} \text{ pero no deberá ser menor que } 0,35 \text{ ni mayor que } 0,76$$

$$\lambda = b_{fc} / 2 t_{fc}$$

λ_{pf} = es la esbeltez límite para ala compacta, Capítulo B

λ_{rf} = es la esbeltez límite para ala no compacta, Capítulo B

4. E.L. Fluencia del Ala en Tracción

Cuando $S_{xt} \geq S_{xc}$, el estado límite de fluencia del ala en tracción no aplica.

Cuando $S_{xt} < S_{xc}$

$$M_n = F_y S_{xt} \quad (F4-10)$$

F5. – ELEMENTOS DE SECCIÓN I Y CANALES, FLECTADOS EN SU EJE MENOR

Artículo F13. Para los elementos de sección I y canales flectados en su eje menor la resistencia de flexión nominal, M_n , deberá ser el menor valor obtenido según los estados límites de fluencia-momento plástico y el pandeo local del ala.

1. E.L Fluencia

$$M_n = M_p = F_y Z_y \leq 1.6 F_y S_y \quad (F5-1)$$

2. E.L Pandeo Local de Ala

(a) Para secciones con alas compactas, este estado límite de pandeo local no aplica.

(b) Secciones con alas no compactas

$$M_n = \left[M_p - (M_p - 0,7F_y S_y) \left(\frac{\lambda - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}} \right) \right] \quad (F5-2)$$

(c) Secciones con alas esbeltas

$$M_n = F_{cr} S_y \quad (F5-3)$$

Donde:

$$F_{cr} = \frac{0,69E}{\left(\frac{b}{t_f} \right)^2} \quad (F5-4)$$

$\lambda = b/t$

λ_{pf} = es la esbeltez límite para ala compacta, Capítulo B

λ_{rf} = es la esbeltez límite para ala no compacta, Capítulo B

b = para alas de secciones I, la mitad de la longitud completa del ala; bf, para alas de canales; la dimensión nominal completa del ala, cm. (mm)

t_f = espesor del ala, cm. (mm)

S_y = módulo de sección, para canales deberá tomarse como el módulo de sección mínimo.

F6. – PERFILES TUBULARES CUADRADOS Y RECTANGULARES

Artículo F14. Elementos de sección tubular cuadrada y rectangular, flectados en cualquiera de sus ejes, con almas compactas o no compactas y alas compactas, no compactas o esbeltas serán diseñadas o evaluadas conforme a los requerimientos de esta sección.

Artículo F15. La resistencia de flexión nominal, M_n , deberá ser el menor valor calculado según los estados límites de fluencia-momento plástico, pandeo local del ala y pandeo local del alma, actuando en flexión pura.

1. E.L. de Fluencia

$$M_n = M_p = F_y Z \quad (F6-1)$$

Donde:

Z = es el módulo plástico de la sección en el eje de flexión, cm^3 (mm^3).

2. E.L. Pandeo Local de Ala

- (a) Para secciones compactas, este estado límite de pandeo local del ala no aplica.
- (b) Secciones con alas no compactas

$$M_n = M_p - (M_p - F_y S) \left(3,57 \frac{b}{t} \sqrt{\frac{F_y}{E}} - 4,0 \right) \leq M_p \quad (\text{F6-2})$$

- (c) Secciones con alas esbeltas

$$M_n = F_y S_{eff} \quad (\text{F6-3})$$

Donde:

S_{eff} = es el módulo de sección efectivo calculado con el ancho efectivo del ala en compresión, determinado de la siguiente manera:

$$b_e = 1,92t \sqrt{\frac{E}{F_y}} \left[1 - \frac{0,38}{b/t} \sqrt{\frac{E}{F_y}} \right] \leq b \quad (\text{F6-4})$$

3. E.L. Pandeo Local de Alma

- (a) Para secciones compactas, no aplica el estado límite de pandeo local del alma.
- (b) Para secciones con almas no compactas

$$M_n = M_p - (M_p - F_y S_x) \left(0,305 \frac{h}{t_w} \sqrt{\frac{F_y}{E}} - 0,738 \right) \leq M_p \quad (\text{F6-5})$$

F7. – PERFILES TUBULARES CIRCULARES

Artículo F16. Elementos de sección tubular circular que cuenten con una razón D/t menor que $0,45 E / F_y$, deberán considerar una resistencia de flexión nominal, M_n , equivalente al menor valor calculado según los estados límites de fluencia-momento plástico y pandeo local.

1. E.L. Fluencia

$$M_n = M_p = F_y Z \quad (\text{F7-1})$$

2. E.L. Pandeo Local

- (a) En secciones compactas, este estado límite de pandeo local no aplica.
- (b) Secciones no compactas

$$M_n = \left(\frac{0,021E}{\frac{D}{t}} + F_y \right) S \quad (\text{F7-2})$$

- (c) Secciones con paredes esbeltas

$$M_n = F_{cr} S \quad (\text{F7-3})$$

Donde:

$$F_{cr} = \frac{0,33E}{\frac{D}{t}} \quad (\text{F7-4})$$

S = módulo de sección elástico, cm^3 (mm^3)

t = espesor en la pared del tubo circular, cm (mm)

F8. – SECCIONES TIPO T, Y ANGULARES DOBLES CARGADOS EN EL PLANO DE SIMETRÍA

Artículo F17. Elementos de sección T y angulares dobles cargados en su plano de simetría, la resistencia de flexión nominal, M_n , deberá ser el menor valor obtenido según los estados límites de fluencia-momento plástico, pandeo lateral-torsional, pandeo local del ala, y pandeo local del alma en secciones tipo T.

1. E.L. Fluencia

$$M_n = M_p \quad (\text{F8-1})$$

Donde:

- (a) Para almas en tracción

$$M_n = F_y Z_x \leq 1.6 M_x \quad (\text{F8-2})$$

- (b) Para almas en compresión

$$M_p = F_y Z_x \leq M_y \quad (\text{F8-3})$$

2. E.L. Pandeo Lateral-Torsional

$$M_n = M_{cr} = \frac{\pi \sqrt{EI_y GJ}}{L_b} \left[B + \sqrt{1 + B^2} \right] \quad (\text{F8-4})$$

Donde:

$$B = \pm 2,3 \left(\frac{d}{L_b} \right) \sqrt{\frac{I_y}{J}} \quad (\text{F8-5})$$

Artículo F18. B deberá ser considerado de valor positivo cuando el alma está en tracción, y negativo cuando el alma está en compresión. Cuando el extremo no atiesado del alma está en compresión en cualquier parte a lo largo de su longitud no arriostrada, deberá considerarse B con valor negativo.

3. E.L. Pandeo Local de Alas de Sección T

- (a) Para secciones con alas compactas comprimidas por flexión, este estado límite de pandeo local del ala no aplica.
- (b) Secciones con alas no compactas comprimidas por flexión,

$$M_n = \left[M_p - (M_p - 0,7F_y S_{xc}) \left(\frac{\lambda - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}} \right) \right] \leq 1,6M_y \quad (\text{F8-6})$$

- (c) Para secciones con elementos esbeltos comprimidos por flexión

$$M_n = \frac{0,7ES_{xc}}{\left(\frac{b_f}{2t_f} \right)^2} \quad (\text{F8-7})$$

Donde

S_x = es el módulo elástico de la sección referido al ala en compresión, cm^3 (mm^3)

$$\lambda = \frac{b_f}{2t_f}$$

λ_{pf} = λ_p es la esbeltez límite para ala compacta, Capítulo B

λ_{rf} = λ_r es la esbeltez límite para ala no compacta, Capítulo B

4. E.L. Pandeo Local del Alma de Sección tipo T en Compresión por Flexión

$$M_n = F_{cr} S_x \quad (\text{F8-8})$$

Donde:

S_{xc} = es el módulo elástico de la sección hacia el ala en compresión, cm^3 (mm^3)

La tensión crítica, se determina mediante la siguiente expresión:

$$(a) \quad \text{Cuando} \quad \frac{d}{t_w} \leq 0,84 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (\text{F8-9})$$

$$F_{cr} = F_y$$

$$(b) \quad \text{Cuando} \quad 0,84 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \leq \frac{d}{t_w} \leq 1,03 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (\text{F8-10})$$

$$F_{cr} = \left[2,25 - 1,84 \frac{d}{t_w} \sqrt{\frac{F_y}{E}} \right] F_y$$

$$(c) \quad \text{Cuando} \quad \frac{d}{t_w} \geq 1,03 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad F_{cr} = \frac{0,69E}{\left(\frac{d}{t_w}\right)^2} \quad (\text{F8-11})$$

F9. – ANGULARES SIMPLES

Artículo F19. Elementos de sección tipo angular simples con o sin restricción lateral continua a lo largo de su trayectoria, deberán ser diseñados y evaluados conforme a las instrucciones de este capítulo.

Artículo F20. Los angulares simples con restricción lateral-torsional continua a lo largo de su trayectoria, podrán ser diseñados basadas en flexión en sus ejes geométricos (X, Y).

Artículo F21. Los angulares simples sin restricción lateral-torsional continua a lo largo de su trayectoria, deberán ser diseñados por medio de las disposiciones para elementos a flexión en sus ejes principales, excepto cuando se permita aplicar las disposiciones para flexión en torno a sus ejes geométricos.

Artículo F22. En el diseño respecto a los ejes geométricos, se deberán utilizar las propiedades de la sección estimadas en el eje X e Y del angular, paralelo y perpendicular a las alas. En el diseño respecto a los ejes principales, se utilizarán las propiedades de la sección obtenidas en los ejes principales mayor y menor del angular.

Artículo F23. La resistencia de flexión nominal, M_n , deberá ser el menor valor calculado según los estados límites de fluencia-momento plástico, pandeo lateral-torsional y pandeo local del ala.

Artículo F24. En el caso de la flexión en el eje menor, solo se aplicarán los estados límite de fluencia y pandeo local de ala.

1. E.L. Fluencia

$$M_n = 1,5M_y \quad (\text{F9-1})$$

Donde:

M_y = momento de primera fluencia en el eje de flexión, ton-m (N-mm)

2. E.L. Pandeo Lateral-Torsional

Angulares simples sin restricción continua al pandeo lateral-torsional, a lo largo de su longitud:

(a) Cuando

$$M_n = \left(0,92 - \frac{0,17M_e}{M_y} \right) M_y \quad (\text{F9-2})$$

(b) Cuando

$$M_n = \left(1,92 - 1,17 \sqrt{\frac{M_y}{M_e}} \right) M_y \leq 1,5M_y \quad (\text{F9-3})$$

Donde:

M_e , el momento de pandeo elástico lateral-torsional, es calculado según:

(i) Para flexión en el eje principal mayor de angulares con alas iguales:

$$M_e = \frac{0,46Eb^2t^2C_b}{L_b} \quad (\text{F9-4})$$

(ii) Para flexión en el eje principal mayor de angulares de alas distintas:

$$M_e = \frac{4,9EI_zC_b}{L_b^2} \left(\sqrt{\beta_w^2 + 0,052 \left(\frac{L_b t}{r_z} \right)^2} + \beta_w \right) \quad (\text{F9-5})$$

Donde:

C_b , determinado usando la Ecuación F1-1a con un valor máximo de 1,5.

L_b = longitud no arriostrada lateralmente del miembro, cm (mm)

I_z = momento de inercia en el eje principal menor, cm^4 (mm^4)

r_z = radio de giro en el eje principal menor, cm (mm)

t = espesor de ala del angular, cm (mm)

β_w propiedad de la sección para angulares de alas distintas; positivo cuando las alas cortas están en compresión, y negativo cuando las alas largas están en compresión. Cuando el ala larga está en compresión en cualquier parte a lo largo de la longitud no arriostrada del miembro, deberá usarse el valor negativo de β_w . La ecuación para β_w y los valores para tamaños de angulares comunes se presentan listados en el comentario del ANSI/AISC 360-10 Specification for Structural Steel Buildings, del American Institute of Steel Construction (AISC).

(iii) Para flexión en los ejes geométricos de angulares de alas iguales sin compresión axial:

(a) sin arriostramiento lateral-torsional

(i) Con máxima compresión en el borde extremo

$$M_e = \frac{0,66Eb^4tC_b}{L_b^2} \left(\sqrt{1+0,78\left(\frac{L_bt}{b^2}\right)^2} - 1 \right) \quad (\text{F9-6a})$$

(ii) Con máxima tracción en el borde extremo

$$M_e = \frac{0,66Eb^4tC_b}{L_b^2} \left(\sqrt{1+0,78\left(\frac{L_bt}{b^2}\right)^2} + 1 \right) \quad (\text{F9-6b})$$

M_y deberá tomarse como 0,80 veces el momento de fluencia calculado, usando el módulo de sección elástico.

(c) Para flexión en los ejes geométricos de angulares de alas iguales con arriostramiento lateral-torsional, únicamente en el punto de máximo momento:

M_e debe tomarse como 1,25 veces el valor de M_e determinado, usando las Ecuaciones F9-6a o F9-6b.

M_y debe tomarse como el momento de fluencia determinado, usando el módulo elástico geométrico.

3. E.L. Pandeo Local de Ala

Este estado límite de pandeo local del ala, aplica cuando el borde extremo del ala está en compresión.

- (a) Para el caso de secciones compactas, este estado límite de pandeo local del ala no aplica.
 (b) Secciones con alas no compactas

$$M_n = F_y S_c \left(2,43 - 1,72 \left(\frac{b}{t} \right) \sqrt{\frac{F_y}{E}} \right) \quad (\text{F9-7})$$

- (c) Secciones con alas esbeltas

$$M_n = F_{cr} S_c \quad (\text{F9-8})$$

Donde:

$$F_{cr} = \frac{0,71E}{\left(\frac{b}{t} \right)^2} \quad (\text{F9-9})$$

b = longitud completa del ala en compresión, cm (mm)

S_c = módulo elástico de la sección hacia el borde exterior en compresión del eje de flexión, cm^3 (mm^3). Para flexión en uno de los ejes geométricos de angulares de alas iguales pero sin arriostamiento lateral-torsional, S_c deberá ser 0,80 veces el módulo de sección medido en el eje geométrico.

F10. – BARRAS RECTANGULARES Y CIRCULARES

Artículo F25. El diseño de barras rectangulares y circulares deberá basarse en disposiciones de la Sección F11 del ANSI/AISC 360-10 *Specification for Structural Steel Buildings, del American Institute of Steel Construction* (AISC).

F11. – SECCIONES ASIMÉTRICAS

Artículo F26. Los perfiles metálicos asimétricos, excepto a angulares simples, deberán ser diseñados y evaluados conforme a las disposiciones de esta Sección, en donde la resistencia de flexión nominal, M_n , deberá ser el menor valor calculado según los estados límites de fluencia-momento, pandeo lateral-torsional, y pandeo local, donde:

$$M_n = F_n S \quad (\text{F11-1})$$

Donde:

S = el menor módulo elástico de sección referido al eje de flexión, cm^3 (mm^3)

1. E.L. Fluencia

$$F_n = F_y \quad (\text{F11-2})$$

2. E.L. Pandeo Lateral-Torsi

$$F_n = F_{cr} \leq F_p \quad (\text{F11-3})$$

Donde:

F_{cr} = es la tensión de pandeo lateral torsional de la sección, calculada mediante análisis, kgf/cm^2 (MPa)

Para elementos de sección tipo Z, se recomienda que F_{cr} se tome como $0,5 F_{cr}$ de un canal con las mismas propiedades de ala y alma.

3. E.L. Pandeo Local

$$F_n = F_{cr} \leq F_y \quad (\text{F11-4})$$

Donde:

F_{cr} = es la tensión de pandeo local para la sección determinada por medio del análisis, kgf/cm^2 (MPa).

F12. – PROPORCIONES DE VIGAS

1. Reducciones en la Resistencia de Elementos con Perforaciones en las Alas Traccionadas

Artículo F27. Perfiles laminados o armados y vigas con cubre placas con perforaciones, definidas con base en la resistencia a flexión de la sección bruta, serán verificados antes estos requerimientos.

Artículo F28. Aparte de los estados límites indicados en las secciones previas de este capítulo, la resistencia de flexión nominal, M_n , deberá estar definida por el estado límite de rotura del ala en tracción.

- (a) Cuando $F_u A_{fn} \geq Y_t F_y A_{fg}$, el estado límite de rotura en tracción no aplica.
- (b) Cuando $F_u A_{fn} < Y_t F_y A_{fg}$, la resistencia de flexión nominal, M_n , en el sitio donde están las perforaciones en el ala traccionada, no deberá ser mayor que

$$M_n = \frac{F_u A_{fn}}{A_{fg}} S_x \quad (\text{F12-1})$$

Donde:

A_{fg} = es el área bruta del ala traccionada, determinada según las disposiciones del Capítulo D, cm^2 (mm^2).

A_{fn} = es el área neta del ala traccionada, determinada según las disposiciones del Capítulo D, cm^2 (mm^2).

$Y_t = 1.0$ para $F_y / F_u \leq 0.80$ ó 1.1 para otros casos

2. Valores límites de las dimensiones de Elementos con Sección I

Elementos de sección I con simetría simple deberán satisfacer el límite siguiente:

$$0,1 \leq \frac{I_{yc}}{I_y} \leq 0,9 \quad (\text{F12-2})$$

Elementos de sección I con alas esbeltas deberán satisfacer los límites siguientes:

- (a) Cuando $\frac{a}{h} \leq 1,5$

$$\left(\frac{h}{t_w} \right)_{\max} = 12,0 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (\text{F12-3})$$

(b) Cuando $\frac{a}{h} > 1,5$

$$\left(\frac{h}{t_w}\right)_{\max} = \frac{0,40E}{F_y} \quad (\text{F12-4})$$

Donde:

a = es la distancia libre entre atiesadores transversales, cm (mm).

En caso de vigas altas sin atiesadores, h/t_w no deberá sobrepasar 260. La razón entre el área del alma y del ala en compresión no deberá pasar de 10.

3. Cubre placas

Artículo F29. En vigas reforzadas con cubre placas conectadas con pernos, el área total de las placas agregadas no deberá superar 70% del área total del ala.

Artículo F30. Los pernos de alta resistencia o la soldadura que conecta el ala con el alma, o cubre placas al ala, deberán dimensionarse para resistir un corte horizontal total resultante de las fuerzas de flexión en la viga. La distribución longitudinal de los pernos o soldaduras intermitentes deberá ser en proporción a la intensidad de la fuerza de corte. El espaciamiento longitudinal no deberá sobrepasar el máximo especificado para elementos en compresión o en tracción en las Secciones E6 o D4, respectivamente.

Artículo F31. Los pernos o soldadura que conectan el ala al alma, deberán ser dimensionados para transmitir al alma toda carga aplicada directamente sobre el ala, excepto que se disponga una manera de transmitir tales cargas mediante apoyo directo.

Artículo F32. Las cubre placas de longitud parcial deberán extenderse más allá del punto teórico de corte, cuya extensión deberá quedar conectada a la viga por medio de pernos de alta resistencia, a través de una conexión de deslizamiento crítico o por soldadura de filete.

Artículo F33. Las cubre placas soldadas y las soldaduras que conectan el borde de la cubre placa con la viga, deberán ser continuas a lo largo de ambos bordes de la cubre placa en la longitud a' , definida abajo, y deberá ser suficiente para desarrollar el aporte de resistencia a flexión de la placa a la resistencia en flexión de la viga, a una distancia a' medida desde el extremo de la cubre placa.

(a) Cuando exista soldadura continua igual o mayor que tres cuartos del espesor de placa a través del extremo de la placa

$$a' = w \quad (\text{F12-5})$$

Donde:

w = ancho de la cubre placa, cm (mm)

- (b) Cuando haya soldadura continua menor que tres cuartos del espesor de la placa a través del extremo de la placa

$$a' = 1,5 w \quad (\text{F12-6})$$

- (c) Cuando no exista soldadura a través del extremo de la plancha

$$a' = 2w \quad (\text{F12-7})$$

4. Vigas Armadas

Artículo F34. Cuando dos o más vigas, angulares o canales son usados lado a lado para conformar un miembro en flexión, deberán ser conectados de acuerdo con los requerimientos de conexión establecidos en esta normativa. Cuando existan cargas concentradas que sean llevadas de una viga a la otra o distribuidas entre las vigas, deberá soldarse o apernarse diafragmas con suficiente rigidez para distribuir la carga entre cada una de las vigas.

5. Longitud no arriostrada para Redistribución de Momentos

Artículo F35. Para la redistribución de momentos en vigas, la longitud no arriostrada lateralmente L_b , del ala en compresión cercana a la ubicación en el extremo del momento redistribuido, no deberá exceder L_m , longitud que se calcula de la siguiente manera:

- (a) Vigas secciones I de doble simetría y de simetría simple con el ala en compresión igual o mayor que el ala en tensión cargada en el plano del alma:

$$L_m = \left[0,12 + 0,076 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) \right] \left(\frac{E}{F_y} \right) r_y \quad (\text{F12-8})$$

- (b) Barras solidas rectangulares y vigas de cajón simétricas y flectadas sobre su eje mayor:

$$L_m = \left[0,17 + 0,10 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) \right] \left(\frac{E}{F_y} \right) r_y \geq 0,10 \left(\frac{E}{F_y} \right) r_y \quad (\text{F12-9})$$

Donde:

F_y = tensión de fluencia mínima especificada en el ala de compresión, kgf (MPa)

M_1 = menor momento en el extremo de la longitud no arriostrada, t-m (N-mm)

M_2 = mayor momento en el extremo de la longitud no arriostrada, t-m. (N-mm)

r_y = radio de giro en torno al eje menor, cm (mm)

(M_1/M_2) es positivo cuando los momentos producen doble curvatura y negativo para curvatura simple.

No hay límite en L_b para elementos con secciones transversales cuadradas o circulares.



CAPITULO G DISEÑO DE ELEMENTOS EN CORTANTE

Artículo G1. El diseño y evaluación de las almas de elementos con doble simetría o simetría simple, cargados a cortante en el plano del alma, así también, angulares simples y secciones tubulares, y cortante en la dirección débil de perfiles de doble simetría o simetría simple; se organizan en este capítulo de la siguiente manera:

- G1. Elementos con Almas no Atiesadas o Atiesadas
- G2. Campo de tracciones
- G3. Angulares s Simples
- G4. Tubos de Sección Rectangular y Cajón
- G5. Tubos Redondos
- G6. Cortante en el Eje Débil en Perfiles con Simetría Simple y Doble
- G7. Vigas con Aberturas en el Alma

Artículo G2. Se presentan dos métodos para calcular la capacidad estructural a cortante. El método que se presenta en la Sección G1 no utiliza la resistencia post pandeo del miembro (campo de tracciones). El método presentado en Sección G2 sí utiliza el campo de tracciones.

Artículo G3. La resistencia al cortante de diseño, $\phi_v V_n$, deberá ser calculada de la siguiente manera para todas las disposiciones en este capítulo, excepto la Sección G1.1a:

$$\phi_b = 0,90$$

G1. – ELEMENTOS CON ALMAS NO ATIESADAS O ATIESADAS

Artículo G4. La capacidad a cortante de las almas de elementos de doble simetría o simetría simple y canales sometidas a corte en el plano del alma, almas no atiesadas o atiesadas, según el estado límite de fluencia y pandeo en corte, es:

$$V_n = 0,6 F_y A_w C_v \quad (G1-1)$$

- a) Almas de elementos laminados de Sección I con $h/t_w \leq 2,24\sqrt{E/F_y}$:

$$\begin{aligned} \phi_b &= 1,00 \\ & \text{y} \\ C_v &= 1,0 \end{aligned} \quad (G1-2)$$

- b) En almas de todos los otros perfiles de doble simetría o simple y canales, excepto tubos circulares, el coeficiente de corte del alma, C_v , se obtiene con la siguiente expresión:

(i) Cuando $h/t_w \leq 1,10\sqrt{k_v E/F_y}$ (G1-3)

(ii) Cuando $1,10\sqrt{k_v E/F_y} < h/t_w \leq 1,37\sqrt{k_v E/F_y}$ (G1-4)

$$C_v = \frac{1,10\sqrt{k_v E/F_y}}{h/t_w}$$

(iii) Cuando $h/t_w > 1,37\sqrt{k_v E/F_y}$ (G1-5)

$$C_v = \frac{1,51Ek_v}{(h/t_w)^2 F_y}$$

Donde:

A_w = área del alma, cm² (mm²)

h = para secciones laminadas, la distancia libre entre alas, menos el filete o radio de esquina, cm (mm); para secciones armadas soldadas, la distancia libre entre alas, cm (mm); para secciones armadas con pernos, la distancia entre líneas de sujetadores, cm (mm); para secciones tipo T, la altura total, cm (mm)

t_w = espesor del alma, cm (mm)

El coeficiente de *pandeo por corte* del alma, k_y , se calcula como se indica:

(i) Almas sin atiesadores transversales y con $h/t_w \leq 260$:

$$k_y = 5$$

Excepto para el alma de perfiles T donde $k_y = 1,2$

(ii) Almas atiesadas:

$$\begin{aligned} k_v &= 5 + \frac{5}{(a/h)^2} \\ &= 5 \text{ cuando } a/h > 3,0 \text{ o } a/h > \left[\frac{260}{(h/t_w)} \right]^2 \end{aligned} \quad (\text{G1-6})$$

Donde:

a = es la distancia libre entre atiesadores transversales, cm (mm)

Artículo G4. Para Atiesadores Transversales, mientras que no se estipule lo contrario, no se requerirán atiesadores transversales cuando $h/t_w \leq 2,46\sqrt{E/F_y}$, o cuando la resistencia al cortante para $k_v = 5$ sea mayor a la demanda requerida de cortante.

Artículo G5. El momento de inercia, I_{st} de los atiesadores transversales, que son utilizados para desarrollar la resistencia de corte disponible del alma, deberán satisfacer:

$$I_{st} \geq at_w^3 j \quad (\text{G1-7})$$

Donde

$$j = \frac{2,5}{(a/h)^2} - 2 \geq 0,5 \quad (G1-8)$$

Artículo G6. Mientras que no se indique lo contrario, se permite que los atiesadores transversales no estén en contacto con el ala en tracción, ya que no es necesario el desarrollo de plastamiento para transmitir las cargas concentradas o reacciones. La soldadura que une los atiesadores transversales al alma deberá ser terminada a una distancia no menor que cuatro veces ni mayor que seis veces el espesor de alma, medida desde el borde del ala. Cuando se utilicen atiesadores simples, deberán ser unidos al ala en compresión cuando éste consista en una placa rectangular, para resistir cualquier tendencia a levantamiento ocasionada por torsión del ala.

Artículo G7. Los pernos que conectan atiesadores al alma de una viga deben ser espaciados no más de 305 mm entre centros. Cuando se usan filetes intermitentes de soldaduras, la distancia libre entre soldaduras no debe ser mayor que 16 veces el espesor del alma, ni menor que 250mm

G2. – CAMPO DE TRACCIONES

1. Límites en el uso del campo de tracciones

Artículo G8. Se permite el uso del campo de tracciones en elementos con alas cuando la placa del alma es confinada en sus cuatro lados por las alas o atiesadores. No se permite considerar esta acción en los siguientes casos:

- Para paneles extremos en todos los elementos con atiesadores transversales;
- Cuando a/h es mayor que 3,0 o $[260/(h/t_w)]$;
- Cuando $2A_w/(A_{fc} + A_{ft}) > 2,5$; o
- Cuando h/b_{fc} o h/b_{ft} son mayores que 6,0.

Donde

A_{fc} = área del ala en compresión, cm² (mm²)

A_{ft} = área del ala en tracción, cm² (mm²)

b_{fc} = ancho del ala en compresión, cm (mm)

b_{ft} = ancho del ala en tracción, cm (mm)

En estos casos, la resistencia de corte nominal, V_n , debe ser determinada de acuerdo con las disposiciones de la Sección G1.

2. Resistencia al corte considerando el campo de tracciones

Artículo G9. Cuando el campo de tracciones es permitido de acuerdo con la Sección G2.1, la resistencia de corte nominal, V_n , considerando el campo de tracciones y de acuerdo con el estado límite de fluencia, deberá ser igual a:

(a) Cuando $h/t_w \leq 1,10\sqrt{k_v E/F_y}$

$$V_n = 0,6F_y A_w \quad (G2-1)$$

(b) Cuando $h/t_w > 1,10\sqrt{k_v E/F_y}$

$$V_n = 0,6F_y A_w \left(C_v + \frac{1 - C_v}{1,15\sqrt{1 + (a/h)^2}} \right) \quad (G2-2)$$

3. Atiesadores Transversales

Artículo G10. Los atiesadores transversales necesarios para la formación del campo de tracciones deberán satisfacer los requerimientos dados en la Sección G1, junto a las siguientes limitaciones:

$$(1) \quad (b/t)_{st} \leq 0,56\sqrt{\frac{E}{F_{yst}}} \quad (G2-3)$$

$$(2) \quad I_{st} \geq I_{st1} + (I_{st2} - I_{st1}) \left[\frac{V_r - V_{c1}}{V_{c2} - V_{c1}} \right] \quad (G2-4)$$

Donde

$(b/t)_{st}$ = razón ancho/espesor del atiesador

F_{yst} = tensión de fluencia mínima especificada para el material del atiesador, Kg/cm² (MPa)

I_{st} = momento de inercia del atiesador transversal sobre un eje en el centro del alma para un par de atiesadores, o sobre la cara en contacto con la placa del alma cuando es un atiesador único, cm⁴ (mm⁴)

I_{st1} = momento de inercia mínimo del atiesador transversal necesario para el desarrollo de la resistencia por pandeo de corte del alma en Sección G1, cm⁴ (mm⁴)

I_{st2} = momento de inercia mínimo del atiesador transversal necesario para el desarrollo de la resistencia total por pandeo de corte del alma, más la resistencia por campo de tracciones en el alma, $V_r = V_{c2}$, cm⁴ (mm⁴)

$$= \frac{h^4 \rho_{st}^{1.3} \left(\frac{F_{yw}}{E} \right)^{1.5}}{40} \quad (\text{G2-5})$$

- V_r = la mayor de las resistencias requeridas de corte en la ubicación del atiesador, de acuerdo a las combinaciones de carga, kgf (kN)
- V_{c1} = la menor de las resistencias de corte disponibles en la ubicación del atiesador con V_n tal como se define en Sección G1, kgf (kN)
- V_{c2} = la menor de las resistencias de corte disponibles en la ubicación del atiesador con V_n tal como se define en Sección G2.2, kgf (kN)
- ρ_{st} = el mayor valor entre F_{yw}/F_{yst} y 1,0
- F_{yw} = tensión de fluencia mínima especificada para el material del alma, kgf/cm² (MPa)

G3. – ANGULARES SIMPLES

Artículo G10. La resistencia de corte nominal, V_n , del ala de un angular simple, debe ser determinada usando la Ecuación G1-1 y Sección G1 con $A_w = bt$

Donde:

- b = ancho del ala que resiste la fuerza de corte, cm (mm),
- t = espesor del ala, cm (mm),
- h/t = b/t_w
- K_v = 1,2

G4. – TUBOS CON SECCIÓN RECTANGULAR O CAJÓN

Artículo G11. La resistencia nominal al cortante, V_n , en tubos rectangulares y cuadrados deberá ser determinada por medio de las disposiciones de la Sección G1 considerando $A_w = 2ht$

Donde:

- h = el ancho resistente a la fuerza de corte, considerado como la distancia libre entre alas menos el radio de esquina interior en cada lado, cm (mm)
- t = espesor de diseño de la pared, igual a 0.93 veces el espesor nominal de la pared para elementos HSS soldados por resistencia eléctrica (ERW), o espesor nominal para HSS soldados por medio de arco-sumergido (SAW), cm (mm)
- t_w = t , cm (mm)
- k_v = 5.

En caso que el radio de esquina sea desconocido, h debe tomarse como la dimensión exterior, menos tres veces el espesor.

G5. – TUBOS CON SECCION REDONDA

Artículo G12. La resistencia nominal a cortante, V_n , de tubos con secciones redondas, deberá ser tomada según los estados límites de fluencia en corte y pandeo al corte:

$$V_n = F_{cr} A_g / 2 \quad (\text{G5-1})$$

Donde:

F_{cr} deberá ser el mayor entre: (G5-2a)

$$F_{cr} = \frac{1,60E}{\sqrt{\frac{L_v}{D} \left(\frac{D}{t}\right)^4}}$$

Y

$$F_{cr} = \frac{0,78E}{\left(\frac{D}{t}\right)^2} \quad (\text{G5-2b})$$

Pero no podrá exceder $0,6 F_y$.

A_g = área bruta de la sección del tubo, cm^2 (mm^2)

D = diámetro exterior, cm (mm)

L_v = la distancia entre la fuerza de corte máxima y la fuerza de corte cero, mm (cm)

t = espesor de pared de diseño, igual a 0,93 veces el espesor de pared nominal para secciones tubulares redondas soldadas por resistencia eléctrica (ERW HSS), o igual al espesor nominal para secciones soldadas mediante arco sumergido (SAW HSS), cm (mm)

G6. – CORTANTE EN EL EJE DÉBIL EN PERFILES CON SIMETRÍA SIMPLE Y DOBLE

Artículo G13. Perfiles con simetría doble y simple cargados en el eje débil sin presencia de torsión, la resistencia de nominal al corte, V_n , deberá ser determinada con la Ecuación G1-1 y Sección G1 con

$$A_w = b_f t_f, h/t_w = b/t_f, k_v = 1,2 \text{ y}$$

b = para alas de secciones H, será la mitad de la longitud completa del ala b_f ; y para alas de canales se tomará la dimensión nominal completa del ala, cm (mm)

G7. – VIGAS CON ABERTURAS EN EL ALMA

Artículo G14. El efecto generado por aberturas en el alma de vigas de acero y vigas compuestas deberá determinarse en la resistencia de cortante. Cuando la resistencia requerida excede la resistencia disponible, deberá instalarse el refuerzo adecuado contiguo a la abertura.



CAPITULO H DISEÑO DE ELEMENTOS SOMETIDOS A SOLICITACIONES COMBINADAS

Artículo H1. Los elementos solicitados a carga axial y flexión en uno o dos ejes ortogonales, con o sin torsión, y elementos solicitados a torsión pura, deberán ser diseñados o evaluados con los requerimientos establecidos en esta sección

La organización de este capítulo es la siguiente:

- H1. Elementos con Simetría Simple y Doble cargados a Flexión y Carga Axial
- H2. Elementos Asimétricos y otros cargados a Flexión y Carga Axial
- H3. Elementos bajo Torsión y combinación de Torsión, Flexión, Corte, y/o Carga Axial.
- H4. Ruptura de alas perforadas sujetas a tracción.

H1. – ELEMENTOS CON SIMETRÍA SIMPLE Y DOBLE CARGADOS A FLEXIÓN Y CARGA AXIAL

1. Elementos con Simetría Doble y Simple cargados a Flexión y Compresión

Artículo H2. La interacción de flexión y compresión en elementos con simetría doble y elementos con simetría simple que cumplen con $0,1 \leq (I_{yc} / I_y) \leq 0,9$, y que se encuentran únicamente solicitados a flexión en torno a un eje geométrico (X y/o Y) deben satisfacer las Ecuaciones H1-1a y H1-1b, donde

I_{yc} es el momento de inercia sobre el eje, referido al ala en compresión, cm^4 (mm^4).

(a) Cuando $\frac{P_r}{P_c} \geq 0,2$

$$\frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1,0 \quad (\text{H1-1a})$$

(b) Cuando $\frac{P_r}{P_c} < 0,2$

$$\frac{P_r}{2P_c} + \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1,0 \quad (\text{H1-1b})$$

Donde:

P_r = resistencia a la compresión axial requerida, usando las combinaciones de carga dadas en el Reglamento nacional de la construcción vigente, kgf (kN)

P_c = resistencia a la compresión axial disponible, conforme al Capítulo E, kgf (kN)
 $= \phi_c P_n$

M_r = resistencia a la flexión requerida, usando las combinaciones de carga dadas en el Reglamento nacional de la construcción vigente, kgf (kN)

$$= \phi_b M_n$$

ϕ_c = factor de resistencia en compresión

$$= 0,90$$

ϕ_b = factor de resistencia en flexión

$$= 0,90$$

2. Elementos con Simetría Doble y Simple cargados a Flexión y a Tracción

Artículo H3. La interacción de la flexión y la tracción en elementos con simetría doble y simple que estén solicitados solamente a flexión en torno a un eje geométrico (X y/o Y) deberán satisfacer las Ecuaciones H1-1a y H1-1b, donde:

P_r = resistencia a la tracción axial necesaria usando las combinaciones de carga dadas en el Reglamento nacional de la construcción vigente, kgf (kN)

P_c = resistencia a la tracción axial de diseño, obtenida según el Capítulo D, kgf (kN)

$$= \phi_t P_n$$

M_r = resistencia a la flexión requerida usando las combinaciones de carga dadas en el Reglamento nacional de la construcción vigente, kgf (kN)

M_c = resistencia a la flexión de diseño, obtenida según el Capítulo F, kgf-m (N-mm)

$$= \phi_b M_n$$

Ω_t = factor de resistencia en tracción (ver Capítulo D)

Ω_b = factor de resistencia en flexión = 0,90

3. Elementos Laminados Compactos con Simetría Doble cargados a Flexión Simple y a Compresión

Artículo H4. En los elementos laminados compactos con simetría doble, cargados a flexión y a compresión con momentos principalmente en un plano, es permitido considerar dos estados límites independientes, siendo éstos, *inestabilidad en el plano* y *pandeo fuera del plano* o *pandeo flexo-torsional*.

- (a) Para el estado límite de inestabilidad en el plano, las Ecuaciones H1-1 deberán ser usadas con P_c , M_r , y M_c determinados en el plano de flexión.
- (b) Para el estado límite de pandeo fuera del plano y pandeo flexo-torsional:

$$\frac{P_r}{P_{cy}} \left(1,5 - 0,5 \frac{P_r}{P_{cy}} \right) + \left(\frac{M_{rx}}{C_b M_{cx}} \right)^2 \leq 1,0 \quad (\text{H1-2})$$

Donde:

P_{cy} = resistencia a la compresión axial disponible fuera del plano de flexión, kgf (kN)

C_b = factor de modificación por pandeo flexo-torsional, calculado con el Capítulo F.

M_{cx} = resistencia a la flexo-torsión disponible para flexión en el eje fuerte, calculada según el Capítulo F, usando $C_b = 1,0$, kgf-m (N-mm)

H2. – ELEMENTOS ASIMÉTRICOS Y OTROS SOLICITADOS A FLEXIÓN Y CARGA AXIAL

Artículo H5. La interacción de tensiones de flexión y axial para perfiles no cubiertos en la Sección H1 se deberán tratar según las indicaciones de este artículo, permitiéndose utilizar las disposiciones de esta sección para cualquier perfil, en vez de las disposiciones de la Sección H1.

$$\left| \frac{f_{ra}}{F_{ca}} + \frac{f_{rbw}}{F_{cbw}} + \frac{f_{rbz}}{F_{cbz}} \right| \leq 1,0 \quad (\text{H2-1})$$

Donde:

f_a = tensión axial requerida en el punto considerado, kgf/cm² (MPa)

$F_a = \varphi_c F_{cr}$, tensión de flexión disponible en el punto considerado, kgf/cm² (MPa)

f_{rbw}, f_{rbz} = tensión de flexión requerida en el punto considerado, kgf/cm² (MPa)

$F_{cbw}, F_{cbz} = \varphi_b Mn / S$, tensión de flexión disponible en el punto considerado, kgf/cm² (MPa)

w = subíndice que indica flexión en torno al eje principal mayor

z = subíndice que indica flexión en torno al eje principal menor

φ_c = factor de resistencia para la compresión: 0.90

φ_t = factor de resistencia para la tensión: Ver capítulo D

φ_b = factor de resistencia para la flexión: 0.90

Artículo H6. La Ecuación H2-1 debe ser calculada usando los ejes principales a flexión, considerándose los sentidos de las tensiones a flexión en cada punto crítico de la sección. Los términos de flexión podrán ser sumados o restados al término de la carga axial. Cuando la *fuerza* axial es de compresión, se deberán incluir los *efectos de segundo orden*, según los requerimientos del Capítulo C.

H3. – ELEMENTOS BAJO TORSIÓN Y COMBINACIÓN DE TORSIÓN, FLEXIÓN, CORTANTE, Y/O CARGA AXIAL.

1. Resistencia Torsional de Secciones Tubulares Redondas y Rectangulares

Artículo H6. La resistencia torsional de diseño, $\phi_T T_n$ de secciones tubulares redondas o rectangulares, para los estados límites de *fluencia torsional* y *pandeo torsional*, deberá ser calculada de la siguiente manera:

$$\phi_T = 0,90$$

$$T_n = F_{cr} C \quad (H3-1)$$

Siendo C la constante torsional para secciones tubulares.

La tensión crítica, F_{cr} , deberá ser calculada de la siguiente forma:

- (a) Para tubos redondos, F_{cr} debe ser el mayor entre

$$F_{cr} = \frac{1,23E}{\sqrt{\frac{L}{D} \left(\frac{D}{t}\right)^4}} \quad (H3-2a)$$

$$F_{cr} = \frac{0,60E}{\left(\frac{D}{t}\right)^2} \quad (H3-2b)$$

pero no debe exceder $0,6 F_y$,

Donde:

L = longitud del elemento, cm (mm)

D = diámetro exterior, cm (mm)

- (b) Para tubos rectangulares

(i) Cuando $\frac{h}{t} \leq 2,45\sqrt{E/F_y}$

$$F_{cr} = 0,6F_y \quad (H3-3)$$

(ii) Cuando $2,45\sqrt{E/F_y} < h/t \leq 3,07\sqrt{E/F_y}$

$$F_{cr} = 0,6F_y \left(2,45\sqrt{E/F_y} \right) / (h/t) \quad (H3-4)$$

(iii) Cuando

$$3,07\sqrt{E/F_y} < h/t \leq 260$$

(H3-5)

$$F_{cr} = 0,458\pi^2 E / (h/t)^2$$

Donde:

h = ancho plano o lado con mayor longitud, a como es definido en Sección B4.1b(d), cm (mm)

t = espesor de diseño de la pared, definido en la Sección B4.2, cm (mm)

La constante de corte torsional, C, podrá ser tomada de manera conservadora como:

Para tubos redondos:
$$C = \frac{\pi(D-t)^2 t}{2}$$

Para tubos rectangulares:
$$C = 2(B-t)(H-t)t - 4,5(4-\pi)t^3$$

2. Secciones Tubulares cargadas bajo Combinación de Torsión, Cortante, Flexión y Carga Axial

Artículo H7. Cuando la resistencia torsional requerida, T_r , es menor o igual que el 20% de la resistencia torsional disponible, T_c , la interacción de torsión, cortante, flexión y/o carga axial para secciones tubulares deberá ser determinada según la Sección H1, y los efectos torsionales podrán ser despreciados. Cuando T_r excede el 20% de T_c , la interacción de torsión, cortante, flexión y/o carga axial deberá ser determinada en el punto de interés como:

$$\left(\frac{P_r}{P_c} + \frac{M_{rx}}{M_{cx}} \right) + \left(\frac{V_r}{V_c} + \frac{T_r}{T_c} \right)^2 \leq 1,0 \quad (\text{H3-6})$$

Donde;

P_r = resistencia axial necesaria, usando las combinaciones de carga del Reglamento nacional de la construcción vigente, kgf (kN)

$P_c = \phi P_n$ = resistencia a la tracción o a la compresión axial de diseño, calculada según el Capítulo D o E, kgf (kN)

M_r = resistencia a la flexión necesaria, usando las combinaciones de carga del Reglamento nacional de la construcción vigente, kgf-m (N-mm)

M_c = $\phi_b M_{n,n}$ = resistencia a la flexión de diseño, calculada conforme al Capítulo F, kgf-m (N-mm)

M_r = resistencia a cortante necesaria para las combinaciones de carga, del Reglamento nacional de la construcción vigente, kgf (kN)

V_c = $\phi_v V_n$

- G , kgf (kN) = resistencia a cortante
 T_r = resistencia a la torsional necesaria para las combinaciones de carga del Reglamento nacional de la construcción vigente, kgf-m (N-mm)
 $T_c = \varphi_T T_n$ = resistencia a la torsión de diseño, calculada conforme a la sección H3.1, kgf-m (N-mm)

3. Elementos No Tubulares bajo Torsión y Tensiones Combinadas

Artículo H8. La resistencia torsional disponible para elementos de sección no tubular, debe ser el menor de los valores obtenidos ante los estados límites de *fluencia bajo tensión normal*, *fluencia en corte bajo tensión de corte*, o *pandeo*, calculados de la siguiente manera:

$$\varphi_T = 0,90$$

- (a) Para estado límite de fluencia bajo tensión normal

$$T_n = F_{cr} \quad (\text{H3-7})$$

- (b) Para estado límite de fluencia en corte bajo tensión de corte

$$F_n = 0,6 F_y \quad (\text{H3-8})$$

- (c) Para estado límite de pandeo

$$F_n = F_{cr} \quad (\text{H3-9})$$

Donde:

F_{cr} = es la tensión de pandeo para la sección determinada en el análisis estructural, kgf/cm² (MPa)

H4. – RUPTURA DE ALAS PERFORADAS SUJETAS A TRACCIÓN

Artículo H9. Donde se encuentren las perforaciones para pernos en las alas sujetas a tracción bajo fuerzas axiales y flexión sobre el eje mayor combinadas, la resistencia a la ruptura por tracción de cada ala por separado deberá ser verificada con la Ecuación H4.1.

$$\frac{P_r}{P_c} + \frac{M_{rx}}{M_{cx}} \leq 1,0 \quad (\text{H4-1})$$

Donde:

P_r = resistencia axial necesaria del elemento en la zona de las perforaciones de los pernos, considerándose positiva en tensión y negativa en compresión, kgf (kN)

- P_c = resistencia axial disponible para cada estado límite de ruptura por tracción del área neta donde se ubiquen las perforaciones de los pernos, kgf (kN)
- M_{rx} = resistencia a la flexión necesaria donde se localizan las perforaciones de los pernos; considerándose positiva para tracción y negativa para compresión, kgf-m (N-mm)
- M_{cx} = resistencia a la flexión disponible en el eje X para el estado límite de ruptura por tracción del ala, determinada de acuerdo con el Capítulo F. Cuando el estado límite de ruptura por tracción y por flexión no se aplica, se podrá hacer uso del momento plástico por flexión, M_p , determinado sin considerar las perforaciones de los pernos, kgf-m (N-mm).



CAPITULO I **SEGUIMIENTO CONSTRUCTIVO**

I1. – Control de calidad

Artículo I1. Se establecen los requisitos mínimos para el control de calidad en la fabricación y erección de estructuras de acero diseñadas según las disposiciones de este Reglamento. Se consideran aplicables también los requerimientos de control de calidad establecidos en el capítulo N del ANSI/AISC 360-10 *Specification for Structural Steel Buildings*, del American Institute of Steel Construction (AISC).

I2. – Alcance

Artículo I2. Durante el proceso constructivo de las estructuras de acero se debe realizar una inspección que involucre un control de calidad de todos los materiales (perfiles, soldaduras, pernos, etc.), así como de métodos de erección y mano de obra que pudieran interferir con el buen comportamiento del *sistema estructural* de la edificación y con la intención del diseñador.

Artículo I3. Después de cada visita al sitio de obra o al taller de fabricación, el inspector deberá preparar un reporte de inspección detallado, en el cual se haga constar que los trabajos fueron ejecutados según los planos constructivos, las especificaciones técnicas y otros documentos contractuales.

Artículo I4. En el reporte de inspección, el inspector también deberá anotar si cualquier deficiencia encontrada fue reparada satisfactoriamente. Las anotaciones que el inspector haga en el cuaderno de bitácora de obra serán consideradas equivalentes a los reportes de inspección.

Artículo I5. Se deberá llevar a cabo la inspección visual de todas las soldaduras para asegurar que todos los procesos, materiales y mano de obra utilizados cumplen con los estándares de calidad especificados para el proyecto.

Artículo I6. La inspección visual deberá ser realizada por personal calificado en este campo.

Artículo I7. Cualquier evaluación con métodos no destructivos debe servir como respaldo y no para reemplazar la inspección visual.

Artículo I8. Cuando se realicen soldaduras en el área K de un perfil laminado en caliente, la zona del área K adyacente a las soldaduras debe ser inspeccionada después de su fabricación mediante ensayos no destructivos según lo requiera el inspector.

Artículo I9. Todas las soldaduras de penetración total clasificadas como críticas por demanda deben ser evaluadas mediante ensayos no destructivos.

Artículo I10. Todas las uniones con soldaduras de penetración total o parcial de elementos que sean parte del sistema sismorresistente, y que estén sujetos a cargas netas de tracción, producto de la demanda sísmica (amplificada y por capacidad), deben ser evaluadas mediante ensayos no destructivos.

Artículo I11. Se deberá llevar a cabo la inspección de todas las uniones empernadas que garanticen que todos los materiales, mano de obra y procedimientos de instalación utilizados cumplen con los estándares adecuados de calidad en este campo. El inspector deberá hacer énfasis en la revisión del tipo de perno a utilizar, la preparación de las superficies de contacto, el diámetro de los agujeros, el uso de arandelas y tuercas apropiadas, la pretensión requerida y cualquier otra variable que pueda interferir con el desempeño adecuado de la unión empernada y la intención del diseñador.

Artículo I12. Adicionalmente, el inspector deberá controlar la correcta fabricación de todos los detalles constructivos y la adecuada interpretación de las especificaciones técnicas, así como cualquier otra normativa aplicable. Esto incluye (pero sin limitarse a) lo siguiente:

1. Dimensiones y espesores de los perfiles de acero
2. Integridad de las zonas protegidas
3. Geometría de las uniones precalificadas y sus componentes

13. – Pruebas no destructivas

Artículo I13. Para complementar la inspección visual de las soldaduras, se permite el uso de los siguientes métodos de ensayo no destructivos:

1. Inspección radiográfica o rayos X
2. Partículas magnéticas
3. Líquidos penetrantes
4. Ultrasonido
5. Otros métodos no destructivos aprobados por el MTI y/o Alcaldías Municipales

Artículo I14. La evaluación con pruebas no destructivas debe ser realizada por personal calificado en este campo.

Artículo I15. La cantidad mínima de pruebas no destructivas deberá ser la suficiente para obtener una muestra representativa de los trabajos realizados. Esta cantidad puede ser reducida o aumentada por el inspector con base en la calidad de los trabajos realizados y en la confiabilidad de calidad de la mano de obra calificada.

La actualización del Reglamento Nacional de Construcción en los temas de **Concreto estructural**, **Acero estructural** y **Mampostería**, se da en el periodo 2015 - 2016, como parte de las acciones prioritarias del componente de reducción del riesgo en el marco del **Programa de Gestión Integral de Riesgos de Desastres de Nicaragua (AP-PGIRDN) ATN/OC-14249-NI (NI-T1188)** financiado por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), ejecutado por la Co-Dirección del SINAPRED. La actualización de este reglamento en los temas de Concreto estructural, Acero estructural y Mampostería, tuvieron un proceso de retroalimentación a través de talleres de consulta y consenso con profesionales de la ingeniería y arquitectura de las diferentes entidades públicas y privadas, asociaciones y gremios, cuyos valiosos aportes fueron incorporados en esta actualización.

La actualización del presente reglamento en los temas arriba mencionado, fue coordinado por la Dirección General de Normas de Construcción y Desarrollo Urbano del Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI).

