

Ministerio de Obras Públicas de la Nación
Secretaría de Obras Públicas

JULIO 2018

301 REGLAMENTO CIRSOC

Reglamento Argentino de ESTRUCTURAS DE ACERO PARA EDIFICIOS

***REGLAMENTO ARGENTINO DE
ESTRUCTURAS DE ACERO
PARA EDIFICIOS***

EDICIÓN JULIO 2018



**Av. Cabildo 65 Subsuelo – Ala Savio
(C1426AAA) Buenos Aires – República Argentina
TELEFAX. (54 11) 4779-3182 / 4779-3183**

**E-mail: cirsoc@inti.gob.ar
cirsoc@fm.gob.ar**

INTERNET: www.inti.gob.ar/cirsoc

Primer Director Técnico († 1980): Ing. Luis María Machado

Directora Técnica: Inga. Marta S. Parmigiani

Área Estructuras de Hormigón: Ing. Daniel A. Ortega

Área Estructuras Sismorresistentes: Ing. Daniel Yañez García

Área Administración, Finanzas y Promoción: Lic. Mónica B. Krotz

Área Diseño, Edición y Publicaciones: Sr. Néstor D. Corti

© 2018

**Editado por INTI
INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGÍA INDUSTRIAL
Av. Leandro N. Alem 1067 – 7° piso - Buenos Aires. Tel. 4515-5000**

Queda hecho el depósito que fija la ley 11.723. Todos los derechos, reservados. Prohibida la reproducción parcial o total sin autorización escrita del editor. Impreso en la Argentina.

Printed in Argentina.

ORGANISMOS PROMOTORES

Secretaría de Obras Públicas de la Nación
Secretaría de Vivienda y Hábitat de la Nación
Instituto Nacional de Tecnología Industrial
Instituto Nacional de Prevención Sísmica
Ministerio de Hacienda, Finanzas y Obras Públicas de la Provincia del Neuquén
Consejo Interprovincial de Ministros de Obras Públicas
Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires
Dirección Nacional de Vialidad
Dirección de Vialidad de la Provincia de Buenos Aires
Consejo Vial Federal
Cámara Argentina de la Construcción
Consejo Profesional de Ingeniería Civil
Asociación de Fabricantes de Cemento Pórtland
Instituto Argentino de Normalización
Techint
Acindar - Arcelor Mittal

MIEMBROS ADHERENTES

Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón
Asociación Argentina de Hormigón Estructural
Asociación Argentina de Hormigón Elaborado
Asociación Argentina del Bloque de Hormigón
Asociación de Ingenieros Estructurales
Cámara Industrial de Cerámica Roja
Centro Argentino de Ingenieros
Instituto Argentino de Siderurgia
Transportadora Gas del Sur
Quasdam Ingeniería
Sociedad Argentina de Ingeniería Geotécnica
Colegio de Ingenieros de la Provincia de Buenos Aires
Cámara Argentina del Aluminio y Metales Afines
Cámara Argentina de Empresas de Fundaciones de Ingeniería Civil
Federación Argentina de la Ingeniería Civil

Reconocimiento Especial

*El INTI-CIRSOC agradece muy especialmente a las Autoridades del American National Standards Institute (ANSI) y del American Institute of Steel Construction (AISC) por habernos permitido adoptar como base para el desarrollo de este Reglamento, el documento **Specification for Structural Steel Buildings – ANSI/AISC 360-2010**.*

ASESORES QUE INTERVINIERON EN LA REDACCIÓN DEL

***REGLAMENTO ARGENTINO
DE ESTRUCTURAS
DE ACERO PARA EDIFICIOS***

CIRSOC 301

Ing. Gabriel Troglia

Ing. Daniel Troglia

Ing. Eduardo Asta (Capítulo N)

Ing. Jorge Mallamaci (Apéndice 4)

COMISION PERMANENTE DE ESTRUCTURAS DE ACERO DE INTI-CIRSOC

Coordinador

Ing. Gabriel R. Troglia

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA,
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS FÍSICAS Y
NATURALES – PROFESOR CONSULTO

Integrantes:

Lic. Marcelo Cinalli
Ing. Francisco Pedrazzi

INSTITUTO ARGENTINO DE SIDERURGIA

Ing. Jorge Mallamaci

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN JUAN, FACUL-
TAD DE INGENIERIA

Ing. Alejandro Sesin

TECHINT S.A.

Ing. Gustavo Darin

CENTRO ARGENTINO DE INGENIEROS

Ing. Juan Carlos Martínez
Ing. Ignacio Zardini

UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO, FACUL-
TAD DE CIENCIAS EXACTAS, INGENIERIA Y
AGRIM., CONSTRUCCIONES METÁLICAS II

Ing. Juan Carlos Piter

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL, FACUL-
TAD REGIONAL CONCEPCIÓN DEL URUGUAY

Ing. Héctor Auad

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUCUMÁN, FACUL-
TAD DE CIENCIAS EXACTAS Y TECNOLOGÍA

Ing. Alejandro Giuliano

INPRES - INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN
SÍSMICA

Ing. Faustino Amelong
Tco. Diego García
Ing. Adrián Puente Vergara

ACINDAR – GRUPO ARCELOR MITTAL

Ing. Oscar Arroyo

INTI - CONSTRUCCIONES

Ing. Agustín Fragueiro

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA –
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS FÍSICAS Y
NATURALES – CÁTEDRA DE ESTRUCTURAS
METÁLICAS Y DE MADERA

Ing. Mariano Semorile

IRAM

Ing. Rodolfo Rocca

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA

Ing. Pablo Alra

TENARIS-SIDERCA

COMISION PERMANENTE DE ESTRUCTURAS DE ACERO DE INTI-CIRSOC

(continuación)

Ing. Héctor Ruffo Ing. Manuel Müller	CINTER
Ing. Daniel García Gei	UNIVERSIDAD TECNOLOGICA NACIONAL, FACULTAD REGIONAL MENDOZA
Ing. Oscar Troviano	MINISTERIO DE HACIENDA, FINANZAS Y OBRAS PÚBLICAS DE LA PROVINCIA DEL NEUQUÉN, SUBSECRETARÍA DE OBRAS Y SERVICIOS PÚBLICOS
Ing. Francisco Crisafulli	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO, FACULTAD DE INGENIERIA
Ing. María Haydée Peralta Ing. María Inés Montanaro Ing. Irene Elisabet Rivas Ing. María Laura Godoy	UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES
Ing. Martín Polimeni	AIE
Ing. Enrique Trivelli	TUBHIER S.A.
Ing. Jorge Durán Ing. Gustavo Sibuet	DINSA
Ing. José M. Vidmar	INVITADO ESPECIAL
Ing. Antonio Coloccini	INVITADO ESPECIAL
Ing. Bruno Coloccini	INVITADO ESPECIAL
Ing. Eduardo Asta	INVITADO ESPECIAL
Inga. Nora Moncada	INVITADO ESPECIAL
Ing. Daniel Troglia	INVITADO ESPECIAL
Ing. Juan C. Steigerwald	INVITADO ESPECIAL
Ing. Roberto Cudmani	INVITADO ESPECIAL
Ing. Juan Carlos Reimundin	INVITADO ESPECIAL

ÍNDICE REGLAMENTO

SIMBOLOGÍA

GLOSARIO

CAPÍTULO A. ESPECIFICACIONES GENERALES

A.1. INTRODUCCIÓN	1
A.2. CAMPO DE VALIDEZ	1
A.3. MATERIALES Y NORMAS IRAM E IRAM-IAS DE APLICACIÓN	2
A.3.1. Acero Estructural	2
A.3.1. (a). Normas IRAM e IRAM-IAS	3
A.3.1. (b) Perfiles pesados	3
A.3.2. Bulones, tuercas y arandelas	4
A.3.3. Bulones de anclaje y barras roscadas	5
A.3.4. Metal de aporte y fundentes para soldadura	6
A.3.5. Propiedades generales del acero	6
A.4. REGLAMENTOS Y RECOMENDACIONES DE REFERENCIA	7
A.5. DOCUMENTACIÓN DE PROYECTO Y DOCUMENTACIÓN CONFORME A OBRA	8
A.5.1. Documentación de Proyecto	8
A.5.1.1. Planos	8
A.5.1.2. Memoria de Cálculo	9
A.5.1.3. Especificaciones	9
A.5.2. Documentación conforme a obra	9

CAPÍTULO B. REQUERIMIENTOS DE PROYECTO

B.1. ESPECIFICACIONES GENERALES	11
B.2. ACCIONES Y COMBINACIÓN DE ACCIONES	11
B.2.1. Acciones	11
B.2.1. (a) Acciones permanentes	11
B.2.1. (b) Acciones variables	12
B.2.1. (c) Acciones Accidentales	12
B.2.1. (d) Impacto	13

B.2.1. (e) Fuerzas horizontales en vigas carril de puentes grúas	13
B.2.2. Combinaciones de acciones para los estados límite últimos	13
B.2.3. Combinaciones de acciones para los estados límite de servicio	14
B.3. BASES DE PROYECTO	14
B.3.1. Estados límite	14
B.3.2. Dimensionamiento para estados límite últimos. Proyecto por resistencia	15
B.3.3. Estabilidad de la estructura	16
B.3.4. Proyecto de uniones	16
B.3.4. (a) Uniones simples (Articulaciones)	16
B.3.4. (b) Uniones de momento	16
B.3.5. Redistribución de momentos flectores en vigas	17
B.3.6. Diafragmas y sistemas de arriostramiento	17
B.3.7. Dimensionamiento para estados límite de servicio	18
B.3.8. Verificación del sistema estructural de cubierta o techo para acumulación de agua	18
B.3.9. Dimensionamiento para cargas cíclicas (fatiga)	18
B.3.10. Proyecto para condiciones de incendio	19
B.3.11. Efectos de la corrosión	19
B.3.12. Anclaje al hormigón	19
B.4. PROPIEDADES DE LOS MIEMBROS	19
B.4.1. Clasificación de las secciones de acero según el pandeo local	19
B.4.1. (a) Elementos no rigidizados	19
B.4.1. (b) Elementos rigidizados	20
B.4.2. Determinación del área bruta y el área neta de una sección transversal	23
B.4.2. (1) Área bruta (A_g)	23
B.4.2. (2) Área neta (A_n)	23
B.4.3. Propiedades de la sección para el dimensionado	25
B.5. FABRICACIÓN Y MONTAJE	25
B.6. CONTROL DE CALIDAD Y ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD	25

B.7. EVALUACIÓN DE ESTRUCTURAS EXISTENTES	25
---	----

CAPÍTULO C. PROYECTO POR CONSIDERACIONES DE ESTABILIDAD Y RESISTENCIA

C.1. ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA ESTABILIDAD DE LA ESTRUCTURA	27
C.1.1. Proyecto por el método de análisis directo (MAD)	28
C.1.2. Proyecto por métodos alternativos	28
C.2. DETERMINACIÓN DE LAS RESISTENCIAS REQUERIDAS POR EL MÉTODO DE ANÁLISIS DIRECTO. (MAD)	28
C.2.1. Especificaciones generales del análisis directo	28
C.2.2. Consideración de las imperfecciones iniciales	30
C.2.2. (a) Modelado directo de las imperfecciones	30
C.2.2. (b) Uso de cargas ficticias para representar las imperfecciones	30
C.2.3. Ajustes en la rigidez	31
C.3. DETERMINACIÓN DE LAS RESISTENCIAS DE DISEÑO PARA EL MÉTODO DE ANÁLISIS DIRECTO	32

CAPÍTULO D. PROYECTO DE MIEMBROS TRACCIONADOS

D.1. LÍMITES DE ESBELTEZ	33
D.2. RESISTENCIA DE DISEÑO A TRACCIÓN	33
D.3. ÁREA NETA EFECTIVA	34
D.4. BARRAS ARMADAS	37
D.5. BARRAS UNIDAS CON PERNO	37
D.5.1. Resistencia de diseño	37
D.5.2. Especificaciones sobre detalles y dimensiones	39
D.6. BARRAS DE OJO	39
D.6.1. Resistencia de diseño a tracción	39
D.6.2. Especificaciones sobre detalles y dimensiones	40

CAPÍTULO E. PROYECTO DE MIEMBROS COMPRIMIDOS	
E.1. ESPECIFICACIONES GENERALES	41
E.2. FACTOR DE LONGITUD EFECTIVA Y LIMITACIÓN DE ESBELTECES	42
E.3. RESISTENCIA NOMINAL A COMPRESIÓN POR PANDEO FLEXIONAL DE MIEMBROS SIN ELEMENTOS ESBELTOS	42
E.4. RESISTENCIA NOMINAL A COMPRESIÓN POR PANDEO TORSIONAL Y FLEXO-TORSIONAL	42
E.5. RESISTENCIA NOMINAL A COMPRESIÓN DE ÁNGULOS SIMPLES	47
E.6. BARRAS ARMADAS	48
E.6.1. Definición y alcance de las especificaciones	48
E.6.2. Resistencias nominales a compresión y especificaciones particulares y constructivas de barras armadas de Grupos I, II y III	50
E.6.2.1. Resistencias nominales a compresión	50
E.6.2.2. Especificaciones particulares y constructivas	52
E.6.3. Resistencia de diseño, verificación de los cordones y de los elementos de enlace, y especificaciones particulares y constructivas de barras armadas de Grupos IV y V	56
E.6.3.1. Resistencia a compresión. Verificación de los cordones y de los elementos de enlace	56
(a) Barras armadas del Grupo IV	56
(b) Barras armadas del Grupo V	60
E.6.3.2. Especificaciones particulares y constructivas	63
(a) Barras armadas del Grupo IV	63
(b) Barras armadas del Grupo V	63
E.7. RESISTENCIA NOMINAL A COMPRESIÓN DE MIEMBROS CON ELEMENTOS ESBELTOS	65
E.7.1. Factor de reducción Q_s para elementos no rigidizados	67
E.7.2. Factor de reducción Q_a para elementos rigidizados	70
CAPÍTULO F. PROYECTO DE VIGAS Y OTROS MIEMBROS EN FLEXIÓN	73
F.1. ESPECIFICACIONES GENERALES	74
F.2. MIEMBROS DE SECCIONES COMPACTAS DOBLE TE DE DOBLE SIMETRÍA Y CANALES FLEXADOS ALREDEDOR DE SU EJE FUERTE	75

F.2.1. Estado límite de plastificación	75
F.2.2. Estado límite de pandeo lateral-torsional	75
F.3. MIEMBROS DE SECCIÓN DOBLE DE DOBLE SIMETRÍA TE Y CANALES CON ALMAS COMPACTAS Y ALAS NO COMPACTAS O ESBELTAS, FLEXA- DOS ALREDEDOR DE SU EJE FUERTE	78
F.3.1. Estado límite de pandeo lateral-torsional	78
F.3.2. Estado límite de pandeo local del ala comprimida	78
F.4. OTROS MIEMBROS DE SECCIÓN DOBLE TE CON ALMAS COMPACTAS O NO COMPACTAS, CANALES CON ALMAS NO COMPACTAS, TODOS CON ALAS COMPACTAS, NO COMPACTAS O ESBELTAS Y FLEXADOS ALREDE- DOR DE SU EJE FUERTE	79
F.4.1. Estado límite de fluencia del ala comprimida	80
F.4.2. Estado límite de pandeo lateral-torsional	80
F.4.3. Estado límite de pandeo local del ala comprimida	83
F.4.4. Estado límite de fluencia del ala traccionada	84
F.5. MIEMBROS DE SECCIÓN DOBLE TE DE SIMPLE Y DOBLE SIMETRÍA CON CON ALMAS ESBELTAS FLEXADOS ALREDEDOR DE SU EJE FUERTE	85
F.5.1. Estado límite de fluencia del ala comprimida	85
F.5.2. Estado límite de pandeo lateral-torsional	86
F.5.3. Estado límite de pandeo local del ala comprimida	87
F.5.4. Estado límite de fluencia del ala traccionada	88
F.6. MIEMBROS DE SECCION DOBLE TE Y CANALES, FLEXADOS ALREDEDOR DE SU EJE DÉBIL	88
F.6.1. Estado límite de plastificación	88
F.6.2. Estado límite de pandeo local del ala	88
F.7. SECCIONES CAJÓN SIMÉTRICAS CON ALAS COMPACTAS, NO COMPACTAS Y ESBELTAS Y CON ALMAS COMPACTAS NO COMPACTAS, FLEXADAS Y ALREDEDOR DE UN EJE DE SIMETRÍA	89
F.7.1. Estado límite de plastificación	89

F.7.2. Estado límite de pandeo lateral-torsional	90
F.7.3. Estado límite de pandeo local del ala	92
F.7.4. Estado límite de pandeo local del alma	93
F.8. PERFILES TUBULARES SIN COSTURA DE SECCIÓN CIRCULAR	93
F.8.1. Estado límite de plastificación	94
F.8.2. Estado límite de pandeo local	94
F.9. SECCIONES TE Y ÁNGULOS DOBLES EN UNIÓN CONTINUA, CARGADAS EN EL PLANO DE SIMETRÍA	95
F.9.1. Estado límite de plastificación	95
F.9.2. Estado límite de pandeo lateral-torsional	95
F.9.3. Estado límite de pandeo local para alas de sección Te comprimidas	96
F.9.4. Estado límite de pandeo local del alma de sección Te comprimida por flexión	96
F.10. MIEMBROS DE ÁNGULO SIMPLE	97
F.10.1. Estado límite de plastificación	98
F.10.2. Estado límite de pandeo lateral-torsional	98
F.10.3. Estado límite de pandeo local del ala	101
F.11. BARRAS MACIZAS DE SECCIÓN RECTANGULAR Y CIRCULAR	102
F.11.1. Estado límite de plastificación	102
F.11.2. Estado límite de pandeo lateral-torsional	102
F.12. MIEMBROS CON SECCIONES ASIMÉTRICAS	103
F.12.1. Estado límite de fluencia	103
F.12.2. Estado límite de pandeo lateral-torsional	103
F.12.3. Estado límite de pandeo local	103

F.13. REQUISITOS DIMENSIONALES PARA VIGAS Y VIGAS ARMADAS	104
F.13.1. Reducciones en la resistencia de miembros con agujeros en las alas traccionadas	104
F.13.2. Valores límites de las dimensiones de miembros de sección doble Te	104
F.13.3. Chapas y platabandas adicionadas a las alas	105
F.13.4. Vigas de miembros apareados	107
F.13.5. Longitud lateralmente no arriostrada para redistribución de momentos	107
CAPÍTULO G. PROYECTO DE MIEMBROS SOMETIDOS A CORTE	
G.1. ESPECIFICACIONES GENERALES	109
G.2. MIEMBROS CON ALMAS NO RIGIDIZADAS Y CON ALMAS RIGIDIZADAS	110
G.2.1. Resistencia nominal al corte	110
G.2.2. Rigidizadores transversales	111
G.3. RESISTENCIA AL CORTE CON ACCIÓN DEL CAMPO A TRACCIÓN	113
G.3.1. Limitaciones para el uso de la acción del campo a tracción	113
G.3.2. Resistencia nominal al corte con acción del campo a tracción	113
G.3.3. Rigidizadores transversales	114
G.4. ÁNGULOS SIMPLES	115
G.5. TUBOS DE SECCIÓN CIRCULAR SIN COSTURA	115
G.6. CORTE POR FLEXIÓN ALREDEDOR DEL EJE DÉBIL DE SECCIONES DE DOBLE Y SIMPLE SIMETRÍA	116
G.7. INTERACCIÓN ENTRE FLEXIÓN Y CORTE	116
G.8. VIGAS CON ABERTURAS EN EL ALMA	117
CAPÍTULO H. PROYECTO DE MIEMBROS SOMETIDOS A SOLICITACIONES COMBINADAS Y TORSIÓN	
H.1. MIEMBROS DE DOBLE Y SIMPLE SIMETRÍA SOLICITADOS A FLEXIÓN Y A CARGA AXIL	119
H.1.1. Miembros de doble y simple simetría solicitados a flexión y a compresión	119

H.1.2. Miembros de doble y simple simetría solicitados a flexión y a tracción	119
H.1.3. Perfiles laminados compactos de doble simetría solicitados a flexión simple y a compresión	121
H.2. MIEMBROS DE SECCIÓN ASIMÉTRICA Y OTROS SOLICITADOS A FLEXIÓN Y A CARGA AXIL	122
H.3. MIEMBROS SOLICITADOS A TORSIÓN Y A COMBINACIÓN DE TORSIÓN, FLEXIÓN, CORTE Y/O CARGA AXIL	123
H.3.1. Resistencia de diseño a torsión de tubos de sección circular (tubos HSS sin costura)	123
H.3.2. Miembros tubulares de sección circular sometidos a combinación de torsión, corte, flexión y carga axil	124
H.3.3. Miembros no tubulares sometidos a combinación de torsión, corte, flexión y carga axil	125
H.4. RESISTENCIA A LA ROTURA DE ALAS CON AGUJEROS, SOMETIDAS A TRACCIÓN Y FLEXIÓN	125
H.5. BARRAS ARMADAS DE GRUPOS IV Y V SOMETIDAS A COMPRESIÓN Y FLEXIÓN	126
CAPÍTULO I. DISEÑO DE MIEMBROS DE SECCIÓN COMPUESTA	129
CAPÍTULO J. PROYECTO DE UNIONES, JUNTAS Y MEDIOS DE UNIÓN	131
J.1. ESPECIFICACIONES GENERALES	131
J.1.1. Bases de proyecto	131
J.1.2. Uniones simples (articulaciones)	132
J.1.3. Uniones de momento	132
J.1.4. Apoyo extremo por contacto de miembros axialmente comprimidos	132
J.1.5. Empalmes en perfiles pesados	133
J.1.6. Rebajes en vigas y agujeros de acceso para soldar	134
J.1.7. Distribución de bulones y soldaduras	134
J.1.8. Bulones en combinación con soldadura	134

J.1.9. Bulones de alta resistencia en combinación con remaches	135
J.1.10. Limitaciones para uniones abulonadas y soldadas	135
J.2. SOLDADURA	136
J.2.1. Soldadura a tope	136
J.2.1. (a) Área efectiva	136
J.2.1. (b) Limitaciones	139
J.2.2. Soldadura de filete	139
J.2.2. (a). Área efectiva	139
J.2.2. (b). Limitaciones	140
J.2.3. Soldadura de tapón y de muesca	145
J.2.3. (a). Área efectiva	145
J.2.3. (b). Limitaciones	145
J.2.4. Resistencia de diseño de uniones soldadas	145
J.2.5. Combinación de soldaduras	148
J.2.6. Material de aporte	148
J.2.7. Mezcla de material de soldadura	149
J.3. BULONES Y BARRAS ROSCADAS	149
J.3.1. Bulones de alta resistencia	149
J.3.1. (a) Tipos de uniones	149
J.3.1. (b) Requisitos de instalación	150
J.3.1. (c) Resistencia	151
J.3.2. Tamaño y uso de agujeros	151
J.3.3. Separación mínima	153
J.3.4. Distancia mínima al borde	154
J.3.5. Máxima separación y distancia al borde	154
J.3.6. Resistencia de diseño a la tracción o al corte en uniones tipo aplastamiento	155
J.3.7. Combinación de tracción y corte en uniones tipo aplastamiento	156
J.3.8. Bulones de alta resistencia en uniones de deslizamiento crítico	157
J.3.9. Tracción y corte combinados en uniones de deslizamiento crítico	159
J.3.10. Resistencia al aplastamiento de la chapa en los agujeros	159

J.3.11. Pasadores especiales	160
J.3.12. Pasadores traccionados	160
J.3.13. Espesor del paquete de chapas	160
J.4. ELEMENTOS AFECTADOS DE LOS MIEMBROS UNIDOS Y ELEMENTOS AUXILIARES DE LA UNIÓN	161
J.4.1. Resistencia de diseño de elementos sometidos a tracción	161
J.4.2. Resistencia de diseño de elementos sometidos a corte	161
J.4.3. Resistencia de diseño a la rotura de bloque de corte	162
J.4.4. Resistencia de diseño de elementos sometidos a compresión	162
J.4.5. Resistencia de diseño de elementos sometidos a flexión	162
J.5. CHAPAS DE RELLENO	163
J.5.1. Chapas de relleno en uniones soldadas	163
J.5.1. (a) Chapas de relleno delgadas	163
J.5.1. (b) Chapas de relleno gruesas	163
J.5.2. Chapas de relleno en uniones abulonadas	164
J.6. EMPALMES	165
J.7. RESISTENCIA AL APLASTAMIENTO	166
J.8. BASES DE COLUMNAS Y COMPRESIÓN SOBRE EL HORMIGÓN	167
J.9. ANCLAJE DE INSERTOS, BARRAS, PERNOS Y BULONES DE ANCLAJE	168
J.10. ALAS Y ALMAS SOMETIDAS A FUERZAS CONCENTRADAS	168
J.10.1. Flexión local del ala	169
J.10.2. Fluencia local del alma	170
J.10.3. Pandeo localizado del alma	172
J.10.4. Pandeo lateral del alma	173
J.10.5. Pandeo por compresión del alma	175
J.10.6. Fluencia por corte en alma de panel nodal	176

J.10.7. Extremos no rigidizados de vigas y vigas armadas	178
J.10.8. Especificaciones adicionales para rigidizadores para fuerzas concentradas (rigidizadores de fuerza)	178
J.10.9. Especificaciones adicionales para chapas de refuerzo para fuerzas concentradas	178
CAPÍTULO K. REQUISITOS ADICIONALES PARA CONEXIONES DE PERFILES TUBULARES Y SECCIONES CAJÓN	181
CAPÍTULO L. PROYECTO POR CONDICIONES DE SERVICIO	183
L.1. ESPECIFICACIONES GENERALES	183
L.2. CONTRAFLECHAS	184
L.3. DEFORMACIONES	184
L.4. DESPLAZAMIENTOS LATERALES	185
L.5. VIBRACIONES DE PISOS	186
L.6. MOVIMIENTO Y VIBRACIÓN INDUCIDOS POR EL VIENTO	186
L.7. DILATACIÓN Y CONTRACCIÓN	186
L.8. DESLIZAMIENTO DE UNIONES	186
CAPÍTULO M. FABRICACIÓN Y MONTAJE	187
M.1. PLANOS DE TALLER Y DE MONTAJE	187
M.2. FABRICACIÓN	188
M.2.1. Contraflecha, curvado y enderezado	188
M.2.2. Corte térmico	188
M.2.3. Aplanado de bordes	188
M.2.4. Construcciones soldadas	188
M.2.5. Construcciones abulonadas	188
M.2.6. Uniones por contacto de miembros comprimidos	189
M.2.7. Tolerancias dimensionales	189

M.2.8. Terminación de bases de columnas	189
M.2.9. Agujeros para barras de anclaje	190
M.2.10. Agujeros de drenaje	190
M.3. PINTURA DE TALLER	190
M.3.1. Requerimientos generales	190
M.3.2. Superficies inaccesibles	190
M.3.3. Superficies en contacto	190
M.3.4. Superficies mecanizadas	190
M.3.5. Superficies adyacentes a las soldaduras de obra	191
M.4. MONTAJE	191
M.4.1. Alineado de bases de columnas	191
M.4.2. Arriostramiento	191
M.4.3. Alineación	191
M.4.4. Ajuste de uniones de columnas y placas base	191
M.4.5. Soldaduras de obra	191
M.4.6. Pintura de obra	191
M.4.7. Uniones de obra	191
 CAPÍTULO N : CONTROL DE CALIDAD Y ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD	
N.1. CAMPO DE VALIDEZ	193
N.2. PROGRAMA DE CONTROL DEL CALIDAD DEL FABRICANTE Y DEL MONTADOR	194
N.3. DOCUMENTOS DEL FABRICANTE Y DEL MONTADOR	194
N.3.1. Requerimientos para la construcción en acero	194
N.3.2. Documentos disponibles para la construcción en acero	195
N.4. PERSONAL DE INSPECCIÓN Y ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS	196

N.4.1. Calificación del Inspector de control de calidad	196
N.4.2. Calificación del Inspector de aseguramiento de calidad	196
N.4.3. Calificación del personal para Ensayos No Destructivos (END)	196
N.5. REQUISITOS MÍNIMOS PARA LA INSPECCIÓN DE EDIFICIOS CON ESTRUCTURAS DE ACERO	196
N.5.1. Control de calidad	196
N.5.2. Aseguramiento de calidad	196
N.5.3. Inspecciones coordinadas	196
N.5.4. Inspección de soldaduras	197
N.5.5. Ensayos No Destructivos de juntas soldadas	200
N.5.6. Inspección de instalación de bulones de alta resistencia	201
N.5.7. Otras tareas de inspección	204
N.6. FABRICANTES E INSTALADORES APROBADOS	204
N.7. MATERIALES Y TRABAJOS RECHAZADOS	205
APÉNDICE 1. PROYECTO POR ANÁLISIS INELÁSTICO	
1.1. ESPECIFICACIONES GENERALES	207
1.2. REQUERIMIENTOS DE DUCTILIDAD	208
1.2.1. Material	208
1.2.2. Sección transversal del miembro. Relación ancho-espesor de elementos comprimidos	208
1.2.3. Longitud lateralmente no arriostrada	210
1.2.4. Resistencia de diseño a compresión axil	212
1.3. REQUERIMIENTOS PARA EL ANÁLISIS ESTRUCTURAL	212
1.3.1. Propiedades de los materiales y criterios de consideración de la fluencia	212
1.3.2. Imperfecciones geométricas iniciales	212
1.3.3. Efectos de las tensiones residuales y de la fluencia parcial	213
APÉNDICE 2. PROYECTO PARA ACUMULACIÓN DE AGUA	
2.1. PROYECTO SIMPLIFICADO PARA EVITAR ACUMULACIÓN DE AGUA	215
2.2. PROYECTO MEJORADO PARA EVITAR ACUMULACIÓN DE AGUA	216

APÉNDICE 3. PROYECTO PARA CARGAS CÍCLICAS (FATIGA)

3.1. ESPECIFICACIONES GENERALES	219
3.2. DETERMINACIÓN DE LA TENSIÓN MÁXIMA Y DEL RANGO DE TENSIÓN	220
3.3. VERIFICACIÓN DEL ESTADO LÍMITE DE FATIGA PARA MATERIAL BASE Y JUNTAS SOLDADAS. RANGO DE TENSIÓN DE DISEÑO	220
3.4. VERIFICACIÓN DEL ESTADO LÍMITE DE FATIGA PARA BULONES Y PARTES ROSCADAS. RANGO DE TENSIÓN DE DISEÑO	222
3.5. REQUERIMIENTOS ESPECIALES PARA FABRICACIÓN Y MONTAJE	223

APÉNDICE 4. PROYECTO PARA CONDICIONES DE INCENDIO

4.1. GENERALIDADES	241
4.2. ESPECIFICACIONES GENERALES	241
4.3. RESISTENCIA AL FUEGO	242

APÉNDICE 5. EVALUACIÓN DE ESTRUCTURAS EXISTENTES

5.1. ESPECIFICACIONES GENERALES	245
5.2. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES	245
5.2.1. Determinación de los ensayos necesarios	245
5.2.2. Propiedades mecánicas	246
5.2.3. Composición química	246
5.2.4. Tenacidad del metal base	246
5.2.5. Metal de soldadura	246
5.2.6. Bulones y remaches	246
5.3. EVALUACIÓN POR ANÁLISIS ESTRUCTURAL	247
5.3.1. Datos de dimensiones	247
5.3.2. Evaluación de resistencia	247
5.3.3. Evaluación de condiciones de servicio	247
5.4. EVALUACIÓN POR ENSAYOS DE CARGA	247
5.4.1. Determinación de la capacidad de sobrecarga útil por medio de ensayos	247
5.4.2. Evaluación de condiciones de servicio	248
5.5. INFORME DE LA EVALUACIÓN	248

APÉNDICE 6. ARRIOSTRAMIENTOS PARA LA ESTABILIDAD DE VIGAS Y COLUMNAS

6.1. ESPECIFICACIONES GENERALES	249
6.2. ARRIOSTRAMIENTOS DE COLUMNAS	250
6.2.1. Sistema de arriostramiento relativo	250
6.2.2. Sistema de arriostramiento nodal	250
6.3. ARRIOSTRAMIENTO DE VIGAS	251
6.3.1. Arriostramiento lateral	251
6.3.1. (a). Sistema de arriostramiento relativo	251
6.3.1. (b). Sistema de arriostramiento nodal	252
6.3.2. Arriostramientos para torsión	252
6.3.2. (a). Sistema de arriostramiento nodal	252
6.3.2. (b). Sistema de arriostramiento torsional continuo	254
6.4. ARRIOSTRAMIENTO DE VIGA-COLUMNA	254
6.5. ARRIOSTRAMIENTO DE PÓRTICOS	255

APÉNDICE 7. MÉTODOS ALTERNATIVOS PARA EL PROYECTO POR CONSIDERACIONES DE ESTABILIDAD Y RESISTENCIA

7.1. ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA ESTABILIDAD DE LA ESTRUCTURA	257
7.2. MÉTODO DE LA LONGITUD EFECTIVA (MLE)	258
7.2.1. Limitaciones	258
7.2.2. Determinación de las resistencias requeridas	258
7.2.3. Determinación de las resistencias de diseño	260
7.3. MÉTODO DE ANÁLISIS DE PRIMER ORDEN	265
7.3.1. Limitaciones	265
7.3.2. Determinación de las resistencias requeridas	265
7.3.3. Determinación de las resistencias de diseño	266

APÉNDICE 8. ANÁLISIS APROXIMADO DE SEGUNDO ORDEN

8.1. LIMITACIONES	267
8.2. PROCEDIMIENTOS DE CÁLCULO	267
8.2.1. Factor amplificador B_1 por efectos P- δ	268
8.2.2. Factor Amplificador B_2 por efectos P- Δ	270

ANEXO 1. EXPRESIONES CONTENIDAS EN ESTE REGLAMENTO EN FUNCIÓN DE E

SIMBOLOGÍA

La sección numerada entre paréntesis al final de la definición de un símbolo se refiere a la sección del Reglamento donde el símbolo es definido o utilizado por primera vez. Los Capítulos están identificados con letras mayúsculas mientras que los Apéndices (1 a 8) están identificados con números.

- A** área de los elementos directamente unidos, en cm^2 . (D.3).
- A_b** área nominal del cuerpo no roscado del bulón, o de la parte roscada, en cm^2 . (J.3.6).
- A_{BM}** área de la sección transversal del metal base, en cm^2 . (J.2.4).
- A_e** área neta efectiva, en cm^2 . (B.3).
- A_{ef}** área efectiva en barras con elementos comprimidos rigidizados, en cm^2 . (E.7.2).
- A_{fe}** área efectiva del ala traccionada, en cm^2 . (B.10.).
- A_{fg}** área bruta del ala, en cm^2 . (B.10.).
- A_{fn}** área neta del ala, en cm^2 . (B.10.).
- A_g** área bruta, en cm^2 . (B.4.2).
- A_{gv}** área bruta solicitada al corte, en cm^2 . (J.4.3).
- A_n** área neta, en cm^2 . (B.4.2).
- A_{nt}** área neta solicitada a tracción, cm^2 . (J.4.3).
- A_{nv}** área neta solicitada al corte, en cm^2 . (J.4.3).
- A_{pb}** proyección del área de aplastamiento, en cm^2 . (J.7).
- A_{sf}** área de corte de la línea de falla, en cm^2 . (D.5).
- A_w** área del alma, en cm^2 . (G.2).
- A_{we}** área efectiva de la soldadura, en cm^2 . (J.2.4).
- A₁** área de acero concéntrica con el apoyo de hormigón, en cm^2 . (J.8).
- A₂** máxima área de la superficie de apoyo, geoméricamente similar y concéntrica con el área cargada, en cm^2 . (J.8).

- B** factor para tensiones de flexión en perfiles Te y ángulos dobles. (F.9.2).
- B₁, B₂** factores utilizados en la determinación de **M_u** para amplificar momentos determinados por análisis de primer orden, cuando actúan simultáneamente fuerzas axiales. (8.2).
- C_b** coeficiente de flexión dependiente del diagrama de momento flexor. (F.1).
- C_m** coeficiente utilizado para calcular **B₁**, dependiente de la curvatura de la columna causada por la aplicación de momentos. (8.2.1).
- C_p** constante de flexibilidad de la viga primaria. (2.1).
- C_s** constante de flexibilidad de la viga secundaria. (2.1).
- C_v** relación entre la tensión crítica del alma según la teoría de pandeo lineal y la tensión de fluencia por corte del acero del alma. (G.2.1).
- C_w** módulo de alabeo, en cm⁶. (E.4).
- D** diámetro exterior del tubo, en cm. (F.8.1).
- D** peso propio de la estructura, de todo elemento de la construcción, de maquinaria fija. (B.2.1).
- D_u** factor que refleja la relación entre la pretensión media del bulón instalado y la pretensión mínima especificada. (J.3.8).
- E** módulo de elasticidad longitudinal del acero, en MPa. (A.3.5). (**E = 200 000 MPa**).
- E** acción sísmica. (B.2.1).
- F** acciones de líquidos en general (en caso de presencia continuada y con presiones y máxima altura bien definidas). (B.2.1).
- F_{EXX}** número de clasificación del electrodo (resistencia mínima especificada), en MPa. (Tabla J.2.5).
- F_L** el menor de (**F_{yf} - F_r**) ó **F_{yw}**, en MPa. Tabla (B.4.1).
- F_{BM}** resistencia nominal del metal base, en MPa. (J.2.4).
- F_{nt}** tensión nominal resistente a la tracción según la Tabla J.3.2., en MPa. (J.3.7).
- F'_{nt}** tensión nominal a la tracción calculada según la Tabla J.3.6., en MPa. (J.3.7).
- F_{nv}** tensión nominal resistente al corte según la Tabla J.3.2., en MPa. (J.3.7).
- F_{SR}** rango de tensión de diseño, en MPa. (3.3).
- F_{TH}** umbral de rango de tensión de fatiga, rango de tensión máximo para vida útil indefinida, en MPa. (3.3).

- F_{cr} tensión crítica de pandeo, en MPa. (E.3).
- F_{cry} tensión crítica de pandeo flexional alrededor de eje de simetría, en MPa. (E.4).
- F_{crz} tensión de pandeo flexotorsional para barras comprimidas formadas por ángulos dobles o perfiles Te, en MPa. (E.4).
- F_e tensión de pandeo elástico flexional, torsional o flexotorsional, en MPa. (E.3).
- F_{ex} tensión de pandeo flexional elástico respecto al eje fuerte, en MPa. (E.4).
- F_{ey} tensión de pandeo flexional elástico respecto al eje débil, en MPa. (E.4).
- F_{ez} tensión de pandeo torsional elástico, en MPa. (E.4).
- F_r tensión residual de compresión en el ala (**69 MPa** para secciones laminadas; **114 MPa** para secciones soldadas). (Tabla B.4.1b).
- F_u tensión mínima de rotura a la tracción especificada para el tipo de acero que está siendo utilizado, en MPa. (D.2).
- F_{nw} resistencia nominal del material del electrodo, en MPa. (J.2.4).
- F_y tensión de fluencia mínima especificada para el acero que se está utilizando. El término "tensión de fluencia" se refiere en este Reglamento, al punto mínimo de fluencia (para aquellos aceros que presentan un punto de fluencia), o a la tensión de fluencia especificada (para aquellos aceros que no presentan un punto de fluencia), en MPa. (Tabla B.4.1a).
- F_{yf} tensión de fluencia mínima especificada del acero del ala, en MPa. (Tabla B.4.1b).
- F_{yst} tensión de fluencia mínima especificada del acero de rigidizadores, en MPa. (G.3.3).
- F_{yw} tensión de fluencia mínima especificada del acero del alma, en MPa. Tabla (B.4.1b).
- G módulo de elasticidad transversal elástico del acero, en MPa. (A.3.5). (**$G = 77200 \text{ MPa}$**).
- H peso y empuje lateral del suelo y del agua en el suelo. (B.2.1).
- H fuerza horizontal debida a las cargas laterales que producen el desplazamiento Δ_{oh} , en kN. (8.2.2).
- H constante de flexión. (E.4).
- I_1 momento de inercia del cordón de una columna armada con respecto al eje paralelo al eje libre analizado, en cm^4 . (E.6.3.1(b)).
- I_d momento de inercia de la chapa de acero de cubierta apoyada en las barras secundarias, en cm^4/cm . (2.1).
- I_p momento de inercia de barras primarias, en cm^4 . (2.1).

- I_p momento de inercia de una presilla en su plano, en cm^4 . (E.6.3.1(b)).
- I_s momento de inercia de barras secundarias, en cm^4 . (2.1).
- I_{st} momento de inercia del rigidizador transversal, en cm^4 .(G.2.2).
- I_x, I_y momentos de inercia de la sección respecto de los ejes principales, fuerte y débil respectivamente, en cm^4 . (E.4).
- I_{yc} momento de inercia del ala comprimida con respecto al eje **y**, o si la flexión produce doble curvatura, del ala mas pequeña con respecto al eje **y**, en cm^4 . (F.4.2).
- I_w momento de inercia de la sección de una barra de ángulo simple con respecto al eje principal de mayor momento de inercia, en cm^4 . (F.10.2).
- I_z momento de inercia de la sección de una barra de ángulo simple con respecto al eje principal de menor momento de inercia, en cm^4 . (F.10.2).
- J módulo de torsión para una sección, en cm^4 . (E.4).
- K_{sc} factor de reducción de la fuerza de rozamiento en uniones de deslizamiento crítico sometidas a tracción y a corte. (J.3.9).
- L altura de piso o espaciamiento de paneles, en cm. (8.2.2).
- L longitud de la unión en la dirección de la fuerza, en cm. (D.3).
- L acción en pisos debida a la ocupación, al equipamiento, al montaje, a líquidos, a granos, a acciones térmicas no normativas; acción en techo por sobrecargas suspendidas (B.2.1).
- L longitud lateralmente no arriostrada del miembro comprimido, cm. (E.2).
- L longitud de cordón de soldadura, en cm. (D.3).
- L longitud de aplastamiento del apoyo, en cm. (J.7).
- L_b longitud lateralmente no arriostrada; longitud entre puntos de arriostramiento contra el desplazamiento lateral del ala comprimida o entre puntos arriostrados contra la torsión de la sección transversal, en cm. (F.2.2).
- L_c distancia libre en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o el borde del material, en cm. (J.3.10).
- L_p longitud lateralmente no arriostrada límite para desarrollar la capacidad de plastificación total por flexión, para el caso de momento uniforme ($C_b = 1$), en cm. (F.2.2).
- L_p separación entre columnas en la dirección de la viga principal, en cm. (2.1).
- L_{pd} longitud lateralmente no arriostrada límite para **análisis global inelástico**, en cm. (1.2.3).

L_q	máxima longitud no arriostrada para la carga axil requerida de la columna con $k = 1$; máxima distancia no arriostrada de una viga para desarrollar M_u , en cm. (6.2.1) (6.3.1).
L_r	longitud lateralmente no arriostrada límite para pandeo lateral torsional inelástico, en cm. (F.2.2).
L_r	acción en techo por sobrecargas útiles, montaje y mantenimiento de cubiertas. (B.2.1).
L_s	separación entre columnas en la dirección perpendicular a la viga principal, en cm. (2.1).
L_v	distancia entre la sección con esfuerzo de corte máximo y la sección con esfuerzo de corte nulo, en cm. (G.5).
M_A	valor absoluto del momento flexor al cuarto del segmento de viga no arriostrado, en kNm. (F.1).
M_B	valor absoluto del momento flexor al medio del segmento de viga no arriostrado, en kNm. (F.1).
M_C	valor absoluto del momento flexor a tres cuartos del segmento de viga no arriostrado, en kNm. (F.1).
M_{cr}	momento de pandeo elástico, en kNm. (F.2.2).
M_{dx}	resistencia de diseño a flexión alrededor del eje fuerte, en kNm. (H.4).
M_{lt}	resistencia requerida a flexión debida solamente al desplazamiento lateral del pórtico, en kNm. (8.2).
$M_{máx}$	valor absoluto del máximo momento flexor en el segmento de viga no arriostrado, en kNm. (F.1).
M_n	resistencia nominal a flexión, en kNm. (F.2.1).
M_{nt}	resistencia requerida a flexión en una barra suponiendo que no hay desplazamiento lateral del pórtico al cual pertenece, en kNm. (8.2).
M_{ob}	momento elástico de pandeo lateral torsional para miembros de ángulo simple, en kNm. (F.10.2).
M_p	momento plástico de flexión, en kNm. (Tabla B.4.1b).
M_r	momento límite de pandeo igual a M_{cr} , cuando $\lambda = \lambda_r$ y $C_b = 1$ kNm. (F.2.2).
M_s	momento de segundo orden en barras armadas axialmente comprimidas resultante de la excentricidad inicial, en kNm. (E.6.3.1).
M_u	resistencia requerida a flexión, en kNm. (8.2).
M_{u1}	momento flexor requerido en un cordón de una barra armada del Grupo V generado por la deformación inicial, en kNm. (E.6.3.1(b)).

M_{xc}	momento elástico referido al ala comprimida, en kNm. (F.4).
M_y	momento correspondiente a la llegada a fluencia de la fibra extrema para una distribución elástica de tensiones sin tensiones residuales ($= F_y S (10)^{-1}$ para secciones homogéneas), en kNm. (Tabla B.4.1b).
M_1	menor momento flexor en el extremo de la longitud no arriostrada de la viga o viga-columna, en kNm. (8.2.1).
M_2	menor momento flexor en el extremo de la longitud no arriostrada de la viga o viga-columna, en kNm. (8.2.1).
N	longitud de carga de la fuerza concentrada, en cm. (J.10.2).
N	número de variaciones del rango de tensión en la vida útil de la estructura. (3.3).
N_b	cantidad de bulones cargados con la fuerza de tracción T_u . (J.3.9).
N_i	carga ficticia aplicada en el nivel i , en kN. (C.2.2(b)).
N_s	cantidad de superficies de rozamiento. (J.3.8).
P_{br}	resistencia requerida de la riostra, en kN. (6.2.2).
P	paso de rosca, cm/rosca. (3.4).
P_{cm}	carga de Euler de una columna armada para la esbeltez modificada, en kN. (E.6.3.1).
P_{e1}, P_{e2}	carga de pandeo elástico de Euler para miembros de pórticos arriostrados y no arriostrados, respectivamente, en kN. (8.2.1), (8.2.2).
P_n	resistencia nominal a fuerza axial (compresión o tracción), en kN. (D.1.).
P_p	resistencia nominal al aplastamiento del hormigón, en kN. (J.8).
P_u	resistencia axial requerida (compresión o tracción) del miembro, en kN. (C.2.3).
P_{u1}	fuerza axial requerida en cada barra de una columna armada, en kN. (E.6.3.1).
P_y	resistencia nominal a compresión por fluencia, en kN. (C.2.3).
$P \Delta$	efecto de segundo orden como consecuencia del desplazamiento lateral del pórtico (C.2.1).
$P \delta$	efecto de segundo orden por efecto de cargas transversales entre los nudos. (C.2.1).
Q	factor de reducción por pandeo local de elementos esbeltos comprimidos. (E.7).

Q_a	factor de reducción por pandeo local para elementos esbeltos comprimidos rigidizados. (E.7).
Q_s	factor de reducción por pandeo local para elementos esbeltos comprimidos no rigidizados. (E.7).
R	acción debida a la lluvia inicial o hielo sin considerar los efectos de acumulación de agua. (B.2.1).
R_{PG}	factor de reducción de la resistencia nominal a flexión de una viga armada. (F.5.1).
R_e	factor de viga armada híbrida. (F.5.2).
R_d	resistencia de diseño. (B.3.2).
R_n	resistencia nominal. (B.3.2).
R_{pc}	factor de plastificación del alma para fluencia del ala comprimida. (F.4.2).
R_{pt}	factor de plastificación del alma para fluencia del ala traccionada. (F.4.4).
R_{str}	resistencia nominal al deslizamiento, en kN. (J.3.8).
R_u	resistencia requerida. (B.3.2).
S	módulo resistente elástico de la sección, en cm^3 . (F.2.1).
S	acción de la nieve. (B.2.1).
S	separación de miembros secundarios, en cm. (2.1).
S_c	módulo resistente elástico de la sección relativo al eje de flexión y correspondiente a la punta comprimida, en miembros de ángulo simple, en cm^3 . (F.10.3).
S_t	módulo resistente elástico de la sección relativo al eje de flexión y correspondiente a la punta traccionada, en miembros de ángulo simple, en cm^3 . (F.10.1).
S_{eff}	módulo resistente elástico de la sección efectiva respecto al eje fuerte, en cm^3 . (F.7.3).
S_{lim}	valores límites adoptados para los efectos de servicio. (B.3.7).
S_{ser}	valores de los efectos obtenidos por las combinaciones de servicio. (B.3.7).
S_{xt}, S_{xc}	módulo resistente elástico de la sección relativo al eje de flexión y correspondiente a la fibra extrema del ala traccionada o comprimida, respectivamente, en cm^3 . (F.4.2).
T	acciones térmicas climáticas, acciones térmicas funcionales del tipo normativo, deformaciones impuestas por el proceso constructivo o fuerzas resultantes del proceso de soldado. (B.2.1).
T	fuerzas resultantes del proceso de soldadura. (B.2.1).

T_b	fuerza de pretensado mínima para bulones de alta resistencia totalmente traccionados, en kN.(J.3.8).
T_d	resistencia de diseño a torsión, en kNm. (H.3.2).
T_u	resistencia a tracción requerida debida a acciones mayoradas, en kN. (J.3.9).
T_u	resistencia a torsión requerida debida a acciones mayoradas, en kNm. (H.3.2).
U	coeficiente de reducción, utilizado en el cálculo del área neta efectiva. (D.3).
U_{bs}	coeficiente de reducción del área neta traccionada. (J.4.3).
U_p	índice de tensión para el miembro primario. (2.2).
U_s	índice de tensión para el miembro secundario. (2.2).
V	esfuerzo de corte ideal en una barra armada, en kN. (E.6.2).
V_{eu}	esfuerzo de corte requerido en columnas armadas axialmente comprimidas generado por la deformación inicial, en kN. (E.6.3.1).
V_n	resistencia nominal al corte, en kN. (G.1).
V_u	resistencia requerida al corte, en kN. (G.3.3).
V_{u1}	esfuerzo de corte requerido en un cordón de una columna armada del Grupo V generado por la deformación inicial, en kN. (E.6.3.1(b)).
Y_i	carga gravitacional mayorada aplicada en el nivel i , en kN. (C.2.2(b)).
Y_t	coeficiente que actúa sobre el área bruta del ala traccionada. (F.13.1).
W	acción del viento. (B.2.1).
X_1	factor de pandeo de viga definido por la expresión (F.2.4c), en MPa. (F.2.2).
X_2	factor de pandeo de viga definido por la expresión (F.2.4d), en $(\text{MPa})^2$. (F.2.2).
Z	módulo plástico de la sección, en cm^3 . (F.2.1).
a	distancia entre rigidizadores transversales, en cm. (G.2.1).
a	distancia entre conectores en una barra armada, en cm. (E.6.2).
a	menor distancia desde el borde del agujero del pasador hasta el borde del miembro, medida en la dirección paralela a la fuerza, en cm. (D.5.1).
a_w	relación entre el área de alma y el área de ala comprimida. (F.5.2).
a'	longitud de soldadura, en cm. (F.13.3).

b	ancho de un elemento comprimido, en cm. (B.4.1).
b_e	ancho efectivo reducido para elementos esbeltos comprimidos, en cm. (E.7.2).
b_{eff}	distancia efectiva a borde, en cm. (D.5).
b_f	ancho del ala, en cm. (B.4.1).
b_i	ala larga del ángulo, en cm. (E.5).
b_p	ancho de platabanda, en cm. (Figura F.13.1).
b_s	ancho del rigidizador para rigidizadores de un solo lado, en cm. (C.3.2(a)).
b_s	ala corta del ángulo, en cm. (E.5).
d	diámetro nominal de un bulón, en cm. (J.3.10).
d	altura total de la sección de un miembro, en cm. (B.4.1).
d	diámetro del perno, en cm. (D.5.1).
d_b	altura de la viga, en cm. (J.10.6).
d_b	diámetro nominal (diámetro del cuerpo o espiga), en cm. (3.4).
d_c	altura de la columna, en cm. (J.10.6).
e	base del logaritmo natural.
e_o	mínima deformación inicial para columna armada, en cm. (E.6.3.1).
f_1, f_2	factores de carga de acompañamiento en combinaciones de acciones. (B.2.2).
f'_c	resistencia especificada a compresión del hormigón, en MPa. (J.8).
f_o	tensión debida a la combinación de acciones $1,2 D + 1,2 R$, en MPa. (2.2).
f_{ua}	tensión normal requerida por compresión, en MPa. (H.2).
f_{un}	tensión normal requerida, en MPa, (H.3.3).
f_{ubw}, f_{ubz}	tensiones normales requeridas por flexión, en MPa. (H.2).
f_{uv}	tensión de corte requerida, en MPa. (H.3.3).
f_v	tensión de corte requerida en bulones debida a acciones mayoradas, en MPa. (J.3.7).
g	distancia en dirección perpendicular a la fuerza entre centros de agujeros consecutivos, en cm. (B.4.2).

h	distancia libre entre alas menos los radios de acuerdo entre alma y alas en secciones laminadas; y para secciones armadas: la distancia entre líneas adyacentes de pasadores o la distancia libre entre las caras internas de las alas cuando se utiliza soldadura, en cm. (B.4.1).
h	distancia entre centros de gravedad de las barras componentes de una barra armada medida perpendicularmente al eje de pandeo de la barra, cm. (E.6.3.1).
h_c	valor igual al doble de la distancia entre el baricentro de la sección y la cara interna del ala comprimida menos el radio de acuerdo entre el alma y el ala, para secciones laminadas línea de pasadores más próxima al ala comprimida ó a la cara interna del ala comprimida cuando se utiliza soldadura, para secciones armadas, en cm. (B.4.1).
h_i	distancia del baricentro de una sección a la línea inferior de pasadores entre el alma y el ala, en secciones laminadas. La cara superior del ala inferior, en secciones soldadas, en cm. (Figura B.4.1).
h_f	factor de chapas de relleno. (J.3.8).
h_o	distancia entre centros de gravedad de las alas, en cm. (E.4).
h_p	el doble de la distancia entre el eje plástico de una sección y la cara interna del ala comprimida cuando se utiliza soldadura, para secciones armadas, en cm. (Tabla B.4.1b).
h_s	distancia del baricentro de una sección a: la línea superior de pasadores entre alma y ala, en secciones laminadas; la cara inferior del ala superior, en secciones soldadas, en cm. (Figura B.4.1).
h_w	altura del alma, en cm. (Tabla B.4.1a).
j	factor definido mediante la expresión A-F.2.4 para el momento de inercia mínimo de un rigidizador transversal. (G.2.2).
k	factor de longitud efectiva de barras para pandeo flexional. (C.3).
k	distancia desde la cara externa del ala al inicio del alma, en cm. (J.10.2).
k_c	coeficiente que mide la interacción ala-alma para pandeo local. (Tabla B.4.1b).
k_v	coeficiente de abolladura de la placa del alma. (G.2.1).
k_z	factor de longitud efectiva para pandeo torsional. (E.4).
k_y	factor de longitud efectiva para barras con almas de altura variable. (A-F.3.3.).
m	relación entre tensión de fluencia del alma y tensión de fluencia o tensión crítica del ala, para vigas híbridas. (F.5.2).
n	número de barras de la columna armada. (E.6.3.1).

n	número de puntos arriostrados nodalmente dentro de la longitud de la viga. (6.3.2(a)).
n_1	número de barras del cordón de una columna armada. (E.6.3.1).
n_p	número de planos de presillas. (E.6.3.1(b)).
r	radio de giro gobernante, en cm. (E.2).
r_i	radio de giro mínimo de una barra componente en una barra armada, en cm. (E.6.2).
\bar{r}_o	radio de giro polar respecto del centro de corte, en cm. (E.4).
r_x, r_y	radio de giro respecto a los ejes principales x e y respectivamente, en cm. (E.4).
r_t	radio de giro efectivo para pandeo lateral-torsional, en cm. (F.4.2).
r_z	radio de giro de la sección de un miembro de ángulo simple con respecto al eje principal de menor inercia, en cm. (E.5).
s	distancia en la dirección de la fuerza entre centros de agujeros consecutivos, en cm. (B.4.2).
t	espesor del elemento o de la chapa, en cm. (Tabla B.4.1a).
t_{fc}	espesor de ala comprimida, en cm. (F.4.2).
t_p	ancho de platabanda, en cm. (Figura F.13.1).
t_s	espesor del rigidizador del alma, en cm. (6.3.2(a)).
t_w	espesor de alma, en cm. (Tabla B.4.1a).
w	lado del filete de soldadura, en cm. (J.2.2).
w	subíndice relativo al eje de flexión correspondiente al eje principal de mayor inercia.
w	ancho de la chapa; distancia entre soldaduras, en cm. (D.3).
x	subíndice relativo al eje fuerte de flexión.
x_o, y_o	coordenadas del centro de corte con respecto del centro de gravedad, en cm. (E.4).
\bar{x}	excentricidad de la unión, en cm. (D.3).
y	subíndice relativo al eje débil de flexión.
z	subíndice relativo al eje longitudinal de la barra.
z	subíndice relativo al eje de flexión correspondiente al eje principal de menor inercia.

z_o	coordenada en la dirección del eje z del centro de corte con respecto al centro de gravedad de la sección en una barra de ángulo simple, en cm. (F.10.2).
α_a	coeficiente de dilatación térmica del acero. (A.3.5).
β	factor de reducción dado por la expresión J.2.1. (J.2.2).
β_T	rigidez requerida del arriostramiento excluida la distorsión del alma, en kNm/radián. (6.3.2(a)).
β_{Tb}	rigidez requerida del pórtico transversal o diafragma de arriostramiento, en kNm/radián. (6.3.2(a)).
β_{br}	rigidez lateral requerida de la riostra, en kN/cm. (6.2.2).
β_{sec}	rigidez distorsional del alma incluido el efecto de rigidizadores transversales del alma. cualquiera sean ellos, en kNm/radián. (6.3.2(b)).
β, β_1, β_2	factores para obtener el corte por pandeo en columnas armadas. (E.6.3).
β_w	propiedad especial de la sección para perfiles ángulo de alas desiguales, en cm. (F.10.2).
Δ_{oH}	desplazamiento lateral relativo del piso considerado, en cm. (8.2.2).
γ_a	peso específico del acero. (A.3.5).
μ	coeficiente de Poisson en período elástico. $\mu = 0,3$. (A.3.5).
λ_1	valor auxiliar relacionado con la rigidez a corte de la celosía o el sistema de presillas en barras armadas de los Grupos IV y V. (E.6.3.1).
λ_c	factor de esbeltez adimensional de barras comprimidas. (E.3).
λ_e	factor de esbeltez equivalente. (E.6.3.1).
λ_m	esbeltez modificada de la columna armada. (E.6.3.1).
λ_o	esbeltez de la columna armada actuando como una unidad. (E.6.3.1).
λ_p	relación ancho-espesor límite para elemento compacto. (B.4.1).
λ_{pp}	relación ancho-espesor límite para elementos comprimidos de secciones de miembros de estructuras de edificios que sean rótulas plásticas para un análisis global inelástico. (1.2.2).
λ_{pf}	esbeltez límite para ala compacta. (F.3.2).
λ_r	relación ancho-espesor límite para elemento comprimido no compacto en flexión y elemento no esbelto en compresión axil. (B.4.1).

λ_{rf}	esbeltez límite para ala no compacta. (F.3.2).
ε_u	deformación específica correspondiente a F_u . (1.2.1).
ε_y	deformación específica correspondiente a F_y . (1.2.1).
ϕ	factor de resistencia. (B.3.2).
ϕ_b	factor de resistencia para flexión. (F.1).
ϕ_c	factor de resistencia para compresión. (E.1).
ϕ_{sf}	factor de resistencia para corte en la línea de falla. (D.5.1).
ϕ_t	factor de resistencia para tracción. (D.2).
ϕ_v	factor de resistencia para corte. (G.1).
ρ_{st}	mayor valor entre (F_{yw}/F_{yst}) y 1. (G.3.3).
τ_b	factor adicional de reducción de la rigidez a flexión. (C.2.3).
θ	factor que considera la influencia de la rigidez de las presillas en la rigidez de una columna armada. (E.6.3.1(b)).

GLOSARIO

A

Acción: conjunto de fuerzas o momentos exteriores activos, concentradas o distribuidas (acciones directas), o deformaciones impuestas o restringidas (acciones indirectas) aplicadas a una estructura. También se puede denominar **estado de carga** o simplemente **carga**.

Acción del campo a tracción: el comportamiento de un panel de viga armada sometido a una fuerza de corte, en el cual se desarrollan en el alma fuerzas diagonales de tracción y en los rigidizadores transversales fuerzas de compresión, presentando un comportamiento similar al de una viga reticulada tipo Pratt.

Acción de servicio: intensidad esperada de una acción para un uso normal de la estructura durante la vida útil de la misma. En general se considera como tal la acción nominal.

Acción de palanca: efecto de palanca que existe en uniones en las que la línea de acción de la carga aplicada es excéntrica con respecto al eje del bulón, y que produce una deformación de la parte unida y una amplificación de la fuerza actuante en el bulón.

Acción inelástica: deformación del material que no desaparece al dejar de actuar la carga que la produce.

Acción mayorada: el producto de la acción nominal por el factor de carga correspondiente. También **carga mayorada**.

Acción nominal: intensidad mínima de una acción especificada por los correspondientes Reglamentos CIRSOC e INPRES-CIRSOC u otras especificaciones aplicables a falta de aquéllos. También se denomina **carga nominal**.

Análisis de primer orden: análisis estructural basado en las deformaciones de primer orden, en el cual las condiciones de equilibrio son formuladas sobre la estructura sin deformar.

Análisis de segundo orden: análisis estructural basado en las deformaciones de segundo orden, en el cual las condiciones de equilibrio son formuladas sobre la estructura deformada.

Análisis estructural: proceso de determinación de los efectos de las acciones en los elementos estructurales (miembros, uniones) basado en determinadas hipótesis.

Análisis elástico: determinación de los efectos de las cargas (fuerzas, momentos, tensiones, etc.) en miembros y uniones con la hipótesis de que la deformación del material desaparece al dejar de actuar las cargas y que el diagrama tensión-deformación del acero es lineal, sea cual fuere el nivel de tensión. También **análisis global elástico**.

Análisis inelástico: determinación de los efectos de las cargas (fuerzas, momentos, etc.) en miembros y uniones con métodos que adoptan hipótesis de comportamiento no elástico del material (por ejemplo método rígido-plástico), que el equilibrio es satisfecho en todos los puntos

de la estructura y que no es superada la fluencia en ningún punto de la misma. Puede ser necesario considerar los efectos de segundo orden. También **análisis global inelástico**.

Ancho efectivo reducido: ancho reducido de un elemento que, con una distribución uniforme de tensión, produce el mismo comportamiento estructural del elemento, que el ancho real con una distribución no uniforme de tensiones.

AISC-LRFD: Especificación del American Institute of Steel Construction basada en el Load and Resistance Factor Design (Método del Factor de Carga y Resistencia), método de dimensionamiento de componentes estructurales (miembros, uniones, etc.) por el cual ningún estado límite pertinente es superado cuando la estructura es sometida a todas las combinaciones de acciones apropiadas.

Arriostramiento nodal: sistema de arriostramiento que previene el desplazamiento lateral o el giro en la ubicación de la riostra a lo largo de la viga o columna, sin ninguna ligazón directa con otra riostra ubicada en puntos arriostrados adyacentes.

Arriostramiento relativo: sistema de arriostramiento que controla el movimiento relativo de dos puntos arriostrados adyacentes a lo largo de la viga o columna o el desplazamiento lateral relativo de dos pisos de un pórtico.

B

Barra: elemento estructural. También miembro.

Barra armada: elemento estructural formado por perfiles, chapas u otras piezas metálicas unidos por bulones, remaches o soldaduras de manera que actúan como un conjunto frente a los efectos de las acciones.

Barras de chapa de acero conformada en frío: elementos estructurales conformados por plegado o doblado de chapas sin la aplicación de calor.

Barras del arriostramiento lateral: las barras utilizadas en forma individual o integrando un sistema de arriostramiento para impedir el pandeo de miembros o elementos y/o para resistir acciones laterales.

Barra de ojo: un tipo particular de barra traccionada con extremo articulado, de espesor uniforme, con cabeza laminada u obtenida por corte térmico de mayor ancho que el cuerpo de la barra y proporcionada de modo de tener igual resistencia en la cabeza que en el cuerpo.

C

Carga: ver **acción**.

Carga de Euler: fuerza axial crítica de pandeo para una columna biarticulada de eje recto, fuerza perfectamente centrada y material perfectamente elástico. Su valor está dado por la fórmula de Euler.

Carga mayorada: ver *acción mayorada*.

Carga nominal: ver *acción nominal*.

Columna: miembro en general vertical cuya función primaria es recibir, resistir y transmitir fuerzas de compresión que actúan según su eje longitudinal.

Columna escalonada: columna con cambios bruscos de sección transversal en determinados puntos de su longitud.

Columnas sin rigidez lateral: columnas con carga axial gravitatoria, biarticuladas a un pórtico que no aportan resistencia a la acción de fuerzas laterales.

Combinación de acciones: actuación simultánea de una o más acciones.

Combinación de acciones crítica: combinación de acciones que produce el mayor valor de un determinado efecto en un determinado miembro o unión.

Concentración de tensiones: tensiones localizadas considerablemente mayores que el promedio (aún en secciones transversales de espesor uniforme, uniformemente cargadas) debido a cambios bruscos en la geometría o en la posición de la carga.

Curva de pandeo: expresión gráfica de la relación entre la tensión crítica de pandeo y la esbeltez del miembro comprimido.

Curvatura: rotación por unidad de longitud debida a la flexión.

D

Deformación plástica: la diferencia entre la deformación total y la deformación elástica.

Desplazamiento lateral: movimiento lateral de la estructura producido por la actuación de fuerzas laterales, acciones verticales asimétricas o por la asimetría de las propiedades de la estructura.

Desplazamiento relativo de piso: diferencia de desplazamiento horizontal entre el nivel superior y el nivel inferior del piso.

Doble curvatura: condición de flexión en la que los momentos flexores extremos del miembro producen una deformada en forma de S.

Documentación de proyecto: conjunto de planos generales y de detalles básicos; memoria de cálculo; y especificaciones de materiales, fabricación, protección anticorrosiva y otras protecciones, montaje y construcción de la estructura.

E

Efectos de segundo orden (efectos $P-\Delta$ y $P-\delta$): efectos producidos en los miembros comprimidos por la fuerza axial y el desplazamiento lateral relativo de los nudos extremos o la deformación del miembro, los cuales incrementan los momentos flexores requeridos.

Eje débil: el eje principal con respecto al cual el momento de inercia de la sección transversal es menor.

Eje fuerte: el eje principal con respecto al cual el momento de inercia de la sección transversal es mayor.

Eje libre: eje perpendicular al eje material que pasa por el centro de gravedad de una barra armada considerada como un conjunto.

Eje material: eje que une los centros de gravedad de los perfiles longitudinales que forman una barra armada.

Elemento estructural: componente de la estructura resistente.

Elementos de sección: partes planas que componen la sección transversal de un miembro.

Empalme: unión entre dos elementos estructurales unidos por sus extremos para formar un miembro más largo.

Endurecimiento por deformación: fenómeno que ocurre en los aceros dúctiles los que, luego de una importante deformación a partir del punto de fluencia, presentan una resistencia mayor al nivel de tensión que produjo la fluencia.

Esbeltez: relación entre la longitud efectiva de un miembro comprimido y el radio de giro de su sección transversal, ambos con respecto al mismo eje de pandeo. También **relación de esbeltez**.

Estado límite: una condición más allá de la cual la estructura o una parte de ella no logra satisfacer los comportamientos requeridos por el proyecto. Puede no ser más útil para la función a que está destinado (estado límite de servicio) o ser inseguro (estado límite último).

Estado límite de servicio: condición límite que afecta la capacidad de la estructura con un uso normal para conservar el aspecto, el mantenimiento, la durabilidad, el confort de los ocupantes o el buen funcionamiento de equipos.

Estado límite último: condición límite que afecta la seguridad de la estructura en la cual la capacidad última es alcanzada. Son por ejemplo la pérdida del equilibrio, la inestabilidad, la rotura, la fluencia, la deformación excesiva, la fatiga, un mecanismo plástico.

F

Factor de carga: factor que contempla las inevitables desviaciones de la carga real con respecto a la carga nominal y las incertidumbres en el método de análisis que transforma las cargas en los efectos de las cargas.

Factor de ductilidad: relación entre la deformación total por la carga máxima y la deformación límite elástica.

Factor de esbeltez adimensional: relación de esbeltez reducida utilizada para lograr curvas de pandeo independientes de la tensión de fluencia del acero.

Factor de forma: relación entre el momento plástico y el momento elástico, o relación entre el módulo plástico y el módulo resistente elástico de la sección transversal.

Factor de longitud efectiva: es la relación entre la longitud efectiva de un miembro comprimido y la longitud real del mismo.

Factor de resistencia: factor que toma en cuenta las inevitables desviaciones entre la resistencia real y la resistencia nominal y la forma y consecuencias de la falla.

Fatiga: fenómeno de rotura resultante de la actuación cíclica y repetida de cargas.

Flexión disimétrica: flexión simultánea de un miembro alrededor de ambos ejes principales de inercia. También flexión biaxial o flexión oblicua.

Fuerzas concentradas dobles: dos fuerzas concentradas iguales y opuestas que forman una cupla actuando sobre el mismo lado del miembro.

Fusión incompleta: falta de unión por fusión del material de aporte y el metal base en la zona prescripta.

I

Inestabilidad: condición de una estructura o elemento estructural bajo carga, alcanzada la cual se produce un incremento continuo de deformaciones y una disminución de su capacidad resistente.

J

Junta: área donde dos o más extremos, superficies o bordes son unidos. Se caracteriza por el tipo de pasador o soldadura utilizada y la forma de transmitir las fuerzas.

L

Longitud efectiva: longitud de un miembro biarticulado de igual comportamiento a pandeo que el miembro considerado. Es el producto del factor de longitud efectiva k por la longitud real de la columna L .

Longitud no arriostrada: distancia entre puntos de un miembro fijos por arriostramiento, medida entre los centros de gravedad de los miembros del sistema de arriostramiento que lo producen.

M

Medio de unión: término genérico para soldaduras, bulones, remaches, u otro elemento que transmite fuerzas en una junta.

Método del giro de tuerca: procedimiento para lograr y controlar la pretensión especificada en bulones de alta resistencia, realizando una predeterminada cantidad de fracciones de vuelta de tuerca desde la posición de ajuste sin juego de la misma.

Miembro: elemento estructural. También barra.

Modo desplazable de pandeo: modo de pandeo de un miembro con desplazamiento relativo de sus vínculos extremos.

Modo indesplazable de pandeo: modo de pandeo de un miembro en el que sus vínculos extremos permanecen relativamente indesplazables.

Módulo plástico: módulo resistente a flexión de la sección transversal cuando ella se encuentra totalmente plastificada. Es el momento estático con respecto al eje neutro de las áreas de la sección transversal ubicadas a ambos lados del eje neutro.

Módulo tangente: pendiente de la curva tensión-deformación específica del material para un determinado nivel de tensión en la zona inelástica. Se determina por ensayos de compresión realizados sobre probetas cortas y bajo condiciones controladas.

Momento elástico: en un miembro sometido a flexión, el momento para el cual la fibra más alejada del eje neutro alcanza la tensión de fluencia sin considerar las tensiones residuales.

Momento de inercia efectivo: momento de inercia de la sección transversal basado en el ancho efectivo de los elementos comprimidos que pandean localmente.

Momento plástico: el momento resistente de la sección transversal cuando la misma está totalmente plastificada.

N

Nudo: zona de intersección de miembros.

P

Panel nodal: zona del nudo viga-columna formada por el área rectangular del alma de la columna en la intersección con la viga circunscripta por las alas de la columna y por las placas de continuidad.

Pandeo del alma: pandeo de la placa de alma.

Pandeo lateral o pandeo lateral-torsional: forma de pandeo de miembros flexados que implica deformación y giro.

Pandeo local: el pandeo de un elemento comprimido de la sección transversal que puede provocar la falla de todo el miembro.

Pandeo localizado del alma: falla local de la placa del alma en la zona cercana al punto de aplicación de una fuerza concentrada.

Pared de corte: una pared (de mampostería u hormigón armado) que resiste fuerzas de corte aplicadas en propio plano, resultantes de la acción del viento, del sismo, o de la estabilización de pórticos arriostrados sin rigidez en el plano.

Pasador: término genérico para bulones, remaches u otro elemento independiente de la barra que trasmite fuerzas en una unión.

Placas de continuidad: placas rigidizadoras ubicadas en los bordes superior e inferior del panel nodal.

Plastificación: proceso de fluencia sucesiva de las fibras de la sección transversal de un miembro al ir aumentando el momento flexor.

Pórtico arriostrado: pórtico en el cual su estabilidad lateral y su resistencia frente a fuerzas horizontales es provista por un sistema de arriostramiento. Se comporta como pórtico a nudos indesplazables.

Pórtico arriostrado en su plano: tipología estructural formada por un reticulado vertical apto para resistir fuerzas horizontales aplicadas en su plano.

Pórtico arriostrado sin rigidez lateral: pórtico cuya resistencia a fuerzas horizontales y su estabilidad dependen de la resistencia y estabilidad de planos paralelos.

Pórtico no arriostrado: pórtico en el cual su estabilidad lateral y su resistencia frente a fuerzas horizontales es provista por la rigidez a flexión de la unión de vigas y columnas. Se comporta como pórtico a nudos desplazables.

Pórtico plano: tipología estructural bidimensional a los efectos de su análisis y proyecto.

Pórtico rígido: pórtico en el cual las uniones conservan el ángulo existente entre las barras, cuando es cargada la estructura.

Presilla: chapa plana usada para unir dos cordones de una barra armada y que debe transmitir el esfuerzo de corte generado por la deformación de los cordones o por las acciones exteriores.

Punto de fluencia: punto de la curva tensión-deformación a partir del cual se da un aumento de deformación sin aumento de tensión. En algunos aceros puede fijarse convencionalmente en términos de deformación plástica remanente.

R

Resistencia: la capacidad de la estructura o de un elemento estructural para resistir los efectos de las acciones. Ella se determina mediante un proceso de cálculo usando resistencias especificadas del material, dimensiones y fórmulas derivadas de principios aceptados de la mecánica estructural, o por ensayos de campo o de laboratorio considerando las diferencias de condiciones entre ellos. Resistencia es un término genérico que incluye tanto a los estados límites últimos como a los de servicio.

Resistencia de diseño: resistencia (fuerza, momento, tensión u otra resistencia apropiada) provista por el miembro o unión; es el producto de la resistencia nominal por el factor de resistencia.

Resistencia nominal: la capacidad de la estructura, elemento estructural o miembro para resistir los efectos de las cargas. Se determina mediante un proceso de cálculo usando resistencias especificadas del material, dimensiones y fórmulas derivadas de principios aceptados de la mecánica estructural, o por ensayos de campo o laboratorio considerando las diferencias de condiciones entre ellos.

Resistencia poscrítica: resistencia adicional de un elemento, miembro o pórtico posterior al pandeo.

Resistencia requerida: efecto de las acciones (fuerza axial, fuerza de corte, momento flector, momento torsor, tensiones, etc.) en los miembros o uniones determinadas por análisis estructural cuando en la estructura actúan las acciones mayoradas. Se deberá usar la combinación de acciones crítica.

Rigidez: resistencia a la deformación de la estructura, de un miembro o de un elemento, medida como la relación entre la sollicitación aplicada y la correspondiente deformación.

Rigidez efectiva: rigidez del miembro calculada con el momento de inercia efectivo.

Rigidizador: elemento unido al alma de una viga o viga armada cuya función es distribuir carga, transferir corte o prevenir el pandeo local. Generalmente es un perfil ángulo o una planchuela o chapa plana. Puede también estar unido a una o a las dos alas.

Rótula plástica: zona plastificada que se forma en el miembro cuando se alcanza el momento plástico y la sección transversal tiene capacidad para seguir rotando. Se supone que el miembro gira alrededor de la rótula actuando en ella el momento plástico M_p .

Rotura frágil: rotura abrupta con poca o ninguna deformación previa.

S

Sección compacta: es capaz de desarrollar el momento plástico con una distribución de tensiones totalmente plástica en la sección transversal pudiendo alcanzar una deformación de tres veces la deformación correspondiente al límite elástico del diagrama tensión-deformación idealizado, antes de que se produzca el pandeo local.

Sección con elementos esbeltos: tiene elementos que pandean localmente por flexión o compresión axil en el campo elástico antes de alcanzar la tensión de fluencia.

Sección no compacta: puede desarrollar la tensión de fluencia en elementos comprimidos por flexión antes de que se produzca el pandeo local, pero no resiste el pandeo local inelástico para las deformaciones necesarias para tener una distribución de tensiones totalmente plástica.

Sección no esbelta: es capaz de desarrollar la tensión de fluencia sin pandear en todos los elementos de la sección transversal por acción de una compresión axil

Simple curvatura: condición de flexión en la cual la deformada del miembro toma la forma de un arco continuo en oposición a la doble curvatura donde existe una reversión.

Sistema horizontal de arriostramiento: sistema que une los pórticos arriostrados sin rigidez lateral en su plano, con el sistema vertical de arriostramiento.

Sistema vertical de arriostramiento: sistema de pórticos arriostrados en su plano, paredes de corte, o combinación de ellos extendido en uno o más pisos de un edificio.

Solicitud de sección: efecto de las acciones (fuerza axil, momento flector, momento torsor, esfuerzo de corte) en una sección de un miembro o de una unión.

T

Tensión: fuerza por unidad de área.

Tensión de fluencia: nivel de tensión del punto de fluencia.

Tensión de rotura a tracción: máxima tensión de tracción que el material es capaz de resistir.

Tensiones residuales: tensiones que quedan en un miembro no cargado después que el mismo ha sido laminado o fabricado. Algunos ejemplos, pero no los únicos, de tensiones residuales son: las resultantes del plegado en frío, del enfriamiento después del laminado o después del proceso de soldado.

Torsión de Saint Venant: tipo de torsión que produce sólo tensiones tangenciales en las secciones transversales de un miembro. También **torsión pura** o **torsión uniforme**.

Torsión por alabeo restringido: tipo de torsión que produce tensiones tangenciales y normales en la sección transversal de un miembro, generadas por la resistencia al alabeo de las secciones transversales. También **torsión no uniforme**.

U

Unión: combinación de juntas usadas para transmitir solicitaciones de sección entre dos o más miembros. Se caracteriza por el tipo de solicitación transmitida (fuerza, momento flexor, corte, torsión).

Unión de deslizamiento crítico: unión abulonada en la que se requiere resistencia al deslizamiento.

Unión semirígida: unión que permite una parte, pero no el total, de la rotación extrema de una viga.

V

Viga: miembro cuya función primaria es recibir, resistir y transmitir fuerzas que actúan transversalmente a su eje longitudinal.

Viga armada: viga formada por chapas planas y/o perfiles laminados unidos por soldaduras o pasadores.

Viga armada de alma esbelta: viga armada con alma o almas con relación h/t_w mayor a λ_r .

Viga-columna: miembro cuya función primaria es recibir, resistir y transmitir fuerzas que actúan paralela y transversalmente a su eje longitudinal.

Viga híbrida: una viga armada con alas de acero de mayor tensión de fluencia que el acero de las almas. Siempre que el acero de las alas es de menor o igual tensión de fluencia que el acero de las almas la viga se considera homogénea.

Z

Zócalo de fluencia: la parte de la curva tensión-deformación específica para tensión axil de tracción o compresión, que presenta un nivel de tensión prácticamente constante para un importante aumento de deformación.

CAPÍTULO A. ESPECIFICACIONES GENERALES

Este Capítulo contiene la definición del **Campo de Validez de las especificaciones del Reglamento**, un listado de los Reglamentos y Recomendaciones de referencia, normas de aplicación y especificaciones de materiales y especificaciones para la Documentación de Proyecto.

Su contenido está organizado de la siguiente manera:

- A.1. Introducción
- A.2. Campo de validez
- A.3. Materiales y normas IRAM e IRAM-IAS de aplicación
- A.4. Reglamentos y Recomendaciones de referencia
- A.5. Documentación de Proyecto y Documentación conforme a obra.

A.1. INTRODUCCIÓN

Este Reglamento Nacional de Seguridad establece los requisitos mínimos para el **proyecto, fabricación, montaje, protección, control de calidad y conservación de las estructuras de acero para edificios**. Consta de Capítulos y Comentarios a los Capítulos .

Los Capítulos con sus respectivos Apéndices constituyen la parte prescriptiva del Reglamento y se deberán aplicar integralmente para lograr los propósitos de seguridad y de servicio. Los Comentarios, en cambio, sólo constituyen una ayuda para la comprensión de las prescripciones, presentando los antecedentes y fundamentos en los cuales aquellas se basan.

A.2. CAMPO DE VALIDEZ

Este Reglamento es de aplicación a **todos los elementos estructurales resistentes de acero, laminados o armados con perfiles laminados y/o chapas, y sus uniones, que formen parte de las estructuras de acero de edificios destinados a vivienda, locales públicos, depósitos e industrias (incluso las que tengan carácter provisorio como andamios cimbras, puntales, etc.), y que sean necesarias para soportar los efectos de las acciones actuantes**. Se incluyen las vigas carril de puentes grúas, monorraíles y las estructuras de soporte de instalaciones y cañerías.

Asimismo es de aplicación para las estructuras resistentes de carteles, marquesinas y similares.

En este Reglamento se incluyen elementos estructurales resistentes de acero realizados con tubos sin costura longitudinal de sección circular a excepción de sus uniones particulares y sus uniones directas soldadas. Para dichas uniones son de aplicación las especificaciones del **Reglamento CIRSOC 302-2005, Reglamento Argentino de Elementos Estructurales de Tubos de Acero para Edificios** y sus versiones posteriores.

Este Reglamento **no es de aplicación para puentes carreteros o ferroviarios**, tensoestructuras, construcciones hidráulicas de acero, torres especiales, construcciones sometidas a temperaturas inferiores a -20°C o superiores a 100°C , o para toda estructura especial de acero para la que exista vigente algún Reglamento particular.

Para el **proyecto de estructuras de acero sometidas a acciones sísmicas** se deben aplicar además las especificaciones del **Reglamento INPRES-CIRSOC 103- Parte I - 2013 Reglamento Argentino para Construcciones Sismorresistentes - Construcciones en General** y del **Reglamento INPRES-CIRSOC 103- Parte IV- Construcciones de Acero-2005** y sus versiones posteriores.

Para el **proyecto de elementos estructurales resistentes de acero realizados con tubos con costura longitudinal de sección circular y con tubos sin y con costura de sección cuadrada o rectangular y sus uniones** se aplicarán las especificaciones del **Reglamento CIRSOC 302-2005 Reglamento Argentino de Elementos Estructurales de Tubos de Acero para Edificios** y sus versiones posteriores.

Para el **proyecto de elementos estructurales resistentes** de : (a) chapa de acero doblada o conformada en frío de sección abierta y sus uniones se aplicarán las especificaciones del **Reglamento CIRSOC 303-2009 Reglamento Argentino de Elementos Estructurales de Acero de Sección Abierta Conformados en Frío** y sus versiones posteriores; (b) barras armadas con cordones y/o diagonales de barras de acero de sección circular maciza (estructuras de hierro redondo o de filigrana) y sus uniones, se aplicarán las especificaciones del **Reglamento CIRSOC 308-2007 Reglamento Argentino de Estructuras Livianas para Edificios con Barras de Acero de Sección Circular** y sus versiones posteriores .

Para el proyecto de estructuras con secciones compuestas de acero-hormigón se aplicarán las especificaciones del **Reglamento CIRSOC 309-2024 Reglamento Argentino de Estructuras Mixtas** (en preparación).

A.3. MATERIALES Y NORMAS IRAM E IRAM-IAS DE APLICACIÓN

En general para cada Proyecto Estructural se deberán adoptar las especificaciones de materiales fijadas en las **normas IRAM-IAS vigentes a la fecha de ejecución**.

Las normas IRAM-IAS referidas a bulones, tuercas y arandelas; bulones de anclaje y barras roscadas se encuentran en redacción al momento de entrada en vigencia de este Reglamento. Por ello, y hasta tanto no estén disponibles se podrán utilizar las normas ASTM o ISO correspondientes.

Las normas IRAM-IAS referidas a metal de aporte y fundente para soldadura se encuentran en redacción al momento de entrada en vigencia de este Reglamento. Por ello, y hasta tanto no estén disponibles se podrán utilizar las normas AWS correspondientes.

A.3.1. Acero estructural

Los materiales que se utilizan en esta Reglamento deben cumplir con las siguientes normas, según corresponda:

A.3.1.(a). Normas IRAM e IRAM-IAS

- IRAM-IAS U 500-42** - Chapas de acero al carbono para uso estructural.
- IRAM-IAS U 500-503** - Aceros al carbono para uso estructural.
- IRAM-IAS U 500-180** - Flejes de acero al carbono, laminados en caliente para uso estructural.
- IRAM-IAS U 500-509** - Perfiles U de acero, de alas inclinadas laminados en caliente.
- IRAM-IAS U 500-511** - Perfiles doble T de acero, de alas inclinadas laminados en caliente.
- IRAM-IAS U 500-215-1** - Perfiles doble T de acero, de alas anchas, caras paralelas, laminados en caliente. Parte 1: Requisitos generales.
- IRAM-IAS U 500-215-2** - Perfiles doble T de acero, de alas anchas, caras paralelas, laminados en caliente. Parte 2: Serie IPB - Medidas y masa.
- IRAM-IAS U 500-215-3** - Perfiles doble T de acero, de alas anchas, caras paralelas, laminados en caliente. Parte 3: Serie IPBI - Medidas y masa.
- IRAM-IAS U 500-215-4** - Perfiles doble T de acero, de alas anchas, caras paralelas, laminados en caliente. Parte 4: Serie IPBv - Medidas y masa.
- IRAM-IAS U 500-215-5** - Perfiles doble T de acero, de alas anchas, caras paralelas, laminados en caliente. Parte 5: Serie IPE - Medidas y masa.
- IRAM-IAS U 500-215-6** - Perfiles doble T de acero, de alas anchas, caras paralelas, laminados en caliente. Parte 6: Serie W - Medidas y masa.
- IRAM-IAS U 500-215-7** - Perfiles doble T de acero, de alas anchas, caras paralelas, laminados en caliente. Parte 7: Serie HP - Medidas y masa.
- IRAM-IAS U 500-215-8** - Perfiles doble T de acero, de alas anchas, caras paralelas, laminados en caliente. Parte 8: Serie M - Medidas y masa.
- IRAM-IAS U 500-558** - Perfiles ángulo de acero, de alas iguales, laminados en caliente.
- IRAM-IAS U 500-561** - Perfiles T de acero, laminados en caliente.
- IRAM-IAS U 500-218** - Tubos de acero al carbono sin costura para uso estructural.
- IRAM-IAS U 500-219** - Tubos de acero microaleado con y sin costura para uso estructural.

A.3.1.(b). Perfiles pesados

Se define como perfiles pesados a los **perfiles laminados** con elementos de espesores mayores a **40 mm** y a las **barras armadas con chapas** de espesor mayor a **50 mm**.

Cuando se unan o empalmen perfiles pesados con soldadura a tope de penetración completa, en uniones sometidas a tensiones de tracción debidas a sollicitaciones de tracción o flexión, el acero de las barras unidas deberá cumplimentar exigencias del Ensayo Charpy con probetas en V, realizado de acuerdo a la Norma IRAM-IAS U 500-106. El mínimo promedio de energía absorbida será de **27 J a 21 °C**.

No será exigible la condición antedicha cuando la unión de perfiles pesados sea abulonada.

Cuando se suelde con soldadura de penetración completa un **perfil laminado con espesor mayor a 40 mm o una chapa de espesor mayor a 50 mm** a la superficie de otro elemento, se deberá cumplir la exigencia del Ensayo Charpy indicada más arriba, en el elemento que presenta la soldadura a través de su sección transversal completa.

Cuando se unan elementos de perfiles pesados a elementos de perfiles no pesados o a chapas de espesor menor a **50 mm** con soldaduras de penetración completa y la misma se realice a través del elemento más delgado, no es necesario cumplir la exigencia indicada del Ensayo Charpy.

Requerimientos adicionales para perfiles pesados se especifican en las Secciones **J.1.5., J.1.6., J.2.6., y M.2.2.**

A.3.2. Bulones, tuercas y arandelas

Las normas IRAM-IAS referidas a bulones, tuercas y arandelas se encuentran en redacción al momento de entrada en vigencia de este Reglamento. Por ello, y hasta tanto no estén disponibles se podran utilizar las normas ASTM o ISO correspondientes.

Se listan las normas ISO y ASTM aplicables:

ASTM A307-07b	“Standard Specification for Carbon Steel Bolts and Studs, 60000 psi Tensile Strength” (Especificaciones para bulones y pernos de acero al carbono, F_u mínimo 370 MPa- Tipo A 307).
ASTM A325-09	“Standard Specification for Structural Bolts, Steel, Heat Treated, 120/105 ksi Minimum Tensile Strength” (Especificaciones para bulones estructurales de acero con tratamiento térmico. F_u mínimo: 825/725 MPa- Tipo A 325).
ASTM A325M-09	“Standard Specification for Structural Bolts, Steel, Heat Treated, 830 MPa Minimum Tensile Strength (Metric)” (Especificaciones para bulones estructurales de acero con tratamiento térmico. F_u mínimo: 830 MPa- Tipo A 325 (Métrico)).
ASTM A449-07b	“Standard Specification for Hex Cap Screws, Bolts and Studs, Steel, Heat Treated, 120/105/90 ksi, Minimum Tensile Strength, General Use. (Bulones y pernos de acero templado y revenido-Tipo A 449).
ASTM A490-08b	“Standard Specification for Heat-Treated Steel Structural Bolts, Alloy Steel, Heat Treated, 150 ksi Minimum Tensile Strength” (Especificaciones para Bulones estructurales de acero con tratamiento Térmico. F_u mínimo 1035 MPa- Tipo A 490).
ASTM A490M-08	“Standard Specification for High-Strength Steel Bolts, Classes 10.9 y 10.9.3 for Structural Steel Joints (Metric)”. (Especificaciones para bulones de acero de alta resistencia, Clases 10.9 y 10.9.3 para uniones estructurales de acero).

ASTM F1852-08	“Standard Specification for “Twist-off” Type Tension Control Structural Bolt/Nut/Washer Assemblies, Steel, Heat Treated, 120/105 ksi Minimum Tensile Strength” (Especificación para bulones calibrados, tuercas y arandelas de acero tratadas térmicamente. F_u mínimo 830/730 MPa).
ASTM F2280-08	“Standard Specification for “Twist-off” Type Tension Control Structural Bolt/Nut/Washer Assemblies, Steel, Heat Treated, 150 ksi Minimum Tensile Strength” (Especificación para bulones calibrados, tuercas y arandelas de acero tratadas térmicamente. F_u mínimo 1030 MPa).
ASTM F436-09	“Standard Specification for Hardened Steel Washers” (Especificación para arandelas de acero endurecidas).
ASTM F436M-09	“Standard Specification for Hardened Steel Washers, (Metric)” (Especificación para arandelas de acero endurecidas, Métricas).
ASTM A563-07a	“Standard Specification for Carbon and Alloy Steel Nuts” (Especificación para tuercas de acero al carbón y aleadas).
ASTM A563M-07	“Standard Specification for Carbon and Alloy Steel Nuts (Metric)” (Especificación para tuercas de acero al carbón y aleadas, métricas).
ASTM F959-09	“Standard Specification for Compressible-Washer-Type Direct Tension Indicators for Use with Structural Fasteners” (Especificación para arandelas indicadoras directas de tracción).
ASTM F959M-07	“Standard Specification for Compressible-Washer-Type Direct Tension Indicators for Use with Structural Fasteners (Metric)” (Especificación para arandelas indicadoras directas de tracción, métrica).
ISO 7412	“Bulones estructurales de cabeza hexagonal de alta resistencia Clases ISO 8.8 y 10.9”.
ISO 4775	“Tuercas hexagonales para bulones estructurales de alta resistencia clases ISO 8.8 y 10.9”.
ISO 7415	“Arandelas planas para bulones estructurales de alta resistencia, endurecidas y templadas”.
ISO 7416	“Arandelas planas para bulones estructurales de alta resistencia, biseladas, endurecidas y templadas”.

A.3.3. Bulones de anclaje y barras roscadas

Algunas normas IRAM-IAS referidas a bulones de anclaje y barras roscadas se encuentran en redacción al momento de entrada en vigencia de este Reglamento. Por ello, y hasta tanto no estén disponibles se podrán utilizar las normas ASTM o ISO correspondientes.

IRAM-IAS U 500-503	Aceros al carbono para uso estructural.
IRAM-IAS U 500-85	Alambres y barras macizas de acero laminados en caliente para la fabricación de bulones, tornillos, espárragos, roblones y tuercas, conformados en caliente o en frío.
IRAM-IAS U 500-512	Alambres y barras macizas de acero trefilados para la fabricación de bulones, tornillos, espárragos, roblones y tuercas conformados en caliente o en frío.
ASTM A354-07a	“Standard Specification for Quenched and Tempered Alloy Steel Bolts, Studs and Other Externally Threaded Fasteners” (Bulones, pernos y otros pasadores roscados de acero aleado templado y revenido).

ASTM A572/A572M-07 “Standard Specification for High-Strength Low-Alloy Columbium-Vanadium Structural Steel (Acero al columbio-vanadio de alta resistencia y baja aleación para uso estructural).

ASTM F1554-07a “Standard Specification for Anchor Bolts Steel 36,55 and 105 ksi yield Strength” (Bulones de anclaje de aceros de 235 MPa y 360 MPa de Tensión de Fluencia).

Se podrán usar como bulones de anclaje los bulones indicados en la Sección A.3.2.

Los bulones de acero tipo A 449 según norma **ASTM A449-07b** podrán ser utilizados como bulones de anclaje con cualquier diámetro.

A.3.4. Metal de aporte y fundentes para soldadura

Las normas IRAM-IAS referidas a metal de aporte y fundente para soldadura se encuentran en redacción al momento de entrada en vigencia de este Reglamento. Por ello, y hasta tanto no estén disponibles se podrán utilizar las normas AWS correspondientes.

IRAM-IAS U500-601 Soldadura por arco. Electrodo de acero al carbono revestidos.

IRAM-IAS U500-127 Soldadura por arco. Electrodo de baja aleación revestidos.

IRAM-IAS U500-166 Soldadura. Alambres y varillas de acero al carbono para procesos de soldadura eléctrica con protección gaseosa.

AWS A5.1/A5.1M Specification for carbon steel electrodes for shielded metal arc welding.

AWS A5.5/A5.5M Specification for low-alloy steel electrodes for shielded metal arc welding.

AWS A5.17/A5.17M Specification for carbon steel electrodes and fluxes for submerged arc welding.

AWS A5.18/A5.18M Specification for carbon steel electrodes and rods for gas shielded arc welding.

AWS A5.20/A5.20M Specification for carbon steel electrodes for flux cored arc welding.

AWS A5.23/A5.23M Specification for low-alloy steel electrodes and fluxes for submerged arc welding.

AWS A5.25/A5.25M Specification for carbon and low-alloy steel electrodes and fluxes for electroslag welding.

AWS A5.26/A5.26M Specification for carbon and low-alloy steel electrodes for electrogas welding.

AWS A5.28/A5.28M Specification for low-alloy steel electrodes and rods for gas shielded arc welding.

AWS A5.29/A5.29M Specification for low-alloy steel electrodes for flux cored arc welding.

A.3.5. Propiedades generales del acero

(a) Módulo de Elasticidad longitudinal: $E = 200000 \text{ MPa}$

(b) Módulo de Elasticidad transversal: $G = 77200 \text{ MPa}$

(c) Coeficiente de Poisson en período elástico: $\mu = 0,30$

(d) Coeficiente de dilatación térmica: $\alpha_a = 12 \cdot 10^{-6} \text{ cm/cm}^\circ\text{C}$

(e) Peso específico: $\gamma_a = 77,3 \text{ kN/m}^3$

A.4. REGLAMENTOS Y RECOMENDACIONES DE REFERENCIA

Además de las normas especificadas en la Sección **A.3.** serán de aplicación los siguientes Reglamentos y Recomendaciones referenciados en este Reglamento y sus versiones posteriores.

<i>CIRSOC 101-2005</i>	<i>Reglamento Argentino de Cargas Permanentes y sobrecargas Mínimas de Diseño para Edificios y otras Estructuras.</i>
<i>CIRSOC 102-2005</i>	<i>Reglamento Argentino de Acción del Viento sobre las Construcciones.</i>
<i>INPRES-CIRSOC 103-2013</i>	<i>Reglamento Argentino para Construcciones Sismo-resistentes- Parte I - Construcciones en General.</i>
<i>INPRES-CIRSOC 103-2005</i>	<i>Reglamento Argentino para Construcciones Sismo-resistentes- Parte IV - Construcciones de Acero.</i>
<i>INPRES-CIRSOC 103-2018</i>	<i>Reglamento Argentino para Construcciones Sismo-resistentes- Parte V – Soldadura de Estructuras de Acero Sismorresistente.</i>
<i>CIRSOC 104-2005</i>	<i>Reglamento Argentino de Acción de la Nieve y el Hielo sobre las Construcciones.</i>
<i>CIRSOC 108-2007</i>	<i>Reglamento Argentino de Cargas de Diseño para las Estructuras durante su Construcción.</i>
<i>CIRSOC 201-2005</i>	<i>Reglamento Argentino de Estructuras de Hormigón.</i>
<i>CIRSOC 302-2005</i>	<i>Reglamento Argentino de Elementos Estructurales de Tubos de Acero para Edificios.</i>
<i>CIRSOC 303-2009</i>	<i>Reglamento Argentino de Elementos Estructurales de Acero de Sección Abierta Conformados en Frío.</i>
<i>CIRSOC 304-2007</i>	<i>Reglamento Argentino para la Soldadura de Estructuras de Acero.</i>
<i>CIRSOC 308-2007</i>	<i>Reglamento Argentino de Estructuras Livianas para Edificios con Barras de Acero de Sección Circular.</i>
<i>CIRSOC 309-2024</i>	<i>Reglamento Argentino de Estructuras Mixtas (en preparación).</i>
<i>Recomendación CIRSOC 301-1 2018</i>	<i>Recomendación para el Proyecto de Vigas de Acero de Sección Doble Te con Alma de Altura Variable.</i>

Recomendación CIRSOC 305-2007

Recomendación para Uniones Estructurales con Bulones de Alta Resistencia.

Recomendación CIRSOC 307-2018

Guía para la Construcción de Estructuras de Acero para Edificios.

A.5. DOCUMENTACIÓN DE PROYECTO Y DOCUMENTACIÓN CONFORME A OBRA

A.5.1. Documentación de Proyecto

La **Documentación de Proyecto** es el conjunto de Planos Generales y de detalles básicos, Memoria de Cálculo y Especificaciones de Materiales, Fabricación, Protección anticorrosiva, otras protecciones, Montaje y Construcción de la Estructura.

A.5.1.1. Planos

Los planos se deben ejecutar en escala adecuada a la información que presentan. Deberán contener **toda la información necesaria para la ejecución de los planos de taller y de montaje** (ver Capítulo **M**), y para la ejecución de la estructura como ser:

- (a) Dimensiones, formas seccionales y ubicación relativa de todos los elementos estructurales; deben estar acotados niveles de pisos, ejes de vigas, centros de columnas; rigidizaciones y arriostramientos.
- (b) Cuando así correspondiera en los Planos generales y de detalles básicos, se indicarán cargas y requerimientos necesarios para la preparación de los planos de fabricación, incluyendo las solicitudes requeridas de corte, axil y flexión de los miembros y sus uniones.
- (c) Especificación de los aceros a utilizar en los elementos estructurales.
- (d) Detalle de las uniones; de las dimensiones y tipos de acero a utilizar en remaches y bulones; cuando se proyecten uniones con bulones de alta resistencia se indicará el tipo de unión proyectada según Capítulo **J**; detalle de las uniones soldadas según las especificaciones del reglamento correspondiente, indicando calidad de electrodos.
- (e) Dimensiones, detalles y materiales de todo otro elemento constructivo que forme parte de la estructura. (Losas de entrepiso, placas de techo, tabiques, etc.).
- (f) Contraflechas de cerchas, vigas y vigas armadas.
- (g) En los casos en que fuera necesario, se indicará el esquema previsto para el montaje de la estructura. Indicación de: los puntos de levantamiento de los elementos a montar; posiciones que ocuparán temporariamente los equipos principales o auxiliares de montaje; arriostramientos provisionales necesarios y su anclaje; etc.
- (h) Planos de andamios y apuntalamientos que requieran cálculos estructurales.
- (i) En casos en que las longitudes de los elementos puedan ser afectadas por variaciones de temperatura durante el montaje, se indicará la amplitud de variación térmica prevista.
- (j) Protección contra la corrosión adoptada.
- (k) Indicación de los revestimientos u otros medios de protección contra el fuego previstos.
- (l) Dimensiones, detalles y materiales de bases y fundaciones de la estructura.
- (m) Listado aclaratorio de la simbología especial empleada en los planos.
- (n) Toda información complementaria que el o los Profesionales responsables estimen conveniente para facilitar la interpretación del proyecto o resguardar su responsabilidad.

A.5.1.2. Memoria de cálculo

La **memoria de cálculo** debe presentar en forma clara todo el proceso de cálculo empleado para el dimensionamiento y verificación de la resistencia y estabilidad de la estructura, sus elementos estructurales y sus uniones. Se incluirá:

- (a) Memoria descriptiva de la estructura, con indicación de materiales a utilizar, síntesis del proceso de cálculo y dimensionamiento adoptado para su proyecto y tecnología prevista para su construcción.
- (b) Acciones y combinaciones de acciones consideradas con indicación de los valores nominales adoptados para las acciones y los Reglamentos aplicados. En el caso de edificios industriales se indicarán las cargas de equipos consideradas.
- (c) Tipos de estructura adoptados y métodos de análisis estructural empleado para determinar las resistencias requeridas para los estados límite considerados, según lo establecido en el Capítulo C.
- (d) Resistencias requeridas para los estados límite últimos considerados, para la estructura en su conjunto y para cada elemento estructural y sus uniones.
- (e) Resistencias de diseño determinadas para cada estado límite último considerado para los distintos elementos estructurales, sus uniones y la estructura en su conjunto, con indicación del tipo de recaudo constructivo y los materiales adoptados con sus características mecánicas.
- (f) Estados límite de servicio considerados.
- (g) Desarrollo de los detalles de uniones necesarios para la ejecución de los planos de taller.
- (h) Cuando correspondiera, procedimiento de montaje incluyendo verificación de resistencia y estabilidad de los elementos y del conjunto durante el proceso constructivo, determinación de los puntos de levantamiento de los elementos a montar, proyecto de los apuntalamientos temporarios, etc.
- (i) Capacidad portante del suelo de fundación adoptada.
- (j) Toda otra información complementaria que el o los profesionales responsables consideren conveniente para clarificar el proceso de proyecto o resguardar su responsabilidad.

A.5.1.3. Especificaciones

Las especificaciones contendrán todas las indicaciones necesarias para la correcta fabricación, montaje, construcción y control de calidad de la estructura proyectada. Se podrá referenciar especificaciones contenidas en el presente Reglamento u otros que sean de aplicación.

Se indicarán asimismo los aspectos básicos del plan de tareas de mantenimiento a realizar durante la vida útil de la estructura.

A.5.2. Documentación conforme a obra

La Documentación conforme a obra debe contener la información técnica que indica como está proyectada y construida la estructura y deberá individualizar a los profesionales responsables de cada etapa. Constituye la certificación de la seguridad estructural durante la vida útil mientras se conserven las condiciones consideradas en el proyecto, y el antecedente cierto para toda cuestión técnica en litigio y para proyectar modificaciones, ampliaciones o refuerzos, y para analizar las condiciones de seguridad ante cualquier cambio que altere las hipótesis del proyecto original. Ella deberá contener:

- (a) Planos de acuerdo con la Sección **A.5.1.1.**
- (b) Memoria de cálculo de acuerdo con la Sección **A.5.1.2.**

- (c) Informe sobre el suelo de fundación, sus características y su capacidad portante.
- (d) Especificaciones de acuerdo con la Sección **A.5.1.3.**
- (e) Memoria descriptiva de la construcción de la Estructura, con indicación de toda modificación introducida en el proyecto original con sus respectivos planos y memoria de cálculo.
- (f) Memoria con el proceso y resultados del control de calidad y aseguramiento de la calidad efectuados.
- (g) Memoria con indicación de la protección contra la corrosión y el fuego realizada.
- (h) **Plan de tareas de mantenimiento a realizar durante la vida útil.**
- (i) Toda otra información que el o los Profesionales intervinientes estimen necesaria para cumplir el objetivo de la documentación conforme a obra o resguardar su responsabilidad.

CAPÍTULO B. REQUERIMIENTOS DE PROYECTO

Este Capítulo contiene las especificaciones generales para el ***análisis y el proyecto de estructuras de acero que son de aplicación para todo el Reglamento.***

Su contenido está organizado de la siguiente manera:

- B.1.** Especificaciones generales
- B.2.** Acciones y combinación de acciones
- B.3.** Bases de proyecto
- B.4.** Propiedades de las secciones
- B.5.** Fabricación y montaje
- B.6.** Control de calidad y aseguramiento de la calidad
- B.7.** Evaluación de estructuras existentes.

B.1. ESPECIFICACIONES GENERALES

El proyecto de la estructura, de sus miembros y de sus uniones deberá ser consistente con el comportamiento supuesto del sistema estructural y con las hipótesis realizadas en el análisis estructural.

La resistencia y la estabilidad de la estructura frente a cargas horizontales y verticales será provista mediante cualquier combinación de miembros y uniones.

B.2. ACCIONES Y COMBINACIÓN DE ACCIONES

B.2.1. Acciones

Las acciones y sus intensidades mínimas a adoptar para el proyecto de las estructuras de acero y sus elementos componentes serán las establecidas por los Reglamentos CIRSOC e INPRES - CIRSOC respectivos, o las definidas por condiciones particulares de la estructura, y no cubiertas por los Reglamentos CIRSOC e INPRES - CIRSOC, las que deberán ser adecuadamente fundamentadas por el Projectista o Diseñador Estructural.

Estas acciones, y sus intensidades mínimas, se deberán considerar como nominales.

Los tipos de acciones que se deben considerar son los siguientes:

(a) Acciones permanentes

Son las que tienen pequeñas e infrecuentes variaciones, durante la vida útil de la construcción, con tiempos de aplicación prolongados, tales como las debidas a :

- Peso propio de la estructura (***D***), de acuerdo con el ***Reglamento CIRSOC 101-2005.***
- Peso propio de todo elemento de la construcción previsto con carácter permanente (***D***), de acuerdo con el ***Reglamento CIRSOC 101-2005.***

- Fuerzas resultantes del impedimento de cambios dimensionales debidos a variaciones térmicas climáticas o funcionales de tipo normativo, contracción de fraguado, fluencia lenta o efectos similares (**T**).
- Fuerzas resultantes del proceso de soldadura (**T**).
- Acciones de líquidos en general en caso de presencia continuada y con presiones y máxima altura bien definidas (**F**).
- Asentamientos de apoyo (cedimientos de vínculo en general) (**T**).
- Pesos de maquinarias adheridas o fijas a la estructura, de valor definido (**D**).

(b) Acciones variables

Son las que tienen elevada probabilidad de actuación, variaciones frecuentes y continuas no despreciables en relación a su valor medio, tales como las debidas a :

- La ocupación y el uso en **pisos** (cargas útiles y sobrecargas) (**L**), de acuerdo con el **Reglamento CIRSOC 101-2005**.
- Montaje en **pisos** (**L**), de acuerdo con el **Reglamento CIRSOC 101-2005** y situación particular.
- Cargas útiles en **techo** (**L_r**), de acuerdo con el **Reglamento CIRSOC 101-2005**.
- Sobrecarga **suspendida en techos** (**L**), de acuerdo con el **Reglamento CIRSOC 101-2005**.
- Mantenimiento de cubiertas (**L_r**), de acuerdo con el **Reglamento CIRSOC 101-2005**.
- Montaje en **techos** (**L_r**), de acuerdo con el **Reglamento CIRSOC 101-2005**.
- Acción del viento (**W**), de acuerdo con el **Reglamento CIRSOC 102-2005**.
- Acción de la nieve y el hielo (**S**), de acuerdo con el **Reglamento CIRSOC 104-2005**.
- Acciones térmicas generadas por equipamientos o funcional, no derivadas de especificaciones normativas (**L**).
- Acciones de líquidos en general (**L**).
- Acciones de granos y materiales sueltos (**L**).
- Acciones de maquinarias, equipos, cargas móviles como puentes grúas y monorieles, **incluyendo el efecto dinámico cuando el mismo sea significativo**, y efecto dinámico del peso de maquinarias consideradas como carga permanente (**L**).
- Peso y empuje lateral del suelo y del agua en el suelo (**H**).
- Acción debida al agua de lluvia o al hielo sin considerar los efectos producidos por la acumulación de agua (**R**), de acuerdo con el **Reglamento CIRSOC 101-2005**.

(c) Acciones accidentales

Son las que tienen pequeña probabilidad de actuación, pero con valor significativo, durante la vida útil de la construcción, cuya intensidad puede llegar a ser muy importante para algunas estructuras, tales como las debidas a :

- Sismos de ocurrencia excepcional (**E**), de acuerdo con el **Reglamento INPRES - CIRSOC 103, Parte I -2013 y Parte IV-2005**.
- Tornados.
- Impacto de vehículos terrestres o aéreos.
- Explosiones.
- Movimientos de suelos.
- Avalanchas de nieve o piedras.

Estas acciones sólo se tendrán en cuenta cuando las fuerzas resultantes, no sean ni despreciables, ni tan importantes como para que no sea razonable proyectar estructuras que las soporten.

(d) Impacto

Las sobrecargas nominales deberán incrementarse en las combinaciones **(B.2.2)** y **(B.2.3)** de la Sección **B.2.2.** en el caso de estructuras que soporten sobrecargas que produzcan impacto.

El incremento mínimo deberá ser:

- Para vigas carril de puentes grúas y sus uniones **25%**
- Para monorieles y sus uniones **10%**
- Para soportes de maquinaria ligera impulsada por motores eléctricos y en general equipamientos livianos con funcionamiento caracterizado por movimientos rotativos **20%**
- Para soportes de máquinas con motores a explosión o unidades de potencia y grupos generadores y en general equipamientos cuyo funcionamiento es caracterizado por movimientos alternativos **50%**
- Para tensores que soportan balcones y otras estructuras similares y sus uniones **33%**
- Para apoyos de ascensores y montacargas **100%**

(e) Fuerzas horizontales en vigas carril de puentes grúas

- **Fuerza lateral:** La fuerza lateral total sobre ambas vigas carril se deberá calcular como el **20%** de la suma de la carga nominal del puente grúa y del peso del carro de carga transversal y del aparejo de izaje, con exclusión del peso de las otras partes de la grúa. Se considerará como una fuerza horizontal de dirección perpendicular a la viga carril, actuando en ambos sentidos en la superficie superior del riel. Será distribuida según la rigidez lateral de las vigas carril y de la estructura de soporte de las mismas.
- **Fuerza longitudinal:** Se debe adoptar como mínimo, el **10%** de la máxima carga por rueda del carro frontal del puente grúa. Se considerará como una fuerza horizontal de dirección paralela a la viga carril, actuando en ambos sentidos en la superficie superior del riel.

B.2.2. Combinaciones de acciones para los estados límite últimos

La **resistencia requerida** de la estructura y de sus distintos elementos estructurales se determinará desde la combinación de acciones mayoradas mas desfavorable (combinación crítica). **Se tendrá en cuenta que muchas veces la mayor resistencia requerida resulta de una combinación en que una o más acciones no están actuando.**

Deberán analizarse como mínimo, las siguientes combinaciones de acciones para los **estados límite últimos**, con sus correspondientes factores de carga:

$$1,4 (D + F) \quad (B.2.1)$$

$$1,2 (D + F + T) + 1,6 (L + H) + (f_1 L_r \text{ ó } 0,5 S \text{ ó } 0,5 R) \quad (B.2.2)$$

$$1,2 D + 1,6 (L_r \text{ ó } S \text{ ó } R) + (f_1 L \text{ ó } 0,8 W) \quad (B.2.3)$$

$$1,2 D + 1,5 W + f_1 L + (f_1 L_r \text{ ó } 0,5 S \text{ ó } 0,5 R) \quad (\text{B.2.4})$$

$$1,2 D + 1,0 E + f_1 (L + L_r) + f_2 S \quad (\text{B.2.5})$$

$$0,9 D + (1,5 W \text{ ó } 1,0 E) + 1,6 H \quad (\text{B.2.6})$$

Para **edificios industriales** con puentes grúas o monorraíles y **edificios aporricados** de hasta cuatro plantas, se deberá verificar la siguiente combinación de acciones adicional:

$$1,2 D + 1,6 L + (f_1 L_r \text{ ó } 0,5 S \text{ ó } 0,5 R) + 0,8 W \quad (\text{B.2.7})$$

siendo:

$f_1 = 1,0$ para áreas con concentración de público, áreas donde la sobrecarga sea mayor a $5,0 \text{ kN/m}^2$, garajes o playas de estacionamiento, cargas de puentes grúas y monorraíles y otras cargas concentradas mayores a 50 kN .

$f_1 = 0,5$ para otras sobrecargas.

$f_2 = 0,7$ para configuraciones particulares de techos (tales como las de diente de sierra) que no permiten evacuar la nieve acumulada.

$f_2 = 0,2$ para otras configuraciones de techo.

Para la aplicación de las **combinaciones de acciones** se considerará lo siguiente:

- (1) Acciones variables o accidentales con efectos favorables a la seguridad no serán consideradas en las combinaciones.
- (2) En la combinación **(B.2.6)** el factor de carga puede ser considerado igual a **0** si la acción debida a **H** contrarresta o neutraliza la acción debida a **W**.
- (3) Las estimaciones de los asentamientos diferenciales, la fluencia lenta, la contracción de fraguado, la expansión de hormigones de contracción compensada y los cambios de temperatura (cuando no sean normativos) se deben fundamentar en una **evaluación realista** de la ocurrencia de tales efectos durante la vida útil de la estructura.
- (4) Cuando esté presente la carga de inundación (F_a), sus efectos deberán ser investigados en el proyecto usando en las combinaciones **(B.2.2)** y **(B.2.4)** el mismo factor de carga usado para **L**. Los efectos producidos por F_a deberán también ser incluidos cuando se investigue el volcamiento y deslizamiento en la combinación **(B.2.6)** usando un factor de carga **0,5** cuando actúe simultáneamente el viento y un factor de carga **1,6** cuando F_a actúa sola.

B.2.3. Combinaciones de acciones para los estados límite de servicio

Excepto para los casos en que: por acuerdo con el Comitente o por exigencias de Reglamentos específicos sean necesarias combinaciones de acciones más rigurosas, los estados límite de servicio se verificarán con las siguientes combinaciones de acciones:

$$(D + F) + (\Sigma L_i \text{ ó } W \text{ ó } T) \quad (\text{B.2.8})$$

$$(D + F) + 0,7 [(\Sigma L_i + W) \text{ ó } (W + T) \text{ ó } (\Sigma L_i + T)] \quad (\text{B.2.9})$$

$$(D + F) + 0,6 \Sigma L_i + 0,6 W + 0,6 T \quad (\text{B.2.10})$$

siendo:

$$\Sigma L_i = [L + H + (L_r \text{ ó } S \text{ ó } R)] \quad (\text{B.2.11})$$

Las acciones serán las definidas en la Sección **B.2.1.** y se adoptarán con sus *intensidades nominales*.

Aquellas acciones variables que produzcan efectos de sentido contrario no se deberán considerar actuando simultáneamente.

B.3. BASES DE PROYECTO

La estructura se proyectará de acuerdo con las especificaciones del **Método de Proyecto por Estados Límite** (o Método de Proyecto por Factores de Carga y Resistencia, LRFD).

B.3.1. Estados límite

El **método por estados límite** es un método de proyecto y dimensionamiento de estructuras en el cual la **condición de Proyecto es que ningún estado límite sea superado cuando la estructura es sometida a todas las apropiadas combinaciones de acciones** determinadas según las Secciones **B.2.2** y **B.2.3.**

Todo estado límite relevante deberá ser investigado.

Un **estado límite** es aquél más allá del cual la estructura, o una parte de ella, no logra satisfacer los comportamientos requeridos por el proyecto.

Los estados límite se clasifican en :

- **estados límite últimos**
- **estados límite de servicio**

Los **estados límite últimos** son establecidos para dar seguridad y definir una capacidad máxima de transferencia de carga.

Los **estados límite de servicio** se establecen a fin de que la estructura presente un comportamiento normal y aceptable bajo condiciones de servicio.

B.3.2. Dimensionamiento para estados límite último. Proyecto por resistencia

En el proyecto por resistencia se deberá cumplir que la **resistencia de diseño (R_d)** de cada elemento estructural, de sus uniones, o de la estructura en su conjunto, sea **igual o mayor** que la **resistencia requerida (R_u)**.

$$R_u \leq R_d = \phi R_n \quad (\text{B.3.1})$$

La **resistencia requerida** (R_u) de los elementos estructurales y de sus uniones deberá ser determinada por análisis estructural para la **combinación crítica de acciones mayoradas** según lo establecido en la Sección **B.2.2.** y en el Capítulo **C.** Los métodos de análisis estructural y las condiciones y requerimientos para aplicarlos se especifican en el Capítulo **C.**

La **resistencia de diseño** ($R_d = \phi R_n$), para cada estado límite último aplicable, es igual al producto de la **resistencia nominal** R_n por el **factor de resistencia** ϕ .

Las **resistencias nominales** R_n y los **factores de resistencia** ϕ , serán determinados según lo establecido en los Capítulos **B** a **J.**

B.3.3. Estabilidad de la estructura

Se deberá asegurar la estabilidad global de la estructura como la de todos y cada uno de sus elementos componentes según las especificaciones del Capítulo **C.**

B.3.4. Proyecto de uniones

Las uniones se proyectarán según las especificaciones del Capítulo **J.** Las fuerzas y deformaciones requeridas deberán ser consistentes con el desempeño supuesto de la unión y con las hipótesis del análisis estructural. Se permite que las deformaciones inelásticas tengan límites autoimpuestos.

Las uniones pueden ser **uniones simples** o **uniones de momento**.

En los apoyos de vigas laminadas, vigas armadas, vigas reticuladas y cerchas se debe proporcionar una restricción al giro alrededor del eje longitudinal de la barra.

B.3.4.(a). Uniones simples (articulaciones)

Una **unión simple (US) o articulación** transmite momentos flectores de intensidad despreciable. En el análisis de la estructura puede suponerse que las uniones simples permiten la libre rotación relativa de los miembros que unen. La unión simple deberá tener una capacidad de rotación suficiente para permitir las máximas rotaciones relativas de los miembros que unen, determinadas en el análisis estructural para todas las combinaciones de acciones con cargas mayoradas.

Para lograr esa capacidad de deformación se podrá permitir alguna deformación inelástica autolimitada.

B.3.4.(b). Uniones de momento

Se permiten dos tipos de uniones de momento: **(1)** totalmente restringidas (uniones rígidas); **(2)** parcialmente restringidas (uniones semirígidas).

(1) Uniones de momento totalmente restringidas (TR)

Una unión de momento totalmente restringida (**TR**) transmite momento flector con una rotación despreciable entre los miembros unidos. En el análisis de la estructura se puede suponer que la unión no permite la rotación relativa. Una unión **TR** deberá tener la suficiente rigidez y resistencia para mantener invariables los ángulos entre los miembros que concurren a ella en todos los estados límite últimos aplicables.

(2) Uniones de momento parcialmente restringidas (**PR**)

Una unión de momento parcialmente restringida (**PR**) transmite momento flector pero la rotación entre los miembros unidos no es despreciable. En el análisis de la estructura se debe incluir la relación fuerza/deformación de la unión. Las curvas características de las uniones **PR** que se utilicen deberán estar documentadas en la literatura técnica o en su defecto ser determinadas mediante métodos analíticos o experimentales. Los elementos componentes de una unión **PR** deberán tener la suficiente resistencia, rigidez y la capacidad de deformación supuesta para todos los estados límite últimos aplicables.

B.3.5. Redistribución de momentos flectores en vigas

En vigas y vigas armadas que sean continuas sobre apoyos o estén rígidamente unidas a columnas, pueden disminuirse por redistribución hasta en un **10%** sus momentos flectores negativos de apoyo producidos por cargas gravitatorias mayoradas, y determinados por un análisis elástico que satisfaga las especificaciones del Capítulo **C**, siempre que :

- (a) Las secciones de la viga o viga armada sean compactas según se define en **B.4.1**. (Se incluyen secciones armadas).
- (b) La longitud no arriostrada de la barra satisfaga lo establecido en la Sección **F.13.5**.
- (c) El máximo momento positivo de la barra sea incrementado en una cantidad igual al promedio de las reducciones de los momentos negativos de apoyo.
- (d) Los momentos no sean producidos por cargas actuantes en vigas en voladizo.
- (e) No sean vigas híbridas o de acero de $F_y \geq 450 \text{ MPa}$.
- (f) Las uniones extremas **no sean** del tipo **PR**.
- (g) Los momentos flectores requeridos hayan sido determinados por un **análisis elástico** y **no** por algún método de **análisis inelástico** definido en el **Apéndice 1**.

Si el momento negativo es transmitido a una columna rígidamente unida a la viga o viga armada, el momento reducido puede ser utilizado en el dimensionamiento de la columna en combinación con la carga axil, siempre que queden en equilibrio las fuerzas y los momentos resultantes en el pórtico y que la fuerza axil en la columna (en **kN**) no exceda de:

$$0,15 \phi_c A_g F_y (10^{-1})$$

siendo:

ϕ_c el factor de resistencia para compresión.

A_g el área bruta de la columna, en cm^2 .

F_y la tensión de fluencia mínima especificada, en MPa.

B.3.6. Diafragmas y sistemas de arriostramiento

Los diafragmas y sistemas **horizontales o verticales de arriostramiento** deberán ser proyectados para resistir las fuerzas que resulten de las combinaciones de acciones mayoradas y de la estabilización de los elementos estructurales que arriostran. Deberán ser proyectados con las especificaciones de los Capítulos **C** a **J** y el **Apéndice 6**.

B.3.7. Dimensionamiento para estados límite de servicio

La estructura en su conjunto, sus elementos estructurales y sus uniones deberán ser verificados para **condiciones de servicio**.

Las especificaciones para la verificación de condiciones de servicio se presentan en el Capítulo **L**.

La **condición de servicio** deberá ser verificada utilizando la apropiada combinación de las **acciones nominales** que corresponda para el estado límite de servicio analizado.

Las combinaciones de acciones para los estados límite de servicio se especifican en la Sección **B.2.3.**

Las verificaciones más comunes se pueden expresar mediante la siguiente expresión:

$$S_{ser} \leq S_{lím}$$

siendo:

S_{ser} los valores de los efectos a verificar obtenidos por las combinaciones de servicio según Sección **B.2.3.**

S_{lím} los valores límites adoptados para esos efectos.

B.3.8. Verificación del sistema estructural de cubierta o techo para acumulación de agua

El **sistema estructural de la cubierta o techo** deberá ser investigado por análisis estructural a fin de asegurar una adecuada resistencia y estabilidad bajo condiciones de acumulación de agua cuando el techo no tenga suficiente pendiente hacia los desagües (**< 3%**), o no tenga un adecuado número de descargas, y/o cuando no se prevenga adecuadamente que no exista acumulación de agua de lluvia o de deshielo. En dichos casos se deberá considerar tanto la influencia de la deformación de la estructura de la cubierta o techo como la posibilidad de acumulación de agua hasta la altura de los desbordes libres.

En el **Apéndice 2** se presentan métodos para determinar si un sistema de cubierta o techo posee suficiente resistencia y rigidez frente a la acumulación de agua.

B.3.9. Dimensionamiento para cargas cíclicas (fatiga)

En los miembros y sus uniones sometidos a **cargas cíclicas**, dentro del rango elástico de tensiones, de frecuencia e intensidad suficiente para iniciar la fisuración y la falla progresiva (fatiga), se deberá realizar la **verificación a fatiga** con las especificaciones del **Apéndice 3**.

No es necesario realizar la verificación a fatiga frente a efectos sísmicos o cargas de viento en los sistemas estructurales para cargas horizontales o en los elementos de cerramiento de edificios comunes.

B.3.10. Proyecto para condiciones de incendio

En el **Apéndice 4** se dan criterios para proyectar o verificar la estructura y sus elementos componentes para condiciones de incendio. Las especificaciones del **Apéndice 4** deberán ser compatibilizadas para cada proyecto con los requisitos planteados por los Códigos Municipales, otras normas específicas de aplicación obligatoria o especificaciones contractuales, ello bajo la responsabilidad del Proyectista.

B.3.11. Efectos de la corrosión

Cuando la corrosión pueda afectar la resistencia o las condiciones de servicio de una estructura, los elementos estructurales serán proyectados para tolerar la corrosión o en su defecto deberán ser protegidos contra ella.

B.3.12. Anclaje al hormigón

El proyecto de bases de columnas, de insertos y pernos de anclaje deberá cumplir las especificaciones del Capítulo **J**.

B.4. PROPIEDADES DE LOS MIEMBROS

B.4.1. Clasificación de las secciones de acero según el pandeo local

Para miembros **comprimidos** las secciones de acero se clasifican como **no esbeltas** o **con elementos esbeltas**. Una sección es **no esbelta** cuando la relación ancho/espesor de **todos** sus elementos comprimidos es **menor o igual** al valor λ_r dado en la Tabla **B.4.1a**. Una sección se considera **con elementos esbeltas** cuando la relación ancho/espesor de **alguno** de sus elementos es **mayor** al valor λ_r dado en la Tabla **B.4.1a**.

Para **miembros flexados** las secciones de acero se clasifican en: **compactas**, **no compactas** o **con elementos esbeltas**.

Para que una sección sea considerada **compacta**, sus alas deben estar unidas en forma continua a un alma o almas, y la relación ancho/espesor de sus elementos comprimidos debe ser **menor o igual** que la relación límite λ_p indicada en la Tabla **B.4.1b**.

Si la relación ancho/espesor de uno o más elementos comprimidos de la sección es mayor que λ_p , pero menor o igual que el valor λ_r de la Tabla **B.4.1b, la sección es **no compacta**.**

Si la relación ancho/espesor de uno o más de los elementos comprimidos de la sección es mayor que el valor λ_r , dado en la Tabla **B.4.1b, la sección es **con elementos esbeltas**.**

B.4.1.(a). Elementos no rigidizados

Para elementos no rigidizados, o sea vinculados solamente a lo largo de un borde paralelo a la dirección de la fuerza de compresión, el ancho se determinará de la siguiente forma:

(a) Alas de secciones doble Te y Te: el ancho **b** es la mitad del ancho total de las alas **b_f**.

(b) Alas de secciones ángulo y de secciones U (canales) y Z: el ancho **b** es el total de la dimensión nominal del ala.

(c) **Para chapas:** el ancho b es la distancia desde el borde libre hasta la primera fila de bulones, o hasta el cordón de soldadura.

(d) Para **almas de secciones Te:** el ancho es la altura nominal total de la sección d .

Para **alas de espesor variable en secciones laminadas**, se adoptará como espesor el espesor nominal correspondiente a la mitad de la distancia entre el borde libre del ala y la cara correspondiente del alma.

B.4.1.(b). Elementos rigidizados

Para elementos rigidizados, o sea aquellos que están vinculados a lo largo de los dos bordes paralelos a la dirección de la fuerza de compresión, el ancho se determinará de la siguiente forma:

(a) Para **almas de secciones laminadas o conformadas;** h es la distancia libre entre alas menos los radios de acuerdo entre el alma y cada ala; h_c es el doble de la distancia desde el baricentro de la sección a la cara interna del ala comprimida, menos el radio de acuerdo entre el alma y el ala. (Figura B.4.1a).

(b) **Para almas de secciones armadas;** h es la distancia entre líneas adyacentes de bulones o remaches en uniones con pasadores, o la distancia libre entre las caras internas de las alas cuando se utiliza soldadura; y h_c es el doble de la distancia desde el baricentro de la sección, a la línea de bulones o remaches correspondiente al ala comprimida más próxima, o a la cara interna del ala comprimida cuando se utilizan cordones de soldadura. (Figura B.4.1 b) y c)).

(c) **Para alas o platabandas en secciones armadas,** el ancho b es la distancia entre líneas adyacentes de pasadores (remaches o bulones) o entre cordones de soldadura.

(d) Para **alas de secciones tubulares huecas** (rectangulares o cuadradas), el ancho b es la distancia libre entre almas menos la suma de los radios internos de cada lado. Si no se conoce el radio, puede adoptarse el ancho b como el ancho total de la sección menos tres veces el espesor.

(e) Para **platabandas o alas perforadas** el ancho b es la distancia transversal entre las líneas mas cercanas de pasadores o cordones de soldadura, y el área neta de la chapa se tomará en la sección del agujero mas ancho.

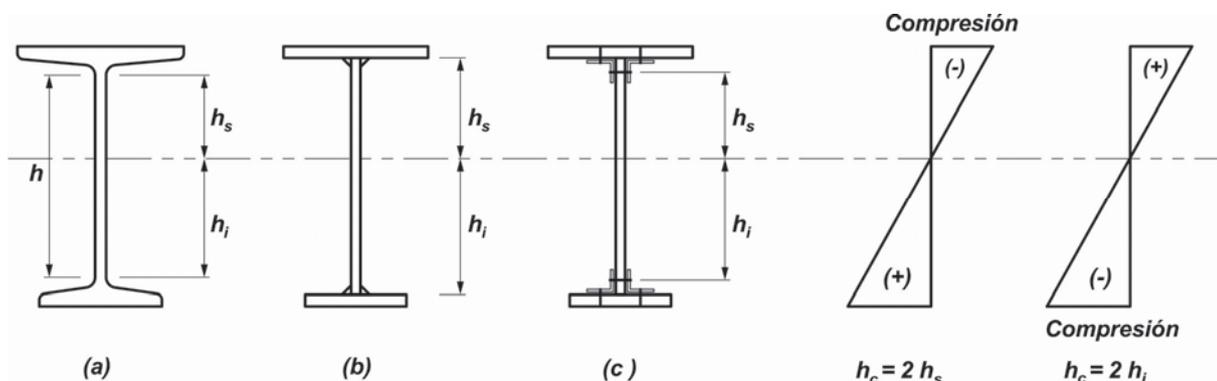


Figura B.4.1. Determinación de h_c .

Tabla B.4.1a. Relaciones ancho/espesor en elementos comprimidos de miembros sometidos a compresión axial

	Caso	Descripción del elemento	Ancho/espesor	Relación λ_r	Ejemplos
NO RIGIDIAZADOS	1	Alas de vigas de perfiles laminados "doble Te" y canales; alas de perfiles "Te"; alas de perfiles ángulo unidos en forma continua; placas y ángulos salientes de vigas de perfiles laminados	b/t	$0,56 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	2	Alas de secciones "doble Te" soldadas y ángulos o placas salientes de secciones soldadas	b/t	(a) $0,64 \sqrt{\frac{k_c E}{F_y}}$	
	3	Alas de perfiles ángulo; alas de pares de ángulo unidos con presillas; todo elemento no rigidizado	b/t	$0,45 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	4	Almas de secciones "Te" y canales	b/t	$0,75 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
RIGIDIAZADOS	5	Almas de perfiles laminados y armados "doble Te" de doble simetría y canales	h/t _w	$1,49 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	6	Paredes de tubos rectangulares y cuadrados sin costura	b/t o h/t	$1,40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	7	Platabandas y placas diafragma entre líneas de pasadores o cordones de soldadura	b/t	$1,40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	8	Paredes de cajones o rectangulares o cuadrados; todo elemento rigidizado	b/t o h _w /t _w	$1,49 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	9	Ancho no apoyado de platabandas o alas perforadas con una sucesión de agujeros de acceso	b/t	$1,86 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	 Adoptar área neta de la palanca en el ancho del agujero
	10	Tubos circulares	D/t	$0,11 (E / F_y)$	

Tabla B.4.1b. Relaciones ancho/espesor en elementos comprimidos de miembros flexados

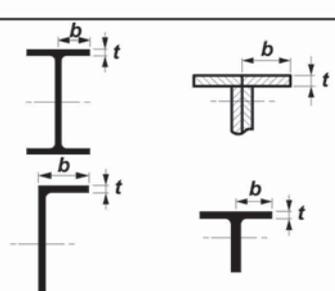
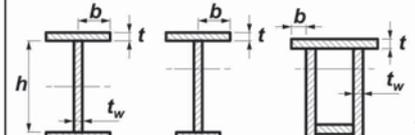
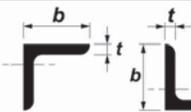
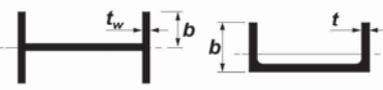
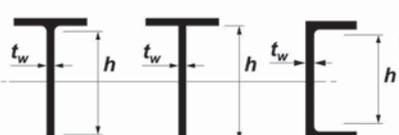
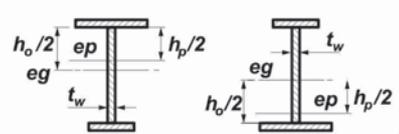
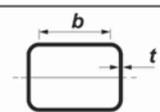
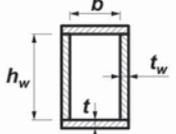
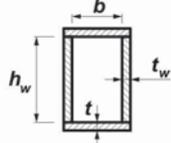
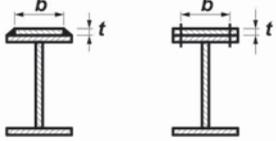
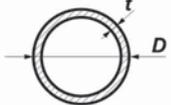
	Caso	Descripción del elemento	Ancho / espesor	Ancho / espesor Limite		Ejemplos
				$\lambda_p(d)$	λ_r	
NO RIGIDIAZADOS	11	Alas de perfiles laminados "doble Te", "Te", canales y pares de perfiles ángulo en contacto continuo	b/t	$0,38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$0,83 \sqrt{\frac{E}{F_L}}$	
	12	Alas de secciones "doble Te" soldadas de doble y simple simetría; Alas salientes de vigas soldadas	b/t	$0,38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	(a) (b) $0,95 \sqrt{\frac{k_c E}{F_L}}$	
	13	Alas de ángulos simples	d/t	$0,54 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$0,91 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	14	Alas de toda "doble Te" y canal flexado alrededor del eje débil	b/t	$0,38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1,00 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	15	Alma de "Te"	d/t	$0,84 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1,03 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
RIGIDIAZADOS	16	Almas de "doble Te" de doble simetría y canales laminados y soldados	h/t_w	$3,76 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$5,70 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	17	Alma de secciones "doble Te" de simple simetría	b/t	(c) (e) $\frac{(h_c/h_p) (\sqrt{E/F_y})}{[0,54(M_p/M_y)-0,09]} \leq \lambda_r$	$5,70 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	18	Alas de tubos rectangulares y cuadrados sin costura	b/t o h_w/t_w	$1,12 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1,40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	19	Alas de secciones cajón soldadas	b/t	$1,12 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1,49 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	20	Almas de tubos rectangulares y cuadrados sin costura	h/t	$2,42 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$5,70 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
Continúa Tabla B.4.1b.						

Tabla B.4.1b (continuación). Relaciones ancho/espesor en elementos comprimidos de miembros flexados

RIGIDIAZADOS	21	Almas de secciones cajón	h_w/t_w	$3,76\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$5,70\sqrt{\frac{E}{F_L}}$	
	22	Platabandas y placas diafragma entre líneas de pasadores o cordones de soldadura	blt	$1,12\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1,40\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	23	Tubos circulares	D/t	$(0,07)E/F_y$	$0,31(E/F_y)$	

Observaciones:

(a) $k_c = \frac{4}{\sqrt{\frac{h}{t_w}}}$ pero comprendido entre $0,35 \leq k_c \leq 0,763$

- (b) $F_L = 0,7 F_y$ para secciones laminadas.
 F_L menor valor de $(F_{yf} - F_r)$ o F_{yw} secciones armadas compactas y no compactas, flexando alrededor del eje fuerte con $S_{xt}/S_{xc} \geq 0,7$.
 $F_r = 114 \text{ MPa}$ para secciones soldadas.
 $F_L = F_y S_{xt}/S_{xc} \geq 0,5 F_y$ para secciones armadas compactas y no compactas, flexando alrededor del eje fuerte con $S_{xt}/S_{xc} < 0,7$.

(c) M_y momento elástico, en kNm. M_p = momento plástico, en kNm.

(d) Se asume una capacidad de rotación inelástica igual a **3 veces** la rotación elástica

(e) eg = eje baricéntrico ep = eje plástico.

siendo:

E el módulo de elasticidad longitudinal del acero = **200000 MPa**

F_y la tensión de fluencia especificada del acero, en MPa.

F_{yf} la tensión de fluencia especificada del acero del ala en secciones híbridas, en MPa.

F_{yw} la tensión de fluencia especificada del acero del alma en secciones híbridas, en MPa.

B.4.2. Determinación del área bruta y del área neta de una sección transversal

B.4.2.1. Área bruta (A_g)

En secciones formadas por elementos planos, el área bruta A_g de **un miembro** en cualquier punto, es la suma de los productos de los espesores por los anchos brutos de cada elemento de la sección, medidos en la sección normal al eje **del miembro**. Para secciones angulares, el ancho bruto es la suma de los anchos de las alas, menos el espesor. (ver la Figura **B.4.2.**). En secciones macizas o tubos el área bruta A_g es el área material de la sección normal al eje del **miembro**.

B.4.2.2. Área neta (A_n)

En secciones formadas por elementos planos, el área neta A_n **del miembro** es la suma de los productos de los espesores por los anchos netos de cada elemento de la sección. Para su cálculo se considerará lo siguiente:

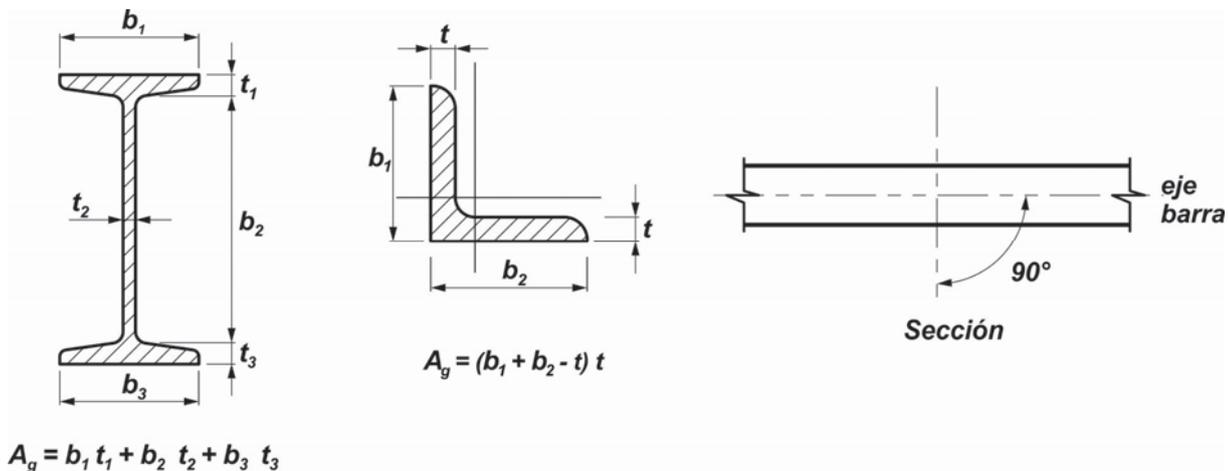


Figura B.4.2. Área bruta.

- En el cálculo del área neta para solicitaciones de tracción y de corte, el ancho del agujero de un pasador se tomará **2 mm**. mayor que la dimensión nominal del agujero dada en la Tabla **J.3.3** y medido respectivamente en la dirección perpendicular o paralela a la fuerza aplicada.
- Para una cadena de agujeros en diagonal o zigzag con respecto al eje **del miembro**, el ancho neto será el ancho bruto menos la suma de los anchos correspondientes de los agujeros de la cadena considerada, más la cantidad $s^2/4g$ por cada diagonal de la cadena, siendo:

- s** la distancia en dirección de la fuerza entre centros de agujeros consecutivos (paso), en cm.
- g** la distancia en dirección perpendicular a la fuerza entre centros de agujeros consecutivos (gramil), en cm.

Para agujeros ovalados largos no se sumará la cantidad $s^2/4g$.

El área neta de la sección resultará la menor de las áreas netas de las cadenas consideradas, para las posibles líneas de falla. (Figura **B.4.3a**).

- Para secciones angulares la distancia transversal (gramil) entre agujeros ubicados uno en cada ala, será la suma de las distancias entre los centros de agujeros y el vértice del ángulo, menos el espesor del ala.(Figura **B.4.3b**).
- Para determinar el área neta en secciones con soldadura de tapón o de muesca, se considerará como vacío el espacio ocupado por las soldaduras.
- No existiendo agujeros $A_n = A_g$.
- Para el área neta de elementos auxiliares de una unión, ver la Sección **J.4.1(b)**.

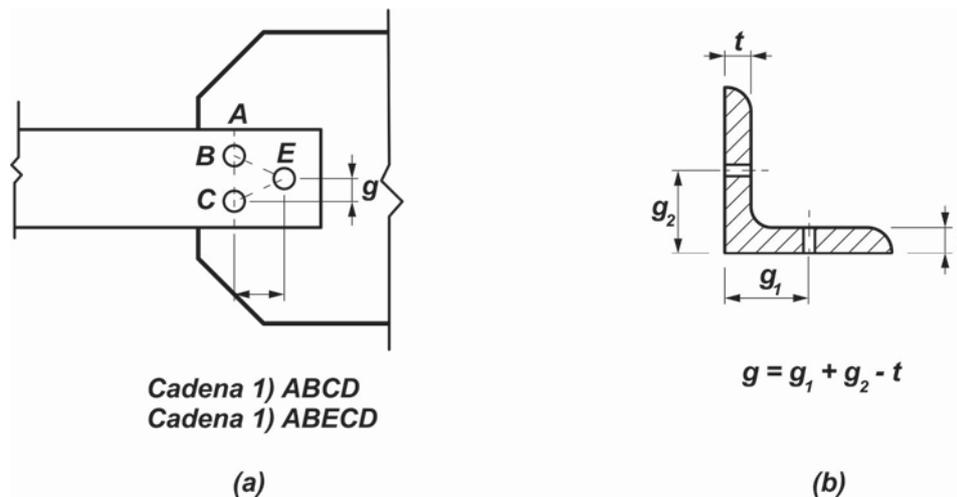


Figura B.4.3. Áreas netas.

B.4.3. Propiedades de la sección para el dimensionado

Las propiedades de las secciones para el dimensionado serán calculadas utilizando la sección transversal real a excepción del caso siguiente:

- Para el cálculo del momento de inercia y el módulo resistente elástico de la sección en barras flexadas, será utilizado el ancho efectivo reducido de elementos rigidizados comprimidos (b_e), determinado según lo especificado en la Sección E.7.2, de manera de obtener las propiedades efectivas de la sección transversal.

Para miembros axialmente comprimidos, el área bruta de la sección transversal A_g y el radio de giro r , serán calculados con la sección transversal real.

B.5. FABRICACIÓN Y MONTAJE

Los planos de taller y de montaje, la fabricación y el montaje, y la pintura de taller deberán satisfacer las especificaciones del Capítulo M (Fabricación y Montaje)

B.6. CONTROL DE CALIDAD Y ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD

Los métodos y procedimientos para el control de calidad y el aseguramiento de la calidad deberán satisfacer las especificaciones del Capítulo N (Control de calidad y aseguramiento de la calidad).

B.7. EVALUACIÓN DE ESTRUCTURAS EXISTENTES

Las especificaciones para la evaluación de estructuras existentes están contenidas en el **Apéndice 5** (Evaluación de estructuras existentes).

CAPÍTULO C. PROYECTO POR CONSIDERACIONES DE ESTABILIDAD Y RESISTENCIA

Las especificaciones de este Capítulo son aplicables al *Proyecto de Estructuras por consideraciones de estabilidad y resistencia*. En él se desarrolla el *Método de Análisis Directo* para realizar el análisis estructural. En el *Apéndice 7* se presentan métodos alternativos.

Su contenido está organizado de la siguiente manera:

- C.1. Especificaciones generales para la estabilidad de la estructura
- C.2. Determinación de las resistencias requeridas por el método de análisis directo
- C.3. Determinación de las resistencias de diseño para el método de análisis directo.

C.1. ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA ESTABILIDAD DE LA ESTRUCTURA

Se deberá asegurar la estabilidad global y la resistencia de la estructura, así como la de todos y cada uno de sus elementos componentes. La estructura además debe tener suficiente rigidez lateral que limite los desplazamientos laterales. La estabilidad y rigidez pueden ser proporcionadas por:

- (a) La rigidez lateral propia del plano, la que puede ser provista por alguna de las siguientes posibilidades y sus combinaciones :
 - Triangulaciones, diagonalizaciones, arriostramientos en K, X, Y, u otros sistemas de arriostramiento para pórticos arriostrados en el plano.
 - Rigidez flexional de las uniones entre los miembros.
 - Columnas en voladizo empotradas en la base.
- (b) La rigidez lateral de planos paralelos al considerado, vinculados al mismo por un sistema horizontal de arriostramiento. Dichos planos pueden ser:
 - Pórticos arriostrados en su plano.
 - Pórticos de nudos rígidos.
 - Tabiques de hormigón armado o mampostería, núcleos, o similares.

Los efectos de las acciones sobre la estructura y sus elementos componentes se deberán determinar por análisis estructural. Con los efectos así determinados se realizarán las verificaciones de estados límite últimos y de servicio. Todo método de análisis estructural deberá considerar todos los efectos de:

- (1) Las deformaciones por flexión, corte y esfuerzo axil de los miembros componentes y cualquier otra deformación que pueda contribuir a los desplazamientos de la estructura.

- (2) Los efectos de segundo orden (efectos $P-\Delta$ y $P-\delta$).
- (3) Las imperfecciones geométricas.
- (4) Reducciones de rigidez debidas al comportamiento inelástico.
- (5) Las incertidumbres en la determinación de las rigideces y de las resistencias.

Todos los efectos dependientes de las cargas deberán ser determinados con las combinaciones de acciones definidas en la Sección **B.2.**

Se permite **cualquier método de análisis estructural** que considere todos los efectos arriba enumerados; ello incluye los especificados en las Secciones **C.1.1.** y **C.1.2.**

Se define **Proyecto** como la **combinación** de la determinación por **análisis estructural** de las solicitaciones de sección y reacciones de vínculo (resistencias requeridas) de los elementos de la estructura **y el dimensionamiento** de los mismos para que tengan la adecuada resistencia de diseño.

En estructuras proyectadas con **métodos de análisis global inelástico** se deberán satisfacer las especificaciones del **Apéndice 1.**

C.1.1. Proyecto por el método de análisis directo (MAD)

Se permite el proyecto de todas las estructuras por el **método de análisis directo**. El mismo consiste en determinar las resistencias requeridas según las especificaciones de la Sección **C.2.** y las resistencias de diseño según lo especificado en la Sección **C.3.**

C.1.2. Proyecto por métodos alternativos

Se permiten como alternativas al método de análisis directo, el **método de la longitud efectiva (MLE)** y el **método de análisis de primer orden (MAPO)** definidos en el **Apéndice 7.** Los mismos podrán ser aplicados solo en el proyecto de estructuras que satisfagan las condiciones que se especifican en dicho Apéndice.

C.2. DETERMINACIÓN DE LAS RESISTENCIAS REQUERIDAS POR EL MÉTODO DE ANÁLISIS DIRECTO (MAD)

Para el proyecto de la estructura por el método de análisis directo, las resistencias requeridas (solicitaciones de sección y reacciones de vínculo) de los elementos componentes serán determinadas por análisis estructural según lo especificado en la Sección **C.2.1.** El análisis deberá incluir la consideración de las imperfecciones iniciales de acuerdo con la Sección **C.2.2.** y ajustes en las rigideces de los elementos componentes según la Sección **C.2.3.**

Las resistencias requeridas de los elementos estructurales y sus uniones no serán inferiores a las determinadas por análisis de primer orden de la estructura sometida a las acciones mayoradas, y sin considerar las imperfecciones iniciales.

C.2.1. Especificaciones generales del análisis directo

- (1) En **estructuras isostáticas** las resistencias requeridas de los elementos componentes se deberán obtener usando las leyes y ecuaciones de la estática.

En **estructuras hiperestáticas** las resistencias requeridas de los elementos componentes se deberán obtener por **análisis global elástico**. El mismo se basará en la hipótesis de que el diagrama tensión-deformación del acero es lineal, sea cual fuere el nivel de tensión. Esta hipótesis podrá ser mantenida, tanto para análisis elástico de primer orden como de segundo orden, aún cuando la resistencia de la sección transversal esté basada en la resistencia plástica.

- (2) El análisis deberá considerar las **deformaciones por flexión, corte y fuerza axial** de los miembros componentes y cualquier deformación de otro componente o unión que pueda contribuir a los desplazamientos de la estructura. El análisis **deberá incluir reducciones de todas las rigideces** que contribuyan a la estabilidad de la estructura según se especifica en la Sección **C.2.3**.
- (3) El análisis global deberá ser de segundo orden considerando los efectos **$P-\Delta$ y $P-\delta$** . Si se utilizan programas computacionales se deberá verificar que los mismos sean capaces de realizar un **análisis riguroso de segundo orden**, o sea que consideren los efectos **$P-\Delta$ y $P-\delta$** en la respuesta de la estructura.

Se permite **no considerar** el efecto **$P-\delta$ en la respuesta de la estructura** (producidos por los momentos nodales) cuando se satisfacen las siguientes condiciones:

- (a) La estructura soporta cargas gravitatorias principalmente a través de columnas nominalmente verticales, tabiques o pórticos arriostrados o no arriostrados nominalmente verticales.
- (b) La relación entre el máximo desplazamiento lateral relativo de piso de segundo orden y el de primer orden (ambos determinados con las combinaciones de acciones mayoradas y considerando las rigideces reducidas según la Sección **C.2.3**.) en todos los pisos sea menor o igual que **1,7**.
- (c) No más de un tercio de la carga gravitatoria de la estructura sea soportada por columnas que formen parte de pórticos rígidos (pórticos no arriostrados o a nudos desplazables) en la dirección de traslación considerada.

Es necesario considerar los efectos $P-\delta$ en la evaluación de todos los elementos individuales sometidos a compresión y a flexión por cargas transversales entre sus apoyos, cuando los mismos incrementen las resistencias requeridas.

Para considerar el efecto **$P-\delta$** en la evaluación de miembros individuales se puede aplicar el factor **B_1** , definido en el **Apéndice 8**.

Como una alternativa a un análisis de segundo orden más riguroso, se permite el uso del método aproximado de amplificación de fuerzas y momentos de primer orden definido en el **Apéndice 8**.

- (4) El análisis de segundo orden deberá ser realizado con las combinaciones de acciones mayoradas. Se deberán considerar todas las cargas tanto gravitacionales como otras cargas aplicadas que puedan influir en la estabilidad de la estructura. En las cargas se deben incluir las que actúan sobre las columnas u otros elementos que no aportan rigidez lateral al sistema estructural.

C.2.2. Consideración de las imperfecciones iniciales

En el análisis se debe considerar el efecto de las **imperfecciones iniciales** en la estabilidad de la estructura y en las resistencias requeridas de sus componentes, para lo cual se puede proceder de la siguiente manera:

- (1) modelando directamente las imperfecciones en el análisis, tal como se especifica en la Sección **C.2.2 (a)** ó,
- (2) usando cargas ficticias como se indica en la Sección **C.2.2 (b)**.

Las imperfecciones a considerar serán las imperfecciones en la localización de los puntos de intersección de los miembros de la estructura tales como el desplome de las columnas teóricamente verticales en estructuras de edificios.

La curvatura inicial de los miembros comprimidos está considerada en la curva de pandeo utilizada en el Capítulo **E**, por lo que no se debe considerar en el análisis global esta imperfección, a excepción de que la misma supere el límite adoptado para la determinación de dicha curvatura.

C.2.2 (a). Modelado directo de las imperfecciones

En todos los casos se permite considerar el efecto de las imperfecciones iniciales incluyendo las mismas en el análisis estructural. La estructura deberá ser analizada con los puntos de intersección de sus miembros (nudos) desplazados respecto de su ubicación nominal. El valor de los desplazamientos iniciales será la máxima tolerancia permitida para la construcción y su disposición será tal que produzca el máximo efecto desestabilizador. La modelación de las imperfecciones deberá tener una configuración similar a los desplazamientos debidos a las cargas actuantes y a los modos de pandeo, previsible en la estructura.

En estructuras que soportan cargas gravitatorias fundamentalmente a través de columnas nominalmente verticales, tabiques o pórticos, y donde la relación entre los desplazamientos máximos de segundo y de primer orden debidos a las cargas mayoradas y obtenidos con las rigideces reducidas, **sea menor o igual que 1,7**, se permite considerar las imperfecciones iniciales sólo en aquellas combinaciones de acciones mayoradas que incluyan solamente cargas gravitatorias, no siendo necesario hacerlo en aquellas combinaciones de acciones que incluyan cargas laterales.

C.2.2 (b). Uso de cargas ficticias para representar las imperfecciones

Se permite el uso de **cargas ficticias** con las especificaciones dadas en esta Sección (ver puntos del **(1)** al **(4)**) para representar los efectos de las imperfecciones iniciales, en estructuras que soportan cargas gravitatorias fundamentalmente a través de columnas nominalmente verticales, tabiques o pórticos. Las cargas ficticias deberán ser aplicadas en el modelo de la estructura con la geometría nominal inicial.

- (1) Las cargas ficticias deberán ser aplicadas como cargas laterales en todos los niveles. Ellas deberán ser adicionadas a las otras cargas laterales consideradas y deberán incorporarse en las combinaciones de cargas correspondientes, a excepción de lo especificado en **(4)**. La intensidad de las cargas ficticias será:

$$N_i = 0,002 Y_i$$

siendo:

N_i la carga ficticia aplicada en el nivel i , en kN,

Y_i la carga gravitacional mayorada aplicada en el nivel i , en kN.

El corte basal sobre las fundaciones resultante de las cargas ficticias **no debe ser considerado** para el diseño de las mismas. Los momentos de vuelco adicionales y sus efectos, resultantes de las cargas ficticias, **deberán ser considerados**.

- (2) Las cargas ficticias en cada nivel deberán ser distribuidas entre los elementos estructurales en cada nivel, de manera proporcional a la distribución de las cargas gravitatorias aplicadas en el nivel. Las cargas ficticias deberán ser aplicadas en la dirección y en el sentido que produzca el mayor efecto desestabilizante. En la mayoría de las estructuras de edificios ello implica: **(a)** para combinaciones de acciones que no incluyen cargas laterales, aplicar las cargas ficticias en dos direcciones no coincidentes y en ambos sentidos. La dirección y el sentido deben ser los mismos en todos los niveles. **(b)** para combinaciones de acciones que incluyan cargas laterales considerar las cargas ficticias en la dirección y el sentido de la resultante de todas las cargas laterales actuantes en la combinación de acciones considerada.
- (3) El factor **0,002** para determinar la carga ficticia resulta de considerar un desplome inicial de **H/500**, máximo permitido por este Reglamento. Para casos en que el desplome inicial resulte justificadamente diferente se deberá ajustar el coeficiente en forma proporcional.
- (4) Para estructuras donde la relación entre los desplazamientos máximos de segundo y de primer orden debidos a las cargas mayoradas, y obtenidos con las rigideces reducidas según se especifica en la Sección **C.2.3.**, sea menor o igual que **1,7**, se permite aplicar la carga ficticia N_i sólo en aquellas combinaciones de acciones mayoradas que incluyan solamente cargas gravitatorias, no siendo necesario hacerlo en aquellas combinaciones de acciones que incluyan cargas laterales.

C.2.3. Ajustes en la rigidez

En el análisis estructural para la determinación de las resistencias requeridas de los distintos miembros de la estructura se deberán utilizar **rigideces reducidas** según se especifica a continuación:

- (1) Se deberá aplicar un factor de reducción igual a **0,80** a todas las rigideces de los elementos estructurales.
- (2) Se deberá aplicar un factor de reducción adicional τ_b a la rigidez a flexión de todos los miembros de la estructura cuya rigidez a flexión contribuya a la estabilidad de la estructura.

$$(a) \text{ Cuando } (P_u / P_y) \leq 0,5 \qquad \tau_b = 1 \qquad (C.2.2a)$$

$$(b) \text{ Cuando } (P_u / P_y) > 0,5 \qquad \tau_b = 4 (P_u / P_y) [1 - (P_u / P_y)] \qquad (C.2.2b)$$

siendo:

P_u la resistencia requerida a compresión axial del miembro, en kN,

P_y la resistencia nominal a compresión por fluencia = $F_y \cdot A_g (10)^{-1}$, en kN.

(3) En aquellas estructuras que cumplen los requisitos indicados en la Sección **C.2.2 (b)** podrá tomarse $\tau_b = 1$ en lugar de $\tau_b < 1$, cuando ello corresponda según la Sección **C.2.2(2)**, si se aplica en todos los niveles una carga ficticia **0,001 Y_i** aplicada según se especifica en la Sección **C.2.2(b)(2)** y en todas las combinaciones de acciones. Estas cargas ficticias deberán adicionarse a las determinadas por la Sección **C.2.2(b)(1)** cuando estas se utilicen para considerar las imperfecciones iniciales. En este caso no es de aplicación lo especificado en la Sección **C.2.2(b)(4)**.

(4) Cuando existan miembros compuestos acero-hormigón o de otros materiales que contribuyan a la estabilidad de la estructura, deberán ser aplicados a estos miembros los factores de reducción que especifiquen los respectivos Reglamentos para esos materiales.

C.3. DETERMINACIÓN DE LAS RESISTENCIAS DE DISEÑO PARA EL MÉTODO DE ANÁLISIS DIRECTO

Cuando se utilice el método de análisis directo para determinar las resistencias requeridas, las resistencias de diseño de los miembros de la estructura y sus uniones serán determinadas con las especificaciones de los Capítulos **D, E, F, G, H, y J** según corresponda, sin consideraciones adicionales sobre la estabilidad de la estructura. El **factor de longitud efectiva k** se tomará $k = 1$ a menos que un valor menor pueda ser justificado mediante un análisis racional.

Los arriostramientos utilizados para definir longitudes no arriostradas de los miembros de la estructura deberán tener la suficiente rigidez y resistencia para controlar los movimientos del miembro en los puntos que arriostran.

Los métodos para satisfacer los requisitos de los arriostramientos de columnas, vigas y vigas-columnas y pórticos arriostrados se especifican en el **Apéndice 6**. Las especificaciones del **Apéndice 6 no se aplicarán a los arriostramientos que son incluidos como parte del sistema estructural en el análisis de la estructura completa.**

CAPÍTULO D. PROYECTO DE MIEMBROS TRACCIONADOS

Las especificaciones de este Capítulo son aplicables a **miembros prismáticos sometidos a tracción** por **fuerzas estáticas actuando según el eje que pasa por los centros de gravedad de las secciones transversales** (tracción axil).

Su contenido está organizado de la siguiente manera:

- D.1. Límites de esbeltez
- D.2. Resistencia de diseño a tracción
- D.3. Área neta efectiva
- D.4. Barras armadas
- D.5. Barras unidas por pasadores
- D.6. Barras de ojo.

- Para miembros sometidos a acciones cíclicas (fatiga), ver la Sección **B.3.9**.
- Para miembros sometidos a una combinación de tracción axil y flexión ver el Capítulo **H**.
- Para barras roscadas ver la Sección **J.3**.
- Para la resistencia de diseño a tracción de los elementos auxiliares de una unión (por ejemplo chapas de nudo), ver la Sección **J.4.1**.
- Para la resistencia de diseño a la rotura de bloque de corte en las uniones extremas de miembros traccionados, ver la Sección **J.4.3**.
- Para miembros traccionados con almas de altura variable ver la **Recomendación CIRSOC 301-1**.

D.1. LÍMITES DE ESBELTEZ

En **miembros traccionados la esbeltez (kL/r)** será menor o igual que **300**. La limitación anterior no se aplica para cables y secciones circulares macizas en tracción, los que deberán tener una pretensión que garantice su entrada en tracción al actuar las cargas de servicio.

En presencia de acciones dinámicas, excepto viento, el límites anterior se reducirá a **250**.

D.2. RESISTENCIA DE DISEÑO A TRACCIÓN

La **resistencia de diseño de miembros traccionados, $\phi_t P_n$ (kN)** será el menor valor obtenido de la consideración de los estados límites de **(a)** fluencia en la sección bruta; **(b)** rotura en la sección neta.

(a) Para **fluencia en la sección bruta**:

$$\phi_t = 0,90 \qquad P_n = F_y A_g (10^{-1}) \qquad (D.2.1)$$

(b) Para **rotura en la sección neta**:

$$\phi_t = 0,75 \qquad P_n = F_u A_e (10^{-1}) \qquad (D.2.2)$$

siendo:

P_n la resistencia nominal a la tracción axial, en kN.

F_y la tensión de fluencia mínima especificada, en MPa.

F_u la tensión de rotura a tracción especificada, en MPa.

A_g el área bruta del miembro, en cm².

A_e el área neta efectiva del miembro, en cm².

Cuando miembros sin agujeros se unan totalmente mediante cordones de soldadura, el área neta efectiva usada en la expresión (D.1.2) será la definida en la Sección D.3.. Cuando existan agujeros en un miembro unido en sus extremos por cordones de soldadura o en el caso que la unión sea realizada por soldaduras de tapón o de muesca, en la expresión (D.1.2) se utilizará el área neta de la sección a través de los agujeros.

D.3. ÁREA NETA EFECTIVA

El área bruta A_g y el área neta A_n de la sección transversal de un miembro se determinará con las especificaciones de la Sección B.4.2.

El **área neta efectiva** A_e para miembros traccionados será determinada de la siguiente manera:

(1) Cuando la **fuerza de tracción se transmita directamente por cada uno** de los elementos de la sección transversal mediante pasadores o cordones de soldadura, el área neta efectiva A_e será igual al área neta A_n .

(2) Cuando la **fuerza de tracción se transmita a través de algunos, pero no de todos**, los elementos de la sección transversal mediante pasadores o cordones de soldadura, el área neta efectiva A_e será determinada de la siguiente forma:

(a) Cuando la fuerza de tracción se transmita **sólo por pasadores**:

$$A_e = A_n U \qquad (D.3.1)$$

siendo:

$$U \quad \text{el coeficiente de reducción} = 1 - (\bar{x}/L) \leq 0,9 \qquad (D.3.2)$$

\bar{x} la excentricidad de la unión. (distancia entre el plano de la unión y el centro de gravedad de la sección por la que va la fuerza a transmitir), en cm.

L la longitud de la unión en la dirección de la fuerza, en cm.

Para ejemplos de \bar{x} y L ver la Figura **D.3.1(a)** hasta **(d)**.

Si existe sólo una fila de bulones $A_e = \text{área neta de los elementos directamente unidos}$

- (b)** Cuando la **fuerza de tracción se transmite desde un elemento** (que no sea una chapa plana) **sólo mediante cordones longitudinales** de soldadura, o mediante cordones de soldadura **longitudinales combinados** con cordones **transversales** (Figura **D.3.1(e)**) :

$$A_e = A_g U \quad (\text{D.3.3})$$

siendo:

$$U \text{ el coeficiente de reducción} = 1 - (\bar{x}/L) \leq 0,9 \quad (\text{D.3.2})$$

A_g el área bruta de la barra, en cm^2 .

- (c)** Cuando la **fuerza de tracción se transmite sólo por cordones de soldadura transversales**:

$$A_e = A U \quad (\text{D.3.4})$$

siendo:

A el área de los elementos unidos directamente, en cm^2 .

$$U = 1,0.$$

- (d)** Cuando la **fuerza de tracción se transmite por una chapa plana sólo mediante cordones de soldadura longitudinales** a lo largo de ambos bordes próximos al extremo de la chapa, debe ser $L \geq w$ (Figura **D.3.1(f)**) y:

$$A_e = A_g U \quad (\text{D.3.5})$$

siendo:

Para $L \geq 2 w$	$U = 1,0$
Para $2 w > L \geq 1,5 w$	$U = 0,87$
Para $1,5 w > L \geq w$	$U = 0,75$

siendo:

L la longitud de cada cordón de soldadura, en cm.

w el ancho de la chapa (distancia entre los cordones de soldadura), en cm.

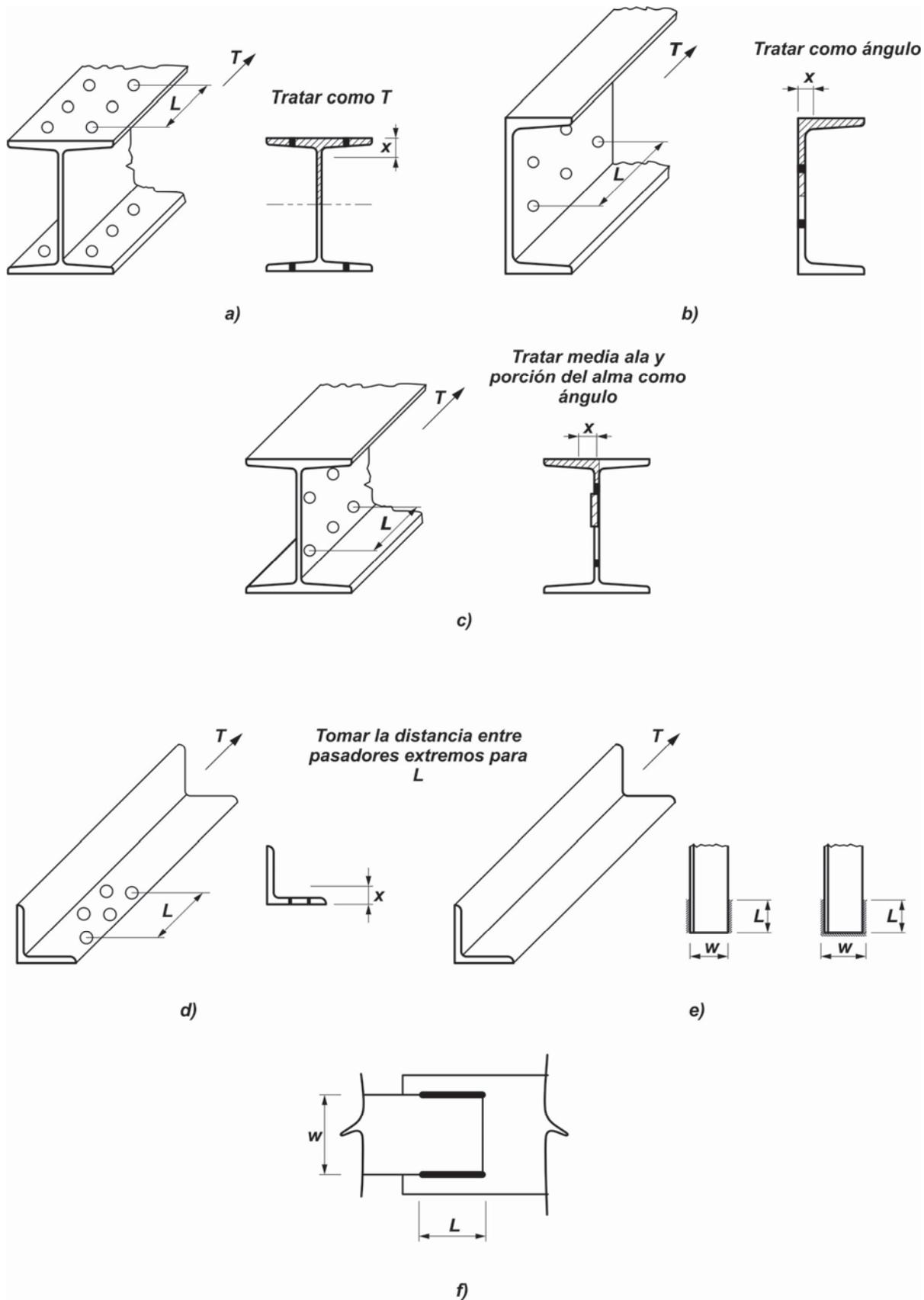


Figura D.3.1. Determinación de \bar{x} y L .

- Se permiten valores mayores para U cuando ellos sean justificados por ensayos u otro criterio racional.
- Para secciones abiertas tales como doble Te, canales, Tes y ángulos simples o dobles el factor de reducción U no será menor que la relación entre el área bruta del elemento unido y el área bruta de la sección de la barra.
- Para calcular el área neta efectiva de elementos auxiliares de una unión ver la Sección **J.4.1**.
- Para calcular el área neta efectiva de **secciones tubulares** ver el Reglamento CIRSOC 302-2005.

D.4. BARRAS ARMADAS

Para determinar las **limitaciones para el espaciamiento longitudinal de los medios de unión** entre elementos en contacto continuo, tales como una chapa y un perfil, o dos chapas, ver Sección **J.3.5**.

La **separación longitudinal de los medios de unión** entre los elementos unidos en contacto continuo será tal que la relación de esbeltez de cada componente entre medios de unión sea menor o igual a **300**.

En los **lados abiertos de barras armadas** traccionadas se pueden utilizar platabandas perforadas o presillas. (Figura **D.4.1**). Las presillas tendrán una longitud mayor o igual a **2/3** de la distancia entre los cordones de soldadura o las líneas de remaches o bulones que las unen a los componentes de la barra armada. El espesor de las presillas será mayor o igual a **1/50** de dicha distancia. La separación longitudinal de los cordones de soldadura intermitentes o de los pasadores de las presillas no deberá superar los **15 cm**. El espaciamiento entre presillas será tal que la esbeltez local de los componentes sea menor o igual a **300**.

D.5. BARRAS UNIDAS CON PERNO

D.5.1. Resistencia de diseño

La resistencia de diseño de una barra unida mediante perno, ϕP_n será el menor valor de los correspondientes a los siguientes estados límites:

(a) **Tracción sobre el área neta efectiva:**

$$\begin{aligned} \phi &= \phi_t = 0,75 \\ P_n &= 2 \ t \ b_{\text{eff}} \ F_u \ (10^{-1}) \end{aligned} \quad \text{(D.5.1)}$$

(b) **Corte sobre el área efectiva:**

$$\begin{aligned} \phi &= \phi_{sf} = 0,75 \\ P_n &= 0,6 \ A_{sf} \ F_u \ (10^{-1}) \end{aligned} \quad \text{(D.5.2)}$$

(c) **Para aplastamiento en el área proyectada del perno** ver Sección **J.7**.

(d) **Para fluencia en el área bruta de la barra**, utilizar la expresión **(D.2.1)**.

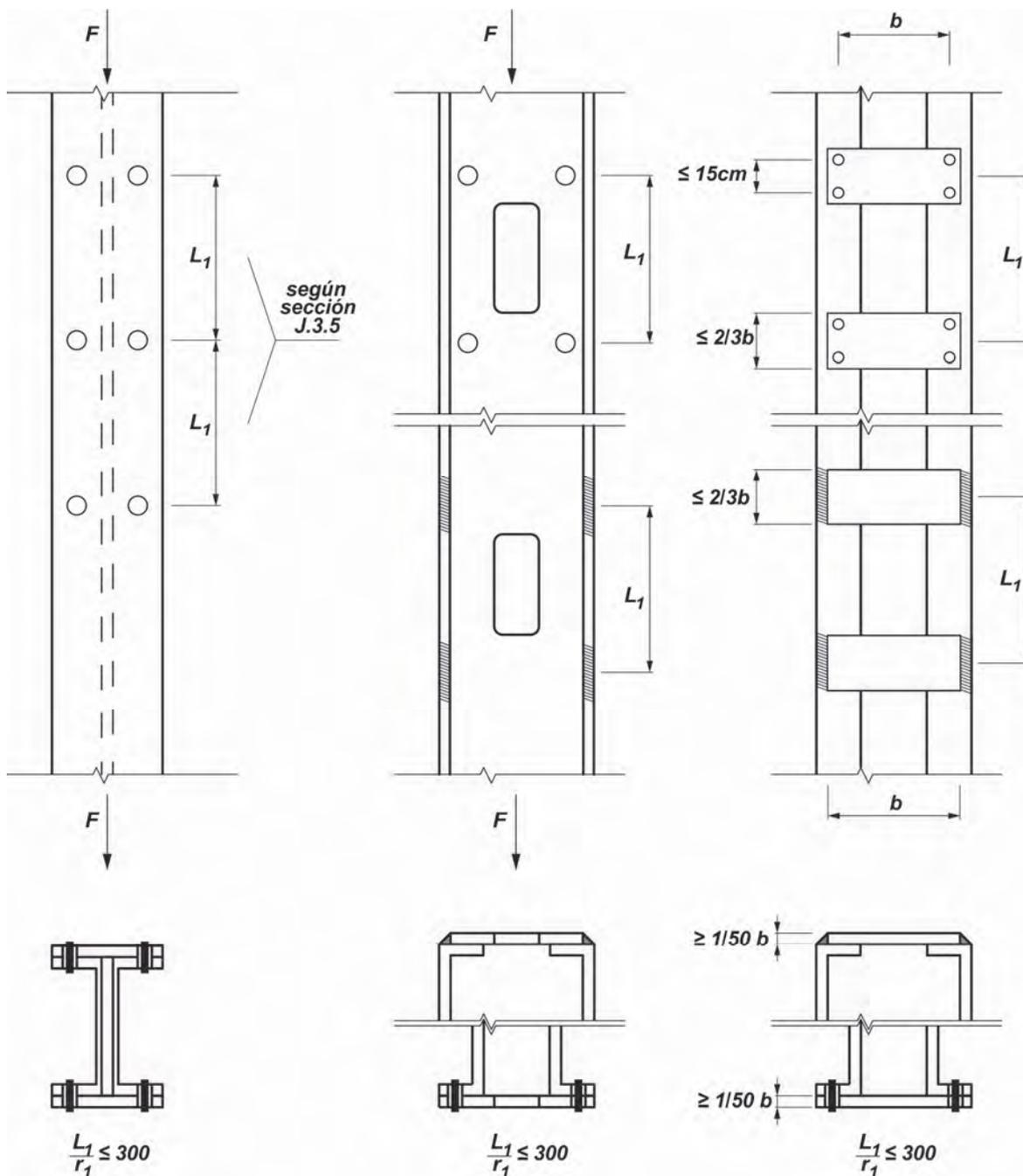


Figura D.4.1. Barras armadas traccionadas.

siendo:

a la menor distancia desde el borde del agujero hasta el borde de la barra, medida en dirección paralela a la dirección de la fuerza, en cm.

$$A_{sf} = 2 t (a + d/2), \text{ en cm}^2.$$

$b_{eff} = 2 t + 1,6$ (dimensiones en **cm**) pero no mayor que la distancia real desde el borde del agujero al borde de la barra, medida en dirección normal a la de la fuerza aplicada.

d el diámetro del perno, en cm.

t el espesor de la chapa, en cm.

P_n la resistencia nominal, en kN.

F_u la tensión de rotura a la tracción especificada del acero, en MPa.

D.5.2. Especificaciones sobre detalles y dimensiones (Figura D.5.1)

El agujero para el perno se ubicará centrado con respecto a los bordes de la barra, en dirección normal a la fuerza aplicada. Cuando esté previsto que el perno permita movimientos relativos entre las partes unidas bajo la carga total, el diámetro del agujero no será mayor que el diámetro del perno más **1 mm**.

El ancho de la chapa detrás del agujero será mayor o igual a $b_{eff} + d$. La mínima longitud a detrás del extremo apoyado del agujero y medida en dirección paralela al eje de la barra, será mayor o igual a **1,33 b_{eff}** .

Las esquinas, por detrás del agujero, podrán cortarse a **45°** respecto del eje de la barra, siempre que el área neta detrás del agujero y en un plano perpendicular al corte, sea mayor o igual que la requerida por detrás del agujero y en dirección paralela al eje de la barra.

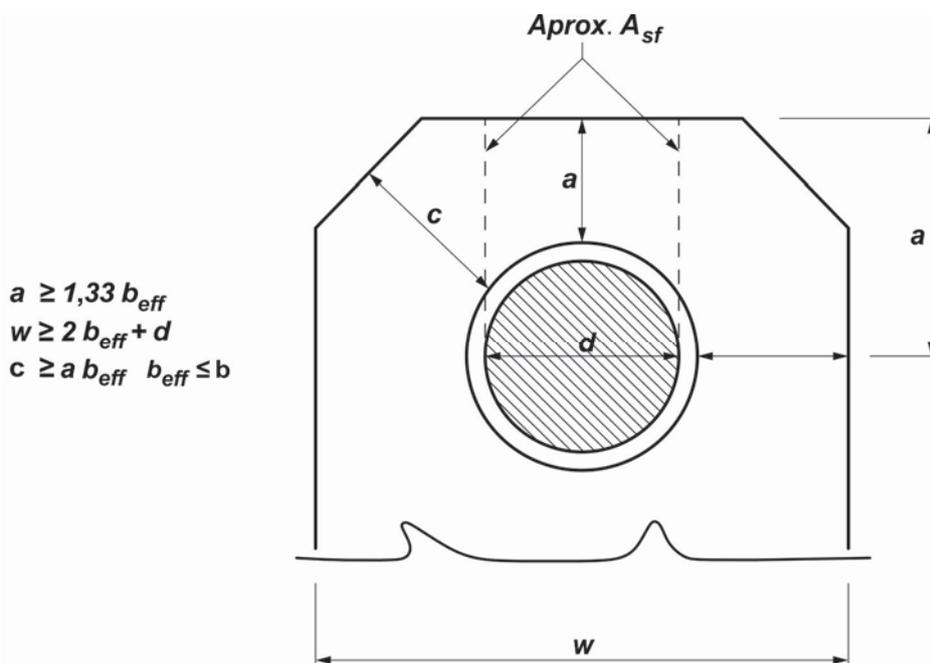


Figura D.5.1. Especificaciones dimensionales. Barras unidas por pernos.

D.6. BARRAS DE OJO

D.6.1. Resistencia de diseño a tracción

La resistencia de diseño a tracción de las barras de ojo se determinará de acuerdo con la Sección **D.2.** tomando como A_g el área de la sección transversal del cuerpo de la barra.

Para propósitos de cálculo el ancho del cuerpo de la barra de ojo será menor o igual que **8 veces** su espesor.

D.6.2. Especificaciones sobre detalles y dimensiones. (Figura D.6.1)

Las barras de ojo serán de espesor uniforme, sin refuerzos en la zona del agujero, y tendrán cabezas circulares con perímetro concéntrico con el agujero.

El radio de transición entre la cabeza circular y el cuerpo de la barra será mayor o igual que el diámetro de la cabeza.

El diámetro del perno será mayor o igual que **7/8** del ancho del cuerpo de la barra de ojo. El diámetro del agujero para el perno no excederá en más de **1 mm** el diámetro del perno.

Para aceros con tensión de fluencia $F_y > 485 \text{ MPa}$, el diámetro del agujero será menor o igual que **5 veces** el espesor de la chapa y el ancho del cuerpo de la barra de ojo será reducido en concordancia con esa limitación.

Se permiten espesores menores a **13 mm** sólo si se utilizan tuercas externas para mantener todas las partes unidas apretadas y en contacto.

El ancho **b** desde el borde del agujero al borde de la chapa, medido perpendicularmente a la dirección de la fuerza, será mayor que **2/3** y, a los efectos del cálculo, menor o igual que **3/4** del ancho del cuerpo de la barra de ojo.

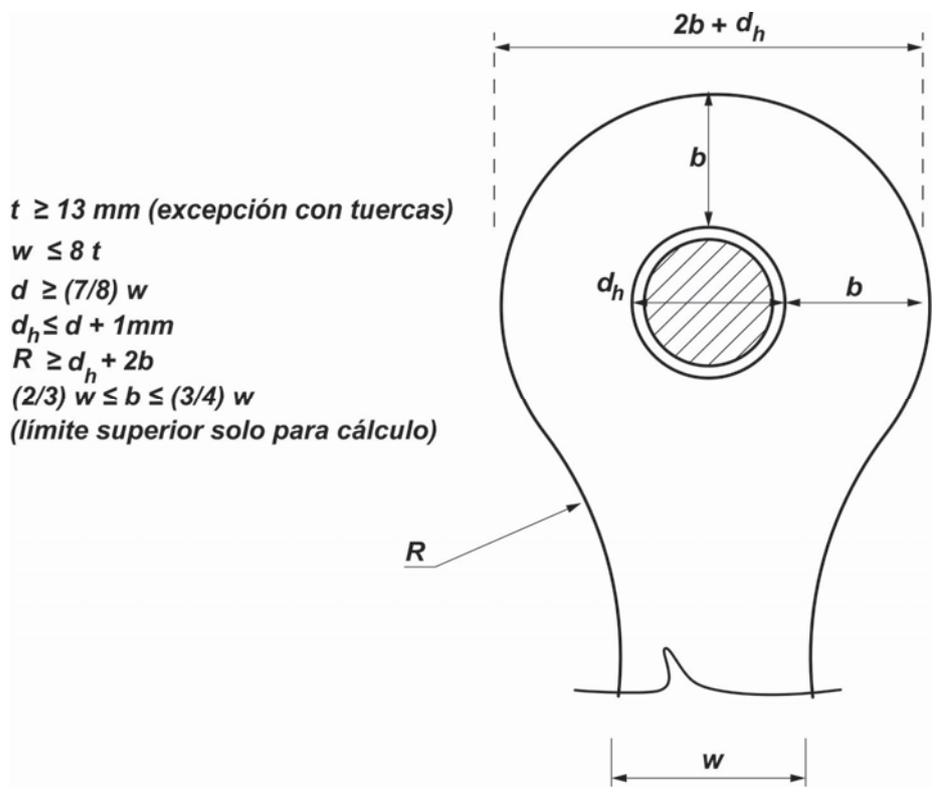


Figura D.6.1. Especificaciones dimensionales. Barras de ojo.

CAPÍTULO E. PROYECTO DE MIEMBROS COMPRIMIDOS

Las especificaciones de este Capítulo son aplicables al proyecto de **miembros prismáticos** sometidos a **compresión uniforme por fuerzas que actúan según el eje que pasa por los centros de gravedad de las secciones transversales. (Compresión axil).**

Su contenido está organizado de la siguiente manera:

- E.1.** Especificaciones generales. Resistencia de diseño a compresión axil
 - E.2.** Longitud efectiva y limitación de esbelteces
 - E.3.** Resistencia nominal a compresión por pandeo flexional de miembros sin elementos esbeltos
 - E.4.** Resistencia nominal a compresión por pandeo torsional y flexo-torsional
 - E.5.** Resistencia nominal a compresión de ángulos simples
 - E.6.** Barras armadas
 - E.7.** Resistencia nominal a compresión de miembros con elementos esbeltos.
- Para miembros simples y barras armadas de los **Grupos I, II y III**, sometidas a combinación de compresión axil y flexión ver las Secciones **H.1.** y **H.2.**.
 - Para barras armadas de los **Grupos IV y V** sometidas a combinación de compresión axil y flexión ver la Sección **H.5.**
 - Para miembros sometidos a combinación de compresión axil y torsión ver la Sección **H.3.**
 - Para la resistencia de diseño a compresión de elementos auxiliares de unión ver la Sección **J.4.4.**
 - Para miembros comprimidos con almas de altura variable ver la **Recomendación CIRSOC 301-1.**
 - Para la resistencia de diseño a compresión de barras de sección circular maciza ver el **Reglamento CIRSOC 308-2007.**

E.1. ESPECIFICACIONES GENERALES

La **resistencia de diseño** a compresión de miembros axialmente comprimidos, P_d (kN) (excepto barras de sección circular maciza) se determinará por medio de la siguiente expresión:

$$P_d = \phi_c P_n$$

siendo :

$$\phi_c = 0,85$$

P_n la **resistencia nominal** a compresión, en kN.

La **resistencia nominal a compresión** P_n será el menor valor obtenido para los estados límite de pandeo flexional, pandeo torsional y pandeo flexotorsional según corresponda.

Las **resistencias nominales** P_n están dadas en las Secciones **E.3, E.4, E.5, E.6** y **E.7**.

Los valores especificados para el **factor de resistencia** ϕ_c y **para las tensiones críticas** dadas en este Capítulo **solo son válidos** para las siguientes tolerancias de **falta de rectitud y alabeo** de las barras:

- Para secciones simples o secciones armadas de los **Grupos I, II y III**: $L/1000$
- Para secciones armadas de **Grupos IV y V**: $L/500$

siendo:

L la distancia entre puntos lateralmente arriostrados medida según el eje del miembro.

E.2. FACTOR DE LONGITUD EFECTIVA Y LIMITACIÓN DE ESBELTECES

El factor de longitud efectiva k utilizado para determinar la esbeltez (kL/r) de los miembros comprimidos será determinado con las especificaciones del Capítulo **C** o del **Apéndice 7**, según corresponda.

siendo:

k el factor de longitud efectiva.

L la longitud lateralmente no arriostrada del miembro, en cm.

r el radio de giro de la sección bruta del miembro relativo al eje de pandeo considerado, en cm.

La esbeltez (kL/r) de miembros comprimidos será menor o igual que **200**.

En presencia de acciones dinámicas, excepto viento, el límite anterior se reducirá a **150**.

En aquellos miembros cuya dimensión es determinada por una fuerza de tracción, pero que bajo otras combinaciones de cargas están solicitados por alguna fuerza de compresión, no es necesario cumplir la limitación de esbeltez establecida para miembros comprimidos.

E.3. RESISTENCIA NOMINAL A COMPRESIÓN POR PANDEO FLEXIONAL DE MIEMBROS SIN ELEMENTOS ESBELTOS

Las especificaciones de esta Sección son aplicables a miembros sometidos a **compresión axial uniforme** con secciones **sin elementos esbeltos**, según se define en la Sección **B.4.1**.

La **resistencia nominal** (P_n) por pandeo flexional de miembros axialmente comprimidos (excepto barras de sección circular maciza) respecto de un eje, se determinará por:

$$P_n = F_{cr} A_g \left(10^{-1} \right) \quad (\text{E.3.1})$$

siendo:

P_n la resistencia nominal, en kN.

F_{cr} la tensión crítica de pandeo, en MPa.

A_g el área bruta de la sección del miembro, en cm^2 .

La tensión crítica F_{cr} (MPa) será determinada de la siguiente manera:

(a) Para $\lambda_c \leq 1,5$:

$$F_{cr} = \left(0,658 \lambda_c^2 \right) F_y \quad (\text{E.3.2})$$

equivalentemente:

$$\text{Para } \left(\frac{kL}{r} \right) \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$F_{cr} = \left(0,658 \frac{F_y}{F_e} \right) F_y \quad (\text{E.3.2a})$$

(b) Para $\lambda_c > 1,5$:

$$F_{cr} = \left[\frac{0,877}{\lambda_c^2} \right] \cdot F_y \quad (\text{E.3.3})$$

equivalentemente:

$$\text{Para } \left(\frac{kL}{r} \right) > 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$F_{cr} = 0,877 F_e \quad (\text{E.3.3a})$$

siendo:

F_y la tensión de fluencia mínima especificada, en MPa.

λ_c el factor de esbeltez adimensional.

$$\lambda_c = \frac{1}{\pi} \frac{kL}{r} \sqrt{\frac{F_y}{E}} \quad (\text{E.3.4})$$

E el módulo de elasticidad longitudinal, en MPa.

- k el factor de longitud efectiva.
- r el radio de giro de la sección transversal bruta relativo al eje de pandeo, en cm.
- L la longitud real no arriostrada del miembro, correspondiente a la respectiva dirección de pandeo, en cm.
- F_e la tensión de pandeo flexional elástico, en MPa, que será la determinada por la expresión (E.3.4a); o según lo especificado en el **Apéndice 7**, Sección 7.2.3(2), o de acuerdo a un análisis de pandeo elástico cuando sea aplicable.

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{kL}{r}\right)^2} \quad (\text{E.3.4a})$$

Para barras de **sección circular maciza** se aplicará lo especificado en la Sección 5.2. del **Reglamento CIRSOC 308-2007**.

E.4. RESISTENCIA NOMINAL A COMPRESIÓN POR PANDEO TORSIONAL Y FLEJO-TORSIONAL

Las especificaciones de esta Sección se aplican a:

- Miembros con sección de simetría simple o asimétrica y algunos miembros con sección de simetría doble, tales como columnas cruciformes o barras armadas de **Grupos I, II y III**, o en general secciones con poca rigidez torsional y/o pequeño C_w solicitadas por compresión axial uniforme.
- Todos aquellos miembros de sección abierta doblemente simétrica, cuando la **longitud efectiva torsional** lateralmente no arriostrada es **mayor** que la **longitud efectiva flexional** lateralmente no arriostrada.

La **resistencia nominal** (P_n) será determinada para el estado límite de pandeo flexo-torsional o torsional según corresponda por:

$$P_n = F_{cr} A_g (10^{-1}) \quad (\text{E.4.1})$$

siendo:

P_n la resistencia nominal, en kN.

F_{cr} la tensión crítica de pandeo, en MPa.

A_g el área bruta de la sección del miembro, en cm^2 .

La **tensión crítica** F_{cr} se determinará de la siguiente manera:

(a) Para secciones **doble ángulo en contacto continuo** o formando columnas del **Grupo II** y secciones **Te**, todas compactas o no compactas.

$$F_{cr} = \left(\frac{F_{cry} + F_{crz}}{2H} \right) \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4F_{cry} F_{crz} H}{(F_{cry} + F_{crz})^2}} \right] \quad (\text{MPa}) \quad (\text{E.4.2})$$

siendo:

$F_{cry} = F_{cr}$ que se obtiene de la expresión (E.3.2), (E.3.2a) o (E.3.3), (E.3.3a) para pandeo flexional alrededor del eje **y de simetría** con:

- $(kL/r) = (kL/r_y)$ para secciones **Te** y **doble ángulo en contacto continuo**

- $(kL/r) = (kL/r)_m$ de la Sección E.6 para secciones **doble ángulo** formando columnas de **Grupo II**.

$$F_{crz} = \frac{G J}{A_g \bar{r}_o^2} \quad (\text{E.4.3})$$

(b) Para **todos los otros casos** F_{cr} será determinada con la expresión (E.3.2a) o (E.3.3a) usando la tensión de pandeo elástico **torsional** o **flexo-torsional** F_e según corresponda, determinada de la siguiente manera:

b.1) Para secciones doblemente simétricas y de simetría puntual:

$$F_e = \left[\frac{\pi^2 E C_w}{(k_z L)^2} + G J \right] \frac{1}{I_x + I_y} \quad (\text{E.4.4})$$

b.2) Para secciones de simple simetría donde el eje "y" es el de simetría:

$$F_e = \frac{F_{ey} + F_{ez}}{2H} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4F_{ey} F_{ez} H}{(F_{ey} + F_{ez})^2}} \right] \quad (\text{E.4.5})$$

b.3) Para secciones asimétricas, la tensión crítica elástica para pandeo flexo-torsional F_e es la menor de las raíces de la siguiente ecuación cúbica:

$$(F_e - F_{ex})(F_e - F_{ey})(F_e - F_{ez}) - F_e^2 (F_e - F_{ey}) \left(\frac{x_0}{r_o} \right)^2 - F_e^2 (F_e - F_{ex}) \left(\frac{y_0}{r_o} \right)^2 = 0 \quad (\text{E.4.6})$$

siendo:

L la longitud real del miembro no arriostrada a los efectos del pandeo torsional, en cm.

k_z el factor de longitud efectiva para pandeo torsional; **$k_z = 1$** cuando los extremos del miembro tienen la torsión impedida y el alabeo libre.

E el módulo de elasticidad longitudinal, en MPa.

G el módulo de elasticidad transversal, en MPa.

C_w el módulo de alabeo, en cm^6 .

J el módulo de torsión, en cm^4 .

$$F_{\text{ex}} = \frac{\pi^2 E}{\left(k_x L/r_x\right)^2} \quad (\text{E.4.7})$$

$$F_{\text{ey}} = \frac{\pi^2 E}{\left(k_y L/r_y\right)^2} \quad (\text{E.4.8})$$

$$F_{\text{ez}} = \left[\frac{\pi^2 E C_w}{(k_z L)^2} + G J \right] \frac{1}{A_g \bar{r}_o^2} \quad (\text{E.4.9})$$

$$H = 1 - \left(\frac{x_o^2 + y_o^2}{\bar{r}_o^2} \right) \quad (\text{E.4.10})$$

$$\bar{r}_o^2 = x_o^2 + y_o^2 + \frac{(I_x + I_y)}{A_g} \quad (\text{E.4.11})$$

I_x, I_y los momentos de inercia respecto de los ejes principales, en cm^4 .

x_o, y_o las coordenadas del centro de corte con respecto al centro de gravedad, en cm .

A_g el área bruta de la sección transversal del miembro, en cm^2 .

L la longitud real no arriostrada para el correspondiente modo de pandeo y eje de pandeo, en cm .

k_x, k_y los factores de longitud efectiva para pandeo flexional según los ejes respectivos.

r_x, r_y los radios de giro respecto de los ejes principales x e y , en cm .

\bar{r}_o el radio de giro polar respecto del centro de corte, en cm .

y el eje de simetría.

Observación:

Para secciones **doble Te** de doble simetría puede tomarse en lugar de un análisis más preciso, $C_w = \frac{I_y h_o^2}{4}$ con h_o = distancia entre centros de gravedad de las alas (cm).

Para secciones **Te** y **doble ángulo** para calcular F_{ez} pueden tomarse $C_w = 0$ y $x_o = 0$.

E.5. RESISTENCIA NOMINAL A COMPRESIÓN DE ÁNGULOS SIMPLES

La resistencia nominal a compresión para miembros de ángulo simple P_n será determinada de la siguiente manera:

- Si el miembro **está axilmente cargado** (línea de carga coincide con eje de gravedad del miembro) P_n se obtendrá con las especificaciones de la Sección **E.3**, la Sección **E.4** o la Sección **E.7**, la que sea aplicable, con la mayor esbeltez resultante del pandeo alrededor de los ejes geométricos y del eje principal débil (radio de giro mínimo).
 - Miembros **excéntricamente cargados** que cumplen las condiciones definidas en las Secciones **E.5(a)** y **E.5(b)** podrán ser proyectados **como miembros axilmente cargados**, si se utiliza la relación de esbeltez efectiva $(kL/r)_m$ especificada en dichas Secciones. Los miembros deberán satisfacer las siguientes condiciones:
 - (1) el miembro comprimido está cargado a través del mismo ala en ambos extremos.
 - (2) las uniones extremas son por soldadura o por dos pasadores por lo menos,
 - (3) no existen cargas transversales intermedias,
- (a) para ángulos de alas iguales o de alas desiguales unidos al cordón o a la chapa de nudo por el ala más larga, que son **barras individuales** o barras de **alma** de **reticulados planos**, con barras de alma adyacentes unidas del mismo lado del cordón o de la chapa de nudo:

(a.1) Cuando $0 \leq \frac{L}{r_x} \leq 80$

$$\left(\frac{kL}{r} \right)_m = 72 + 0,75 \frac{L}{r_x} \quad (\text{E.5.1})$$

(a.2) Cuando $\frac{L}{r_x} > 80$

$$\left(\frac{kL}{r} \right)_m = 32 + 1,25 \frac{L}{r_x} \leq 200 \quad (\text{E.5.2})$$

Para ángulos de alas desiguales, con relación de longitud de alas menor a **1,7**, y que están unidos a través del ala corta se agregará $4 [(b_l/b_s)^2 - 1]$ al $\left(\frac{kL}{r} \right)_m$ obtenido de

las expresiones (E.5.1) o (E.5.2), pero el $\left(\frac{kL}{r} \right)_m$ debe ser mayor o igual a $0,95 \left(\frac{L}{r_z} \right)$.

- (b) para ángulos de alas iguales o de alas desiguales unidos a través del ala más larga, que son **almas** de secciones **cajón** o de **reticulados espaciales**, con barras de alma adyacentes unidas del mismo lado del cordón o de la chapa de nudo:

(b.1) Cuando $0 \leq \frac{L}{r_x} \leq 75$

$$\left(\frac{kL}{r}\right)_m = 60 + 0,80 \frac{L}{r_x} \quad (\text{E.5.3})$$

(b.2) Cuando $\frac{L}{r_x} > 75$

$$\left(\frac{kL}{r}\right)_m = 45 + \frac{L}{r_x} \leq 200 \quad (\text{E.5.4})$$

Para ángulos de alas desiguales, con relación de longitud de alas menor a **1,7**, y que están unidos a través del ala corta, se agregará **6 [(b_l/b_s)² - 1]** al $\left(\frac{kL}{r}\right)_m$ obtenido por

las expresiones (E.5.3) o (E.5.4), pero el $\left(\frac{kL}{r}\right)_m$ debe ser mayor o igual a **0,82** $\left(\frac{L}{r_z}\right)$.

siendo:

L la longitud del miembro igual a la distancia entre puntos de intersección de su eje con el eje del cordón, en cm.

b_l el ala larga del ángulo, en cm.

b_s el ala corta del ángulo, en cm.

r_x el radio de giro respecto del eje geométrico paralelo al ala unida, en cm.

r_z el radio de giro mínimo de la sección, en cm.

- Barras de ángulo simple con **condiciones de carga excéntrica** en los extremos distintas de las especificadas en **E.5(a)** y **E.5(b)**, o de ángulos de alas desiguales con relación de longitud de alas mayor a **1,7**, o con cargas transversales aplicadas, deberán ser dimensionados para **combinación de carga axil y flexión** utilizando las especificaciones del Capítulo **H**.

E.6. BARRAS ARMADAS

E.6.1. Definición y alcance de las especificaciones

Una **barra armada** está formada por **dos perfiles** (o dos grupos de perfiles, o un perfil y chapas) longitudinales (cordones), **paralelos y de sección uniforme**, unidos entre ellos a intervalos regulares mediante pasadores, cordones de soldadura, celosías planas, presillas, combinación de celosías planas y presillas, o platabandas laterales perforadas continuas, a los efectos de obtener un comportamiento conjunto de aquellos frente al pandeo o la flexión alrededor del eje libre de la barra armada.

Los cordones pueden ser piezas simples o bien ser ellos mismos barras armadas en el plano perpendicular.

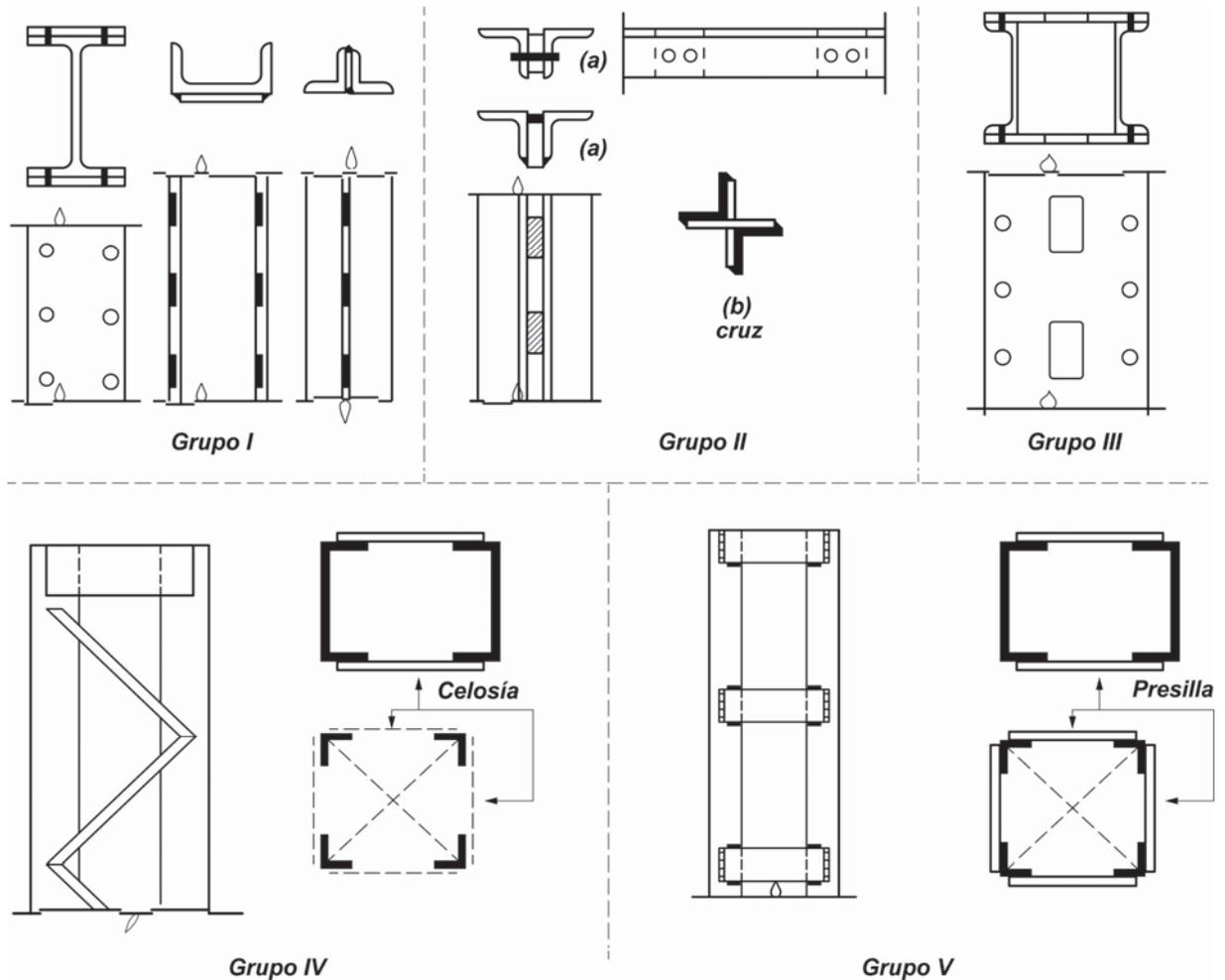


Figura E.6.1. Barras armadas comprimidas.

Las barras armadas cubiertas por este Reglamento se clasifican en cinco grupos (Figura E.6.1).

Grupo I: Los cordones (perfiles y/o chapas planas) están en contacto continuo y unidos en forma discontinua y uniforme por pasadores o cordones de soldadura.

Grupo II: Los cordones están unidos por forros discontinuos de pequeño espesor.

Grupo III: Los cordones están unidos por platabandas laterales perforadas continuas.

Grupo IV: Los cordones están unidos por celosías planas.

Grupo V: Los cordones están unidos por presillas (placas de unión) a intervalos regulares.

Se define como **eje material** al que une los centros de gravedad de los dos perfiles longitudinales que forman la barra armada. Se define como **eje libre** el eje perpendicular al eje material que pasa por el centro de gravedad de la barra armada considerada en conjunto. Cuando los cordones son a su vez barras armadas, la pieza tendrá dos ejes libres perpendiculares entre sí. (Figura E.6.2).

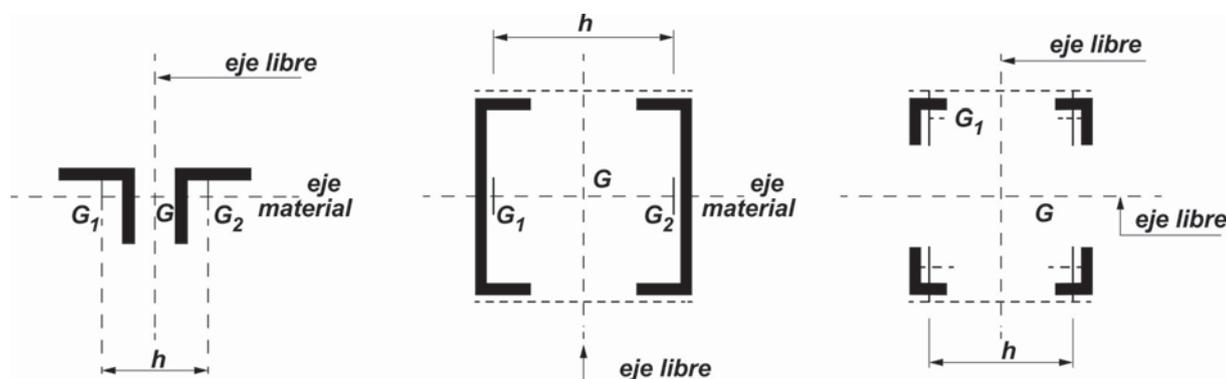


Figura E.6.2 . Eje libre y Eje material.

Las especificaciones para el proyecto de barras armadas de los **Grupos I, II y III** se dan en la Sección **E.6.2**.

Las especificaciones para el proyecto de barras armadas de los **Grupos IV y V** se dan en la Sección **E.6.3**.

Cuando no se cumpla alguna de las especificaciones anteriores dadas en esta Sección, se deberá **modificar adecuadamente los métodos de cálculo** de las resistencias de diseño y de verificación de los cordones y elementos de enlace dados en las Secciones **E.6.2.** y **E.6.3.** , considerando la **influencia de la especificación no cumplimentada en la esbeltez modificada** y en las **solicitaciones resultantes** en los cordones y elementos de enlace.

E.6.2. Resistencias nominales a compresión y especificaciones particulares y constructivas de barras armadas de los Grupos I, II y III

E.6.2.1. Resistencias nominales a compresión

La Resistencia nominal de barras armadas comprimidas de los **Grupos I, II y III** será determinada de acuerdo a lo especificado en las Secciones **E.3., E.4., E.5.** o **E.7.**, según corresponda, **con las siguientes modificaciones** solo para el pandeo alrededor de ejes donde el modo de pandeo implique deformaciones relativas:

Si el modo de pandeo implica deformaciones relativas que producen esfuerzos de corte en los elementos que unen las barras individuales (pasadores, cordones de soldadura, o platabandas perforadas), la relación $\frac{kL}{r}$ será reemplazada por $\left(\frac{kL}{r}\right)_m$ determinada por las expresiones siguientes:

(a) Para **uniones intermedias** ejecutadas con **bulones** en uniones con **ajuste sin juego**:

$$\left(\frac{kL}{r}\right)_m = \sqrt{\left(\frac{kL}{r}\right)_o^2 + \left(\frac{a}{r_i}\right)^2} \quad (\text{E.6.1})$$

(b) Para **uniones intermedias soldadas** o ejecutadas con **bulones** en **uniones pretensadas o de deslizamiento crítico**:

(1) Cuando $\frac{a}{r_i} \leq 20$

$$\left(\frac{kL}{r}\right)_m = \left(\frac{kL}{r}\right)_o \quad (\text{E.6.2a})$$

(2) Cuando $\frac{a}{r_i} > 20$

$$\left(\frac{kL}{r}\right)_m = \sqrt{\left(\frac{kL}{r}\right)_o^2 + \left(\frac{k_i a}{r_i}\right)^2} \quad (\text{E.6.2b})$$

siendo:

- $\left(\frac{kL}{r}\right)_m$ la esbeltez modificada de la columna armada (λ_m).
- $\left(\frac{kL}{r}\right)_o$ la esbeltez de la columna armada actuando como una unidad en la dirección de pandeo considerada.
- r el radio de giro de la columna armada actuando como una unidad alrededor del eje de pandeo considerado, en cm.
- $\frac{a}{r_i}$ la mayor esbeltez de una barra componente.
- a la distancia entre: conectores consecutivos (**Grupo I**); ejes de forros (**Grupo II**); centros de agujeros consecutivos (**Grupo III**); en cm.
- r_i el radio de giro mínimo de una barra componente.
- $k_i = 0,50$ para ángulos espalda contra espalda en contacto continuo.
 $= 0,75$ para canales espalda contra espalda en contacto continuo.
 $= 0,86$ para otros casos.

E.6.2.2. Especificaciones particulares y constructivas

(a) Barras armadas del Grupo I (Figura E.6.3)

- (1) En los extremos de las barras armadas, apoyadas en placas bases o en superficies mecanizadas, todos los elementos en contacto se unirán entre sí con bulones en unión del tipo de deslizamiento crítico o cordones de soldadura. Si la unión es abulonada, se extenderá en una distancia igual a **1,5 veces** el ancho máximo de la barra armada y el paso longitudinal de los bulones será menor o igual a **4 diámetros**. Si la unión es soldada, la longitud de los cordones de soldadura será mayor o igual al ancho máximo de la barra armada. Se deberán cumplir asimismo las especificaciones de la Sección **J.1.4**.
- (2) A lo largo de la barra armada, entre las uniones extremas anteriormente indicadas, se dispondrán soldaduras discontinuas o bulones con las dimensiones y separación necesaria para transmitir las solicitaciones requeridas resultantes de un esfuerzo de corte ideal $V = 0,02 \phi_c P_n$
Si se realizan empalmes en los cordones, ellos cumplirán las especificaciones de la Sección **J.6**.
- (3) La distancia **a** entre uniones será tal que la relación de esbeltez a/r_i de cada uno de los elementos resultantes entre uniones, sea menor o igual que **3/4** de la relación de esbeltez gobernante de la barra armada. Para el cálculo de la relación de esbeltez de los elementos resultantes se usará el radio de giro mínimo r_i .
- (4) Cuando los elementos en contacto sean una placa y un perfil, o dos placas, además de lo establecido en el punto anterior, la distancia **a** entre bulones respetará lo especificado en la Sección **J.3.5** en relación a la agresividad del ambiente, al tipo de acero y a su protección.
- (5) Cuando alguno de los componentes de los cordones de la barra armada sea una chapa externa, la máxima distancia entre uniones **a** (sobre una línea), en cm, será:
 - Si los bulones o soldaduras discontinuas están en línea

$$a \leq 335 \frac{t}{\sqrt{F_y}} \quad \text{ó} \quad a \leq 30 \text{ cm}$$

- Si los bulones o soldaduras discontinuas están en tres-bolillo

$$a \leq 500 \frac{t}{\sqrt{F_y}} \quad \text{ó} \quad a \leq 45 \text{ cm}$$

siendo:

t el menor espesor de las chapas externas, en cm.

F_y la tensión de fluencia mínima especificada, en MPa.

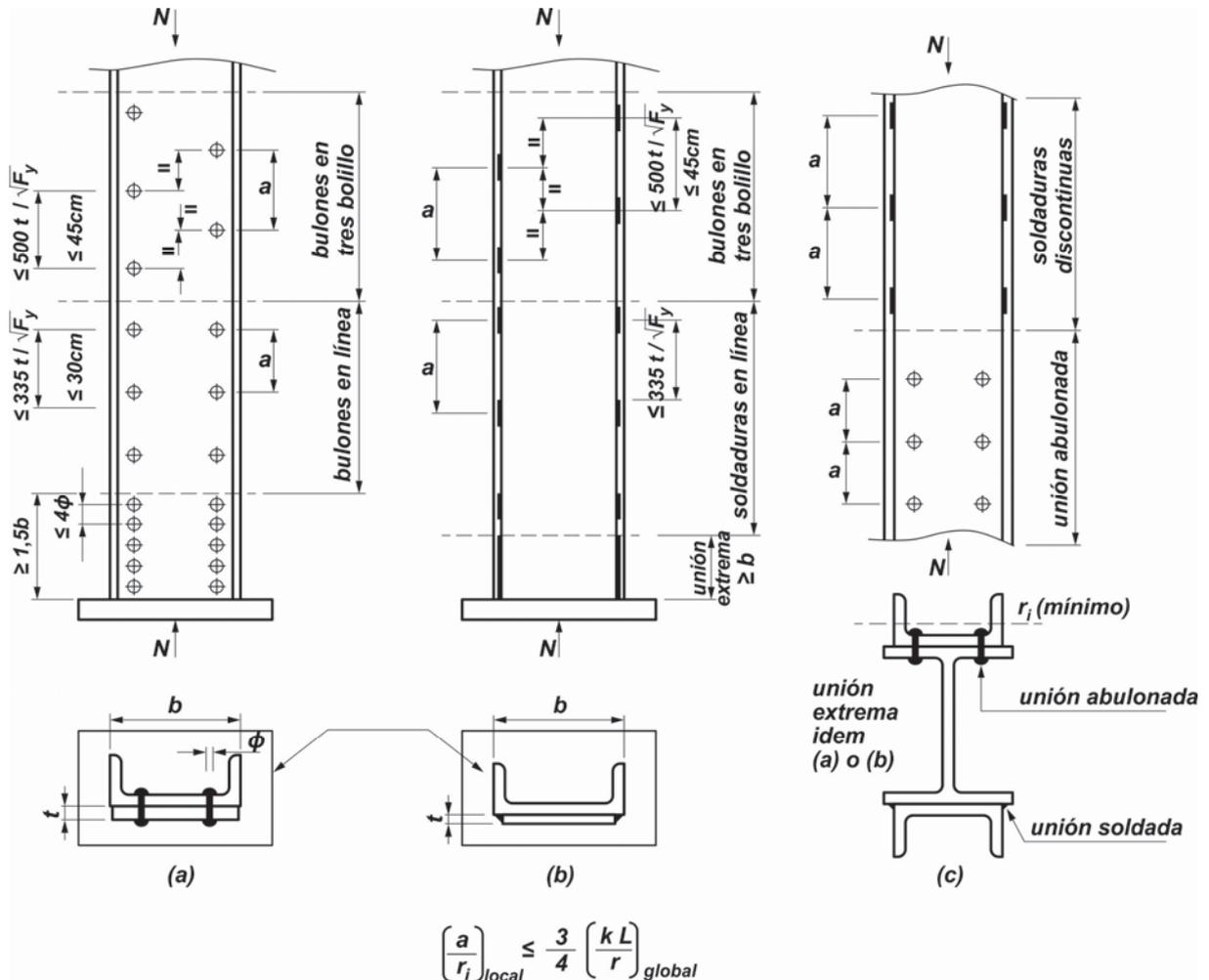


Figura E.6.3. Barras armadas del Grupo I.

(b) Barras armadas del Grupo II (Figura E.6.4)

- (1) Los bulones o cordones de soldadura que unan los cordones de la barra armada a las chapas de nudo o a los forros intermedios deberán ser dimensionadas para transmitir las solicitaciones requeridas resultantes de un esfuerzo de corte ideal:

$$V = 0,02 \phi_c P_n$$

En uniones abulonadas, se colocarán como mínimo dos bulones o por forro.

Si se realizan empalmes en los cordones, ellos cumplirán las especificaciones de la Sección **J.6**.

- (2) Se dispondrán como mínimo dos forros intermedios igualmente distanciados entre puntos fijos para desplazamiento lateral (normal al eje libre).

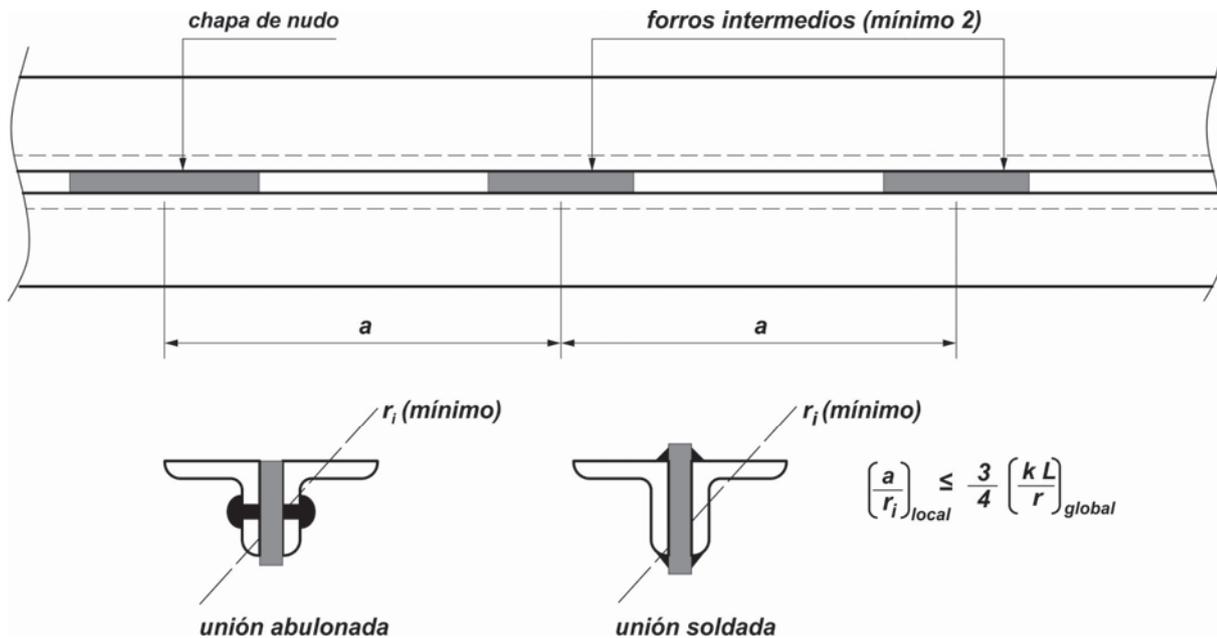


Figura E.6.4. Barras armadas del Grupo II.

- (3) La distancia a entre forros o entre éstos y chapas de nudo será tal que la relación de esbeltez a/r_i de cada uno de los elementos resultantes sea menor o igual que $3/4$ de la relación de esbeltez gobernante de la barra armada. Para el cálculo de la relación de esbeltez de los elementos resultantes se usará el radio de giro mínimo r_i .

Si la columna se apoya en sus extremos en placas o superficies mecanizadas se deberán cumplir las especificaciones para barras del **Grupo I**, punto (1), Sección **E.6.2.2. (a)**

(c) Barras armadas del Grupo III (Figura E.6.5)

- (1) El ancho de platabanda lateral comprendido entre la línea de uniones (bulones o soldadura discontinua) y el borde de los agujeros de acceso podrá ser considerado como parte de la sección de la columna siempre que se cumplan los siguientes requisitos:
- (a) La relación ancho-espesor debe cumplir con lo especificado en la Sección **B.4.1** (ver Tabla **B.4.1a**, Caso 9).
 - (b) La longitud del agujero en la dirección de la fuerza no debe ser mayor que **dos veces su ancho**.
 - (c) La distancia libre entre agujeros en la dirección de la fuerza no debe ser menor que la distancia transversal entre líneas de bulones o soldaduras.
 - (d) El radio mínimo de esquina de agujeros será de **4 cm**.
- (2) Los bulones o cordones de soldadura que unan las platabandas laterales a los cordones de la barra armada deberán ser dimensionados para transmitir las solicitaciones requeridas resultantes de un esfuerzo de corte ideal:

$$V = 0,02 \phi_c P_n$$

Si se realizan empalmes en los cordones, ellos cumplirán las especificaciones de la Sección **J.6**.

- (3) Si la columna apoya en sus extremos en placas o superficies mecanizadas se deberá cumplir lo especificado para barras armadas del **Grupo I**, punto (1) Sección **E.6.2.2. (a)**.
- (4) La distancia **a** entre bulones o soldaduras de unión de la platabanda perforada será tal que la relación de esbeltez a/r_i de cada uno de los elementos resultantes sea menor o igual que **3/4** de la relación de esbeltez gobernante de la barra armada. Para el cálculo de la relación de esbeltez de los elementos resultantes se usará el radio de giro mínimo r_i .
- (5) Además de lo dispuesto en el punto anterior la distancia entre uniones (bulones, o soldaduras) en la dirección de la fuerza deberá cumplir lo establecido para barras armadas del **Grupo I**, puntos (4) y (5), Sección **E.6.2.2. (a)**.

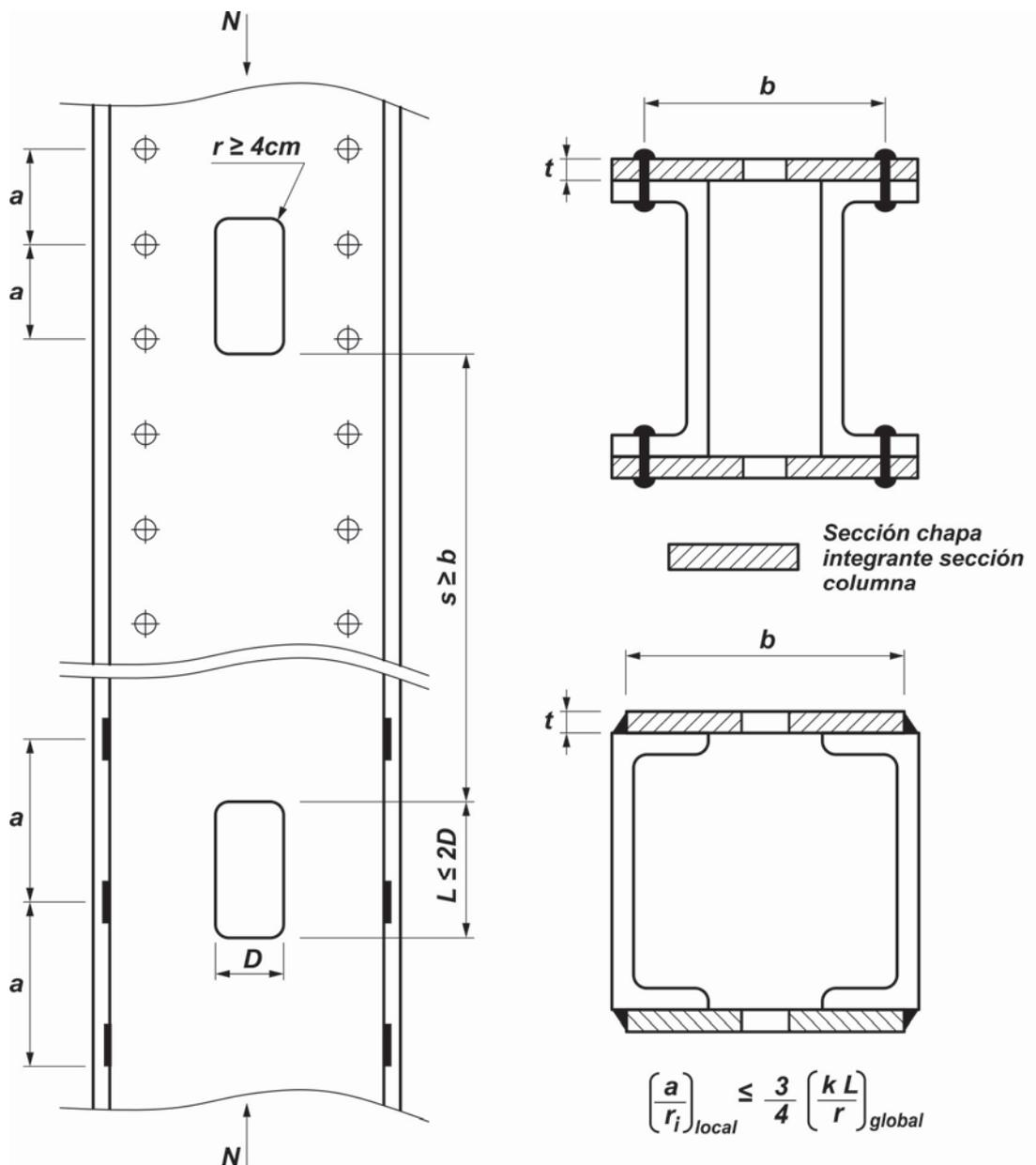


Figura E.6.5. Barras armadas del Grupo III.

E.6.3. Resistencia de diseño, verificación de los cordones y de los elementos de enlace y especificaciones particulares y constructivas de barras armadas de los Grupos IV y V

(a) Cuando la barra armada tiene eje material, la resistencia de diseño ($P_d = \phi_c P_n$) para el pandeo alrededor de dicho eje, se obtiene de acuerdo con lo especificado en las secciones E.1. y E.3., E.4., E.5. o E.7. según corresponda.

(b) Para el pandeo alrededor de el o los ejes libres, la barra armada se dimensionará incorporando una imperfección geométrica equivalente consistente en una deformación inicial e_o no menor que $\frac{k L}{500}$ para el dimensionamiento de las barras de los cordones, y

no menor que $\frac{k L}{400}$ para el dimensionamiento de los elementos de enlace.

Las solicitaciones requeridas en las barras de los cordones y en los elementos de enlace se determinarán tomando en cuenta la deformación de la barra armada. (efecto de segundo orden).

E.6.3.1. Resistencia a compresión. Verificación de los cordones y de los elementos de enlace

(a) Barras armadas del Grupo IV

(1) Solicitaciones requeridas y verificación de las barras de los cordones

El esfuerzo axial requerido en cada barra de la columna armada P_{u1} (kN) será:

$$P_{u1} = \frac{P_u}{n} + \frac{M_s}{n_1 \cdot h} (10^2) \quad (\text{E.6.3})$$

siendo:

P_u la carga axial requerida de la columna armada, en kN.

n el número de barras de la columna armada, ($n=2$; $n=4$).

n_1 el número de barras del cordón, ($n_1=1$; $n_1=2$).

h la distancia entre centros de gravedad de los cordones medida perpendicularmente al eje de pandeo considerado de la barra armada, en cm.

$$M_s = \frac{P_u e_o}{1 - \frac{P_u}{P_{cm}}} (10^{-2}) \quad (\text{kNm}) \quad (\text{E.6.4})$$

$$e_o = \frac{k L}{500} \quad (\text{deformación inicial), en cm} \quad (\text{E.6.5})$$

k el factor de longitud efectiva; se determinará según la Sección **E.2.** en función de las condiciones de vínculo de la columna armada.

$$P_{cm} = \frac{\pi^2 E A_g}{\left(\frac{kL}{r}\right)_m^2} (10^{-1}) \quad (\text{kN}) \quad (\text{E.6.6})$$

$$\lambda_m = \left(\frac{kL}{r}\right)_m = \sqrt{\left(\frac{kL}{r}\right)_o^2 + \lambda_1^2} \quad \begin{array}{l} \text{la esbeltez modificada de la} \\ \text{columna armada} \end{array} \quad (\text{E.6.7})$$

$$\lambda_o = \left(\frac{kL}{r}\right)_o \quad \text{la esbeltez de la columna armada actuando como una unidad.}$$

r el radio de giro de la columna armada actuando como una unidad con respecto al eje de pandeo analizado, en cm.

λ_1 el valor auxiliar relacionado con la rigidez a corte de la celosía de enlace, según Figura **E.6.6.**

A_g la sección transversal bruta total de la barra armada, en cm^2 .

Se deberá verificar que $P_{u1} \leq P_{d1}$.siendo P_{d1} (kN) la resistencia de diseño local de la barra.

$$P_{d1} = \phi_c F_{cr} A_{g1} (10^{-1}) \quad (\text{E.6.8})$$

ϕ_c y F_{cr} serán determinados de acuerdo con las Secciones **E.1.** y **E.3.**, **E.4.**, **E.5.** ó **E.7.** según corresponda con el factor de esbeltez λ_{c1} obtenido como se indica a continuación:

$$\lambda_{c1} = \left(\frac{L_1}{r_i}\right) \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{F_y}{E}} \quad \text{para pandeo flexional} \quad (\text{E.6.9})$$

$$\lambda_{c1} = \lambda_e \quad \text{para pandeo torsional o flexotorsional}$$

$$\lambda_e = \sqrt{\frac{F_y}{F_e}}$$

siendo:

F_e la tensión crítica elástica para pandeo torsional o flexotorsional según la Sección **E.4.** , en MPa.

L_1 a cuando la columna armada tenga eje material y celosías sólo en una dirección, en cm.

L_1 de acuerdo con la Figura E.6.7. cuando hay celosías en planos perpendiculares, en cm.

r_i el radio de giro mínimo de la barra componente, en cm.

A_{g1} el área bruta de la barra componente, en cm².

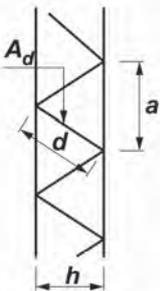
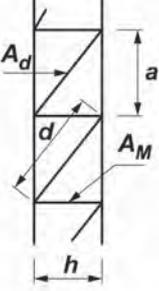
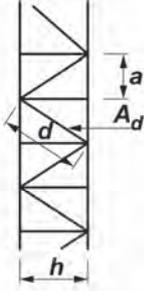
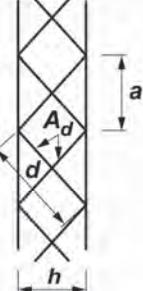
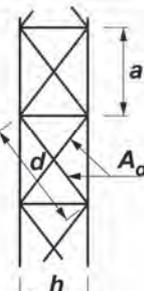
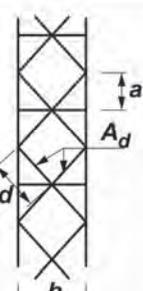
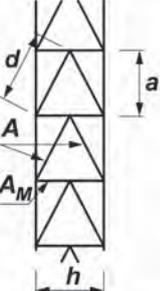
 $\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{2A_g d^3}{n_0 A_d a h^2}}$	 $\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{A_g}{2n_0 a h^2} \left(\frac{d^3}{A_d} + \frac{h^3}{A_M} \right)}$
 $\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{A_g d^3}{n_0 A_d a h^2}}$	 $\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{A_g d^3}{2n_0 A_d a h^2}}$
 $\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{A_g d^3}{2n_0 A_d a h^2}}$	 $\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{2A_g d^3}{n_0 A_d a h^2}}$
 $\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{A_g}{2n_0 a h^2} \left(\frac{d^3}{A_d} + \frac{h^3}{A_M} \right)}$	<p>A_g = sección bruta total de la barra armada n_0 = número de planos de celosía</p> <p>A_d } = sección bruta total de diagonal y n_M } de un sólo plano</p>

Figura E.6.6. Valor auxiliar λ_1 .

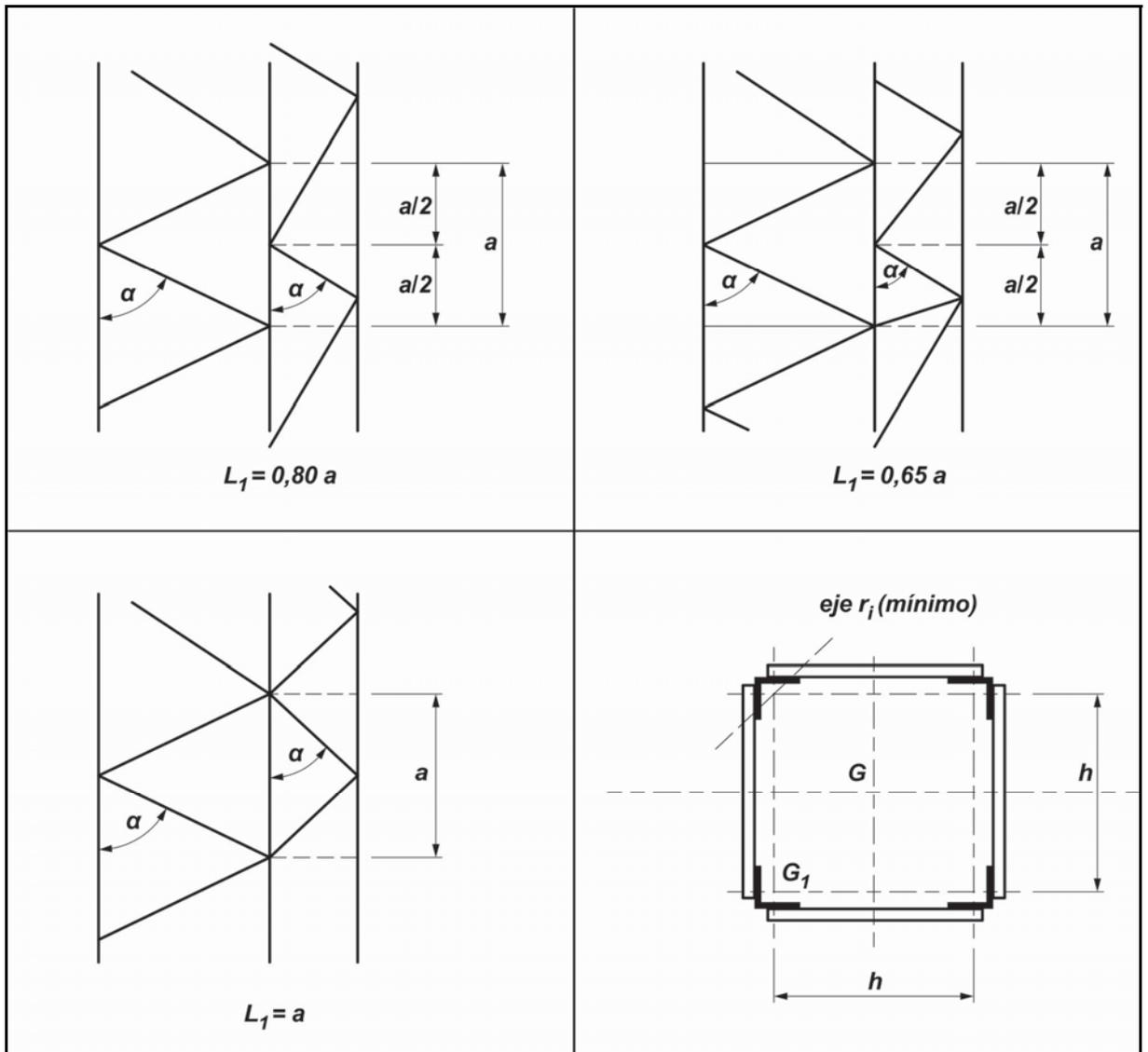


Figura E.6.7. Determinación de L_1 .

(2) Solicitaciones requeridas y verificación de las barras de la celosía

Las barras de la celosía serán verificadas para las fuerzas axiales requeridas resultantes de un esfuerzo de corte requerido V_{eu} normal al eje de la barra armada.

$$V_{eu} = \beta P_u \tag{E.6.10}$$

con:

$$\beta = \frac{\pi}{400} \left[\frac{1}{1 - \frac{P_u}{P_{cm}}} \right] \tag{E.6.11}$$

La verificación de las barras de la celosía se hará con las especificaciones de los Capítulos **D** y **E** según corresponda.

El factor de longitud efectiva **k** para diagonales y montantes comprimidos será el especificado en el **Apéndice 7** para estructuras trianguladas.

Las uniones de las barras de celosía con las barras de los cordones se dimensionarán para las fuerzas requeridas resultantes del esfuerzo de corte requerido V_{eu} , según Capítulo **J**.

En el caso de uniones abulonadas se deberán verificar las barras de la celosía tanto comprimidas como traccionadas, estas últimas en la sección neta efectiva.

(b) Barras armadas del Grupo V

(1) Solicitaciones requeridas y verificación de las barras de los cordones

Los barras de la columna armada se dimensionarán para el efecto combinado de una fuerza axial requerida, P_{u1} (kN), un momento flexor requerido M_{u1} (kNm), y un esfuerzo de corte requerido, V_{u1} (kN), determinados de la siguiente forma: (ver la Figura **E.6.8a**)

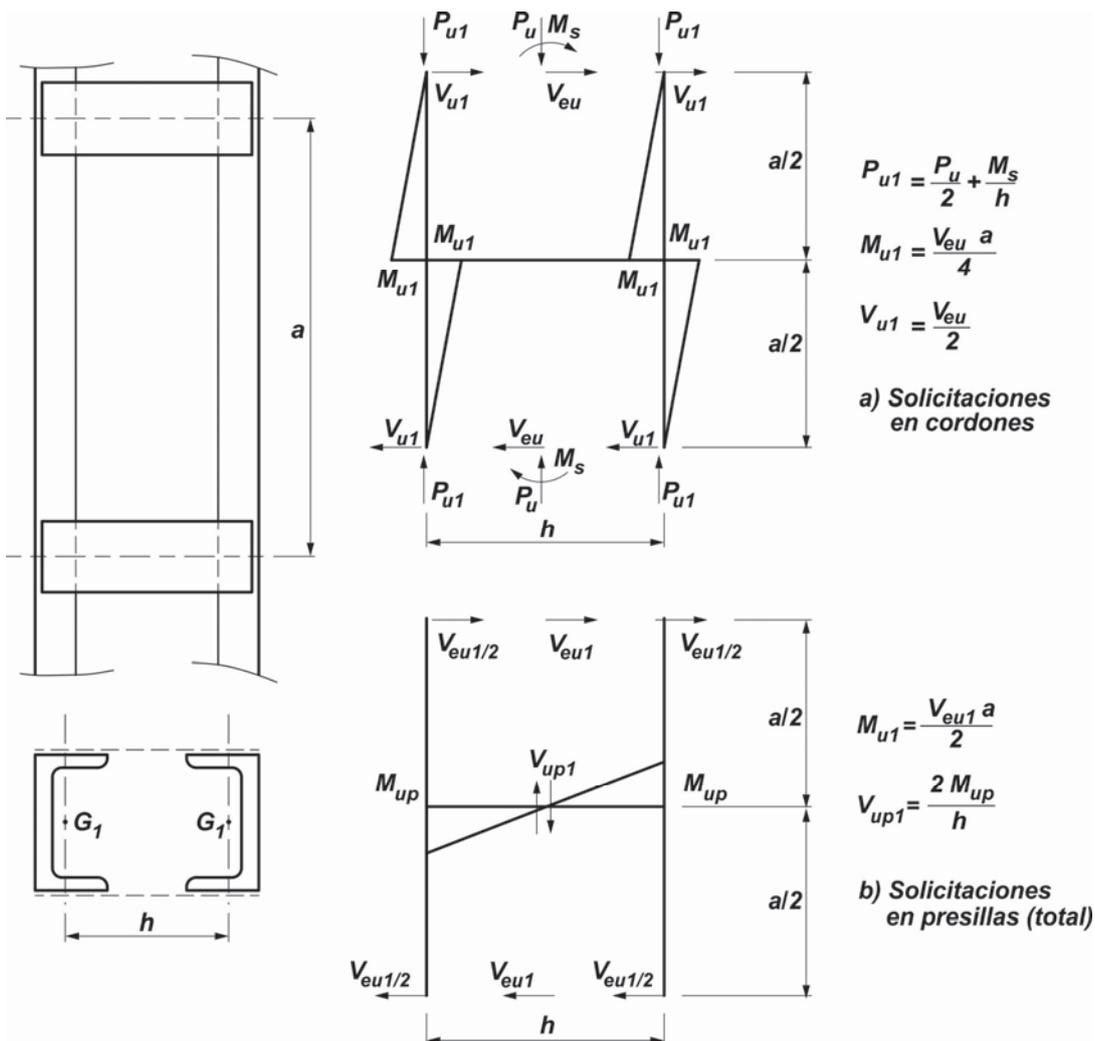


Figura E.6.8. Solicitaciones en cordones y presillas.

$$P_{u1} = \frac{P_u}{n} + \frac{M_s}{n_1 h} (10^2) \quad (\text{E.6.12})$$

$$M_{u1} = \frac{V_{eu} a}{4 n_1} (10^{-2}) \quad (\text{E.6.13})$$

$$V_{u1} = \frac{V_{eu}}{2 n_1} \quad (\text{E.6.14})$$

siendo:

P_u la carga axial requerida de la columna armada, en kN.

n el número de barras de la columna armada, ($n = 2$; $n = 4$).

n_1 el número de barras del cordón, ($n_1 = 1$; $n_1 = 2$).

h la distancia entre centros de gravedad de los cordones medida perpendicularmente al eje de pandeo considerado de la barra armada, en cm.

$$M_s = \frac{P_u e_o}{1 - \frac{P_u}{P_{cm}}} (10^{-2}) \quad (\text{E.6.15})$$

$$e_o = \frac{k L}{500} \text{ (deformación inicial), en cm.}$$

k el factor de longitud efectiva se determinará según la Sección E.2. en función de las condiciones de vínculo de la columna armada.

$$P_{cm} = \frac{\pi^2 E A_g}{\left(\frac{k L}{r}\right)_m^2} (10^{-1}) \quad (\text{en kN}) \quad (\text{E.6.16})$$

$$\lambda_m = \left(\frac{k L}{r}\right)_m = \sqrt{\left(\frac{k L}{r}\right)_o^2 + \frac{\lambda_1^2}{\theta}} = \text{esbeltez modificada de la columna armada.}$$

$$\lambda_o = \left(\frac{k L}{r}\right)_o \text{ esbeltez de la columna armada actuando como una unidad.}$$

r el radio de giro de la columna armada actuando como una unidad con respecto al eje de pandeo analizado, en cm.

$$\lambda_1 = \frac{a}{r_i}$$

a la distancia entre ejes de presillas, en cm.

r_i el radio de giro mínimo de la barra, en cm.

$$\theta = \frac{1,20}{1 + \frac{2 I_1 h}{n_p I_p a}} \leq 1 \quad \text{Si } \frac{n_p I_p}{h} \geq \frac{10 I_1}{a} \text{ se tomará } \theta = 1$$

n_p el número de planos de presillas.

I_1 el momento de inercia del cordón con respecto al eje paralelo al eje libre analizado, en cm^4 .

I_p el momento de inercia de una presilla en su plano, en cm^4 .

$$V_{eu} = \beta_1 P_u \quad (\text{E.6.17})$$

$$\beta_1 = \frac{\pi}{500} \left[\frac{1}{1 - \frac{P_u}{P_{cm}}} \right]$$

Los cordones (o sus barras componentes) se verificarán de acuerdo con lo especificado en el Capítulo **H** con una longitud real no arriostrada de la barra igual a a .

La resistencia de diseño a la compresión ($\phi_c P_n$) será determinada según las Secciones **E.1.** y **E.3.**, **E.4.**, **E.5.** ó **E.7.** según corresponda.

El factor de longitud efectiva se tomará $k = 1$.

En el caso que las uniones de los cordones (o sus barras componentes) con las presillas sean abulonadas, aquellos se deberán verificar en la sección neta o neta efectiva, según corresponda.

(2) Solicitaciones requeridas y verificación de las presillas

Las presillas y sus uniones a las barras de los cordones se verificarán para las solicitaciones requeridas M_{up} y V_{up1} resultantes de la acción de esfuerzo de corte V_{eu1} normal al eje de la barra armada. (ver la Figura **E.6.8b**)

$$V_{eu1} = \beta_2 P_u \quad (\text{E.6.18})$$

con:

$$\beta_2 = \frac{\pi}{400} \left[\frac{1}{1 - \frac{P_u}{P_{cm}}} \right]$$

La verificación de las presillas se realizará de acuerdo con el Capítulo **F** y el dimensionamiento de las uniones se realizará según el Capítulo **J**.

En el caso de uniones abulonadas las presillas se verificarán en su sección neta.

E.6.3.2. Especificaciones particulares y constructivas

(a) Barras armadas del Grupo IV

- (1) En los extremos de la barra armada se dispondrán presillas lo más próximas posibles a dichos extremos. Igualmente se colocarán presillas intermedias en los puntos en que la celosía se interrumpa y en los puntos de unión con otras piezas. Las presillas deberán satisfacer la siguiente condición:

$$\frac{n_p l_p}{h} \geq \frac{10 l_1}{a} \quad (\text{E.6.19})$$

con n_p , l_p , l_1 definidos en **E.6.3.1(b)**; h y a según la Figura **E.6.7**.

- (2) Las triangulaciones simples situadas en caras opuestas se dispondrán, preferiblemente, en correspondencia (según la Figura **E.6.9(a)**) y no en oposición (según la Figura **E.6.9(b)**) salvo que la deformación por torsión resultante en las piezas principales sea admisible.
- (3) Si se combinan presillas con celosías dobles (Figura **E.6.10(a)**) o con celosías simples dispuestas en oposición (Figura **E.6.10(b)**) se determinarán las solicitaciones en los enlaces resultantes de la continuidad de los componentes principales y se tendrán en cuenta para el dimensionamiento de los enlaces y sus uniones extremas.
- (4) Las presillas extremas o intermedias estarán rígidamente unidas a los cordones mediante bulones en uniones pretensadas o de deslizamiento crítico (mínimo dos bulones por unión), o mediante cordones de soldadura. Los elementos de la celosía (diagonales y montantes) se unirán a los cordones con soldadura o bulones con ajuste sin juego teniendo en este caso especial atención a la distancia al borde cargado.
- (5) Los ejes de las diagonales y los cordones se cortarán en un punto. Se admiten apartamientos del punto de cruce teórico que no excedan la mitad del ancho de las barras que forman las diagonales.
- (6) Si se realizan empalmes en los cordones, ellos cumplirán las especificaciones de la Sección **J.6**.

(b) Barras armadas del Grupo V

- (1) En los extremos de la barra armada se dispondrán presillas lo más próximas posibles a dichos extremos. También se colocarán presillas en los puntos intermedios donde existan cargas aplicadas o en los que se disponga un arriostramiento lateral.
- (2) Se colocarán presillas intermedias para dividir la longitud de la pieza, como mínimo en tres tramos. Igualmente, entre puntos lateralmente inmovilizados en el plano de las presillas, deberá haber un mínimo de tres tramos.

Las presillas intermedias serán iguales y estarán uniformemente espaciadas a lo largo de la pieza.

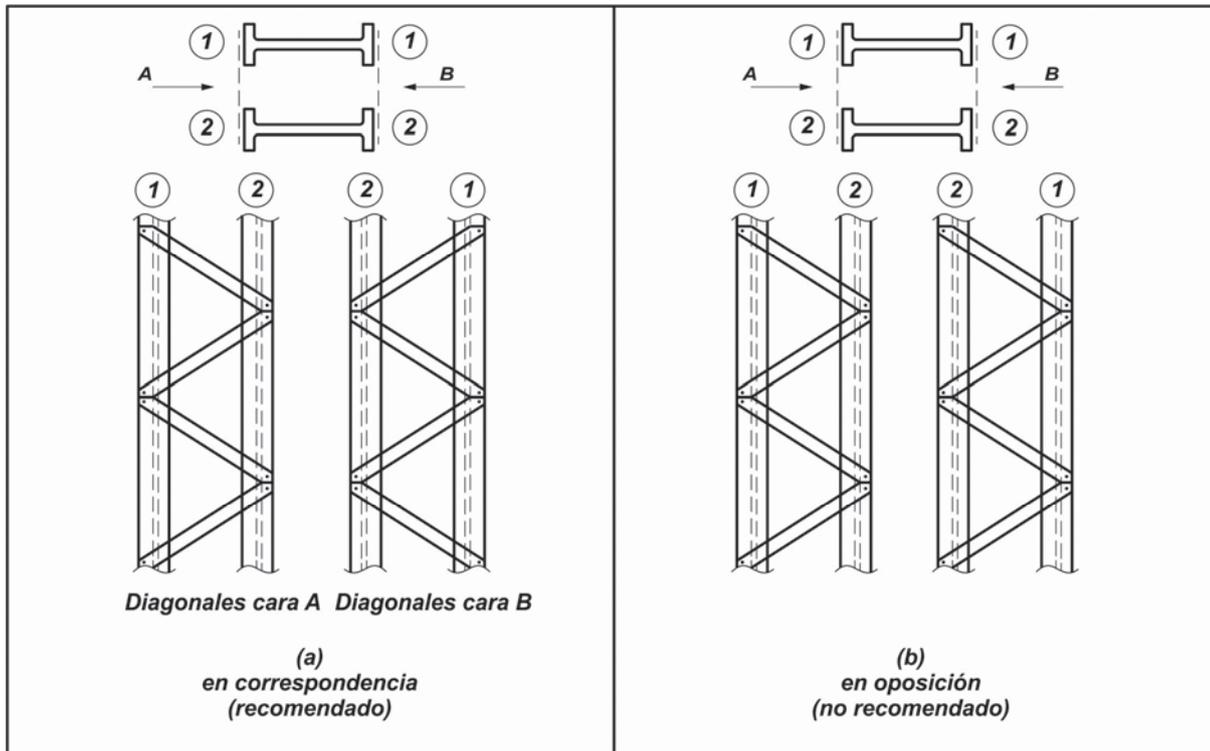


Figura E.6.9. Triangulaciones simples.

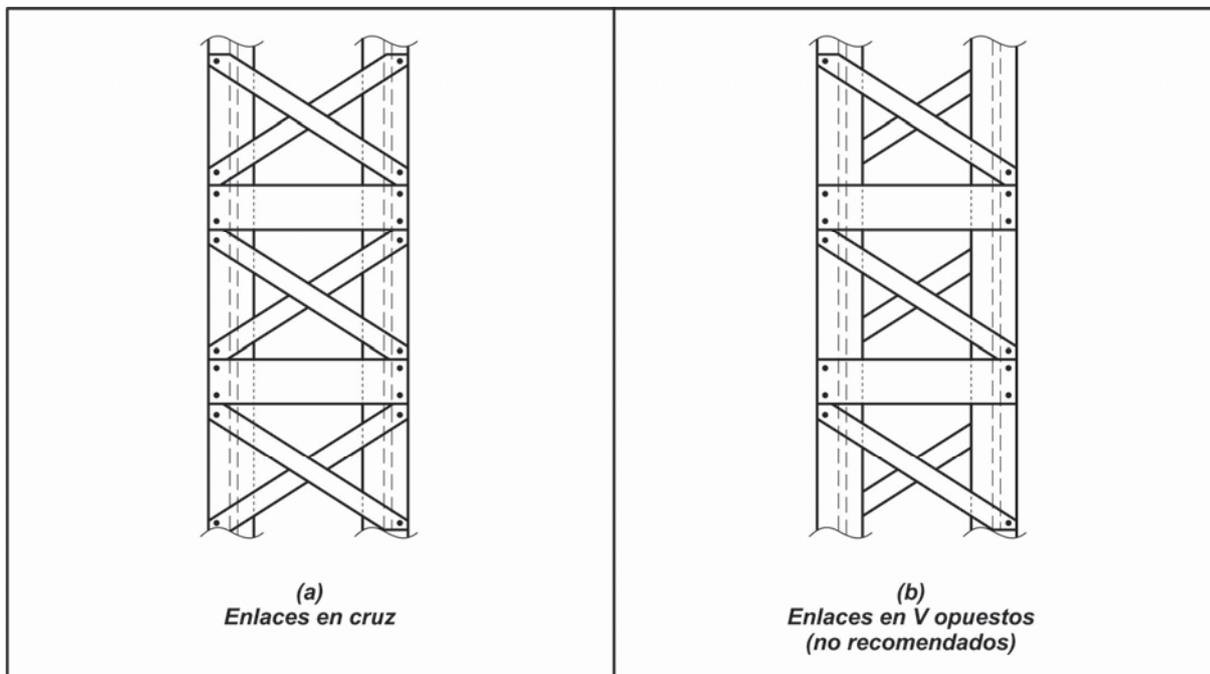


Figura E.6.10. Celosías combinadas con presillas.

- (3) Cuando se dispongan planos paralelos de presillas, las presillas de cada plano se colocarán enfrentadas.
- (4) Si las presillas reciben cargas en su plano provenientes de barras que apoyan sobre la columna armada, para el dimensionado de las presillas y sus uniones, deberán agregarse a las solicitaciones requeridas definidas en la Sección **E.6.3.1(b)(2)** las solicitaciones requeridas generadas por esas cargas.
- (5) Si se realizan empalmes en los cordones, ellos cumplirán las especificaciones de la Sección **J.6**.
- (6) Las presillas extremas o que reciban carga estarán rígidamente unidas a los cordones mediante bulones en uniones pretensadas o de deslizamiento crítico, o mediante cordones de soldadura. Las presillas intermedias se unirán a los cordones por soldadura o bulones con ajuste sin juego. En todos los casos se colocarán como mínimo dos bulones por unión.

E.7. RESISTENCIA NOMINAL A COMPRESIÓN DE MIEMBROS CON ELEMENTOS ESBELTOS

Las especificaciones de esta Sección son aplicables a miembros sometidos a **compresión axial uniforme** con secciones **con elementos esbeltos**, según se define en la Sección **B.4.1**.

La **resistencia nominal a compresión**, P_n (kN), será el menor valor obtenido para los estados límites de pandeo flexional, pandeo torsional y pandeo flexotorsional según corresponda.

$$P_n = F_{cr} A_g (10^{-1}) \quad (\text{E.7.1})$$

siendo:

P_n la resistencia nominal, en kN.

F_{cr} la tensión crítica de pandeo, en MPa.

A_g el área bruta de la sección del miembro, en cm^2 .

La tensión crítica, F_{cr} (MPa), será determinada de la siguiente manera:

(a) Para $\lambda_e \sqrt{Q} \leq 1,5$:

$$F_{cr} = Q(0,658^{Q\lambda_e^2}) F_y \quad (\text{E.7.2})$$

equivalentemente:

$$\text{Para } \left(\frac{kL}{r} \right) \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{QF_y}}$$

$$F_{cr} = Q \left(0,658 \sqrt{\frac{Q F_y}{F_e}} \right) F_y \quad (\text{E.7.2a})$$

(b) Para $\lambda_e \sqrt{Q} > 1,5$:

$$F_{cr} = \left[\frac{0,877}{\lambda_e^2} \right] F_y \quad (\text{E.7.3})$$

equivalentemente:

$$\text{Para } \left(\frac{kL}{r} \right) > 4,71 \sqrt{\frac{E}{Q F_y}}$$

$$F_{cr} = 0,877 F_e \quad (\text{E.7.3a})$$

siendo:

$$\lambda_e = \sqrt{\frac{F_y}{F_e}}$$

F_e la tensión crítica de pandeo elástico, calculada con las expresiones **E.3.4a** o **E.4.4** para miembros con simetría doble; con expresiones **E.3.4a** o **E.4.5** para miembros con simetría simple; y **E.4.6** para miembros asimétricos, en MPa.

Q el factor de reducción para pandeo local que considera la presencia en las secciones de elementos esbeltos comprimidos.

= **1,0** para miembros con secciones **sin** elementos esbeltos tal como se define en la Sección **B.4.1**. para secciones en compresión uniforme.

= $Q_s Q_a$ para miembros con secciones **con** elementos esbeltos tal como se define en la Sección **B.4.1**. para secciones en compresión uniforme.

Q_s el factor de reducción por pandeo local para elementos **no rigidizados** determinado con las especificaciones de la Sección **E.7.2**.

Q_a el factor de reducción por pandeo local para elementos **rigidizados** determinado con las especificaciones de la Sección **E.7.1**.

Si la sección transversal está compuesta solamente por elementos esbeltos no rigidizados, $Q = Q_s$ ($Q_a = 1$).

Si la sección transversal está compuesta solamente por elementos esbeltos rigidizados, $Q = Q_a$ ($Q_s = 1$).

Si la sección transversal está compuesta por elementos esbeltos no rigidizados y por elementos esbeltos rigidizados, $Q = Q_s Q_a$.

Si la sección transversal esta formada por múltiples elementos no rigidizados conservadoramente se puede tomar el **menor** Q_s (del elemento más esbelto) para determinar la resistencia nominal a compresión.

E.7.1. Factor de reducción Q_s para elementos no rigidizados

El factor de reducción Q_s para elementos esbeltos no rigidizados será determinado de la siguiente manera:

(a) **Para alas de perfiles laminados doble Te, canales y Tes, alas de pares de ángulos en unión continua, ángulos y placas salientes de perfiles laminados, en compresión axial (Caso 1, Tabla B.4.1a)**

$$\text{Cuando: } \frac{b}{t} \leq 0,56 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$Q_s = 1,0 \quad (\text{E.7.4})$$

$$\text{Cuando: } 0,56 \sqrt{E/F_y} < (b/t) \leq 1,03 \sqrt{E/F_y}$$

$$Q_s = 1,415 - 0,74 \left(\frac{b}{t} \right) \sqrt{F_y/E} \leq 1 \quad (\text{E.7.5})$$

$$\text{Cuando: } (b/t) > 1,03 \sqrt{E/F_y}$$

$$Q_s = \frac{0,69 E}{\left[F_y \left(\frac{b}{t} \right)^2 \right]} \leq 1 \quad (\text{E.7.6})$$

(b) **Alas de perfiles soldados, ángulos y elementos salientes de elementos armados soldados en compresión (Caso 2, Tabla B.4.1a)**

$$\text{Cuando: } \frac{b}{t} \leq 0,64 \sqrt{\frac{E k_c}{F_y}}$$

$$Q_s = 1,0 \quad (\text{E.7.7})$$

$$\text{Cuando: } 0,64 \sqrt{E k_c / F_y} < (b/t) \leq 1,17 \sqrt{E k_c / F_y}$$

$$Q_s = 1,415 - 0,65 \left(\frac{b}{t} \right) \sqrt{F_y / k_c E} \leq 1 \quad (\text{E.7.8})$$

Cuando: $\frac{b}{t} > 1,17 \sqrt{\frac{E k_c}{F_y}}$

$$Q_s = \frac{0,90 E}{\left[F_y \left(\frac{b}{t} \right)^2 \right]} k_c \leq 1 \quad (\text{E.7.9})$$

El coeficiente k_c se debe calcular de la siguiente forma:

$$k_c = \frac{4}{\sqrt{h/t_w}} \quad 0,35 \leq k_c \leq 0,763$$

siendo:

h la altura del alma, en cm.

t_w el espesor del alma, en cm.

(c) Para ángulos simples o dobles unidos en forma discontinua (Caso 3, Tabla B.4.1a).

Cuando: $\frac{b}{t} \leq 0,45 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$

$$Q_s = 1,0 \quad (\text{E.7.10})$$

Cuando: $0,45 \sqrt{E/F_y} < (b/t) \leq 0,91 \sqrt{E/F_y}$

$$Q_s = 1,34 - 0,76 \left(\frac{b}{t} \right) \sqrt{F_y / E} \leq 1 \quad (\text{E.7.11})$$

Cuando:

$$(b/t) > 0,91 \sqrt{E/F_y}$$

$$Q_s = \frac{0,53 E}{\left[F_y \left(\frac{b}{t} \right)^2 \right]} \leq 1 \quad (\text{E.7-12})$$

siendo:

b el ancho total del ala más larga del ángulo, en cm.

(d) Almas de secciones Te (Caso 4, Tabla B.4.1a).

$$\text{Cuando: } \frac{d}{t} \leq 0,75 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$Q_s = 1,0 \quad (\text{E.7.13})$$

$$\text{Cuando: } 0,75 \sqrt{E/F_y} < (d/t) \leq 1,03 \sqrt{E/F_y}$$

$$Q_s = 1,908 - 1,22 \left(\frac{d}{t} \right) \sqrt{F_y/E} \leq 1 \quad (\text{E.7.14})$$

$$\text{Cuando: } (d/t) > 1,03 \sqrt{E/F_y}$$

$$Q_s = \frac{0,69 E}{\left[F_y \left(\frac{d}{t} \right)^2 \right]} \leq 1 \quad (\text{E.7.15})$$

siendo:

d la altura nominal total de la sección Te, en cm.

En todas las expresiones anteriores:

b el ancho del elemento comprimido no rigidizado, como se define en la Sección **B.4.1.**, en cm.

t el espesor del elemento no rigidizado, en cm.

F_y la tensión de fluencia mínima especificada, en MPa.

E.7.2. Factor de reducción Q_a para elementos rigidizados

El factor de reducción, Q_a , para elementos esbeltos rigidizados será determinado de la siguiente manera:

$$Q_a = \frac{\text{Area efectiva (} A_{ef} \text{)}}{\text{Area bruta (} A_g \text{)}} \quad (\text{E.7.16})$$

siendo:

$A_{ef} = A_g - \Sigma (b - b_e) t$ (la sumatoria comprende todos los elementos rigidizados), en cm^2 .

A_g el área bruta de toda la sección de la barra, en cm^2 .

b_e el ancho efectivo reducido, en cm.

b el ancho del elemento comprimido rigidizado tal como se define en la Sección **B.4.1.**, en cm.

t el espesor del elemento rigidizado, en cm.

El ancho efectivo reducido b_e se determina de la siguiente manera:

(a) Para elementos esbeltos uniformemente comprimidos excepto caras de tubos cuadrados y rectangulares de espesor uniforme y esquinas redondeadas. (Casos **5** y **8**, Tabla **B.4-1a**).

Cuando:

$$\left(\frac{b}{t} \right) \geq 1,49 \sqrt{\frac{E}{f}}$$

$$b_e = 1,91 t \sqrt{\frac{E}{f}} \left[1 - \frac{0,34}{\left(\frac{b}{t} \right)} \sqrt{\frac{E}{f}} \right] \leq b \quad (\text{E.7.17})$$

siendo:

b el ancho real de un elemento comprimido rigidizado como está definido en la Sección **B.4.1.**, en cm.

b_e el ancho efectivo reducido, en cm.

t el espesor del elemento, en cm.

$f = F_{cr}$ con F_{cr} determinada según la Sección E.7. con $Q = 1,0$, en MPa.

- (b) Caras de tubos de secciones cuadradas o rectangulares, de espesor uniforme y con esquinas redondeadas (Caso 6, Tabla B.4.1a).

Cuando:

$$\left(\frac{b}{t} \right) \geq 1,40 \sqrt{\frac{E}{f}}$$

$$b_e = 1,91 t \sqrt{\frac{E}{f}} \left[1 - \frac{0,38}{\left(\frac{b}{t} \right)} \sqrt{\frac{E}{f}} \right] \quad (\text{E.7.18})$$

siendo:

$$f = 10 P_n / A_{ef} \text{ (MPa).}$$

$$A_{ef} = A_g - \Sigma (b - b_e) t \text{ (la sumatoria comprende todos los elementos rigidizados), en cm}^2.$$

P_n la resistencia nominal a compresión de la columna, en kN.

Observación: en lugar de tomar $f = 10 P_n / A_{ef}$ que exige un **procedimiento iterativo**, puede tomarse conservadoramente $f = F_y$

- (c) Para elementos tubulares de sección circular cargados axialmente con relación diámetro/espesor dentro de los siguientes límites: (Caso 10, Tabla B.4.1a).

$$\frac{0,11 E}{F_y} < \left(\frac{D}{t} \right) \leq \frac{0,45 E}{F_y}$$

$$Q = Q_a = \frac{0,038 E}{F_y (D/t)} + \frac{2}{3} \quad (\text{E.7.19})$$

siendo:

D el diámetro externo, en cm.

t el espesor de pared, en cm.

CAPÍTULO F. PROYECTO DE VIGAS Y OTROS MIEMBROS EN FLEXIÓN

Las especificaciones de este Capítulo son aplicables a **miembros prismáticos sometidos a flexión simple** alrededor de un eje principal.

Para que haya flexión simple el miembro debe estar cargado en un plano paralelo a un eje principal que pase por el centro de corte, o tener restringidos a la torsión los puntos de aplicación de la carga y los apoyos.

Su contenido está organizado de la siguiente manera:

- F.1. Especificaciones generales
- F.2. Miembros de secciones compactas doble Te de doble simetría y canales, flexados alrededor de su eje fuerte
- F.3. Miembros de sección doble Te de doble simetría y canales con almas compactas y alas no compactas o esbeltas, flexados alrededor de su eje fuerte
- F.4. Otros miembros de sección doble Te con almas compactas o no compactas, canales con almas no compactas, todos con alas compactas, no compactas o esbeltas y flexados alrededor de su eje fuerte.
- F.5. Miembros de sección doble Te de simple y doble simetría con almas esbeltas flexados alrededor de su eje fuerte
- F.6. Miembros de sección doble te y canales, flexados alrededor de su eje débil
- F.7. Secciones cajón simétricas con alas compactas, no compactas y esbeltas y con almas compactas y no compactas, flexadas alrededor de un eje de simetría
- F.8. Perfiles tubulares sin costura de sección circular
- F.9. Secciones Te y ángulos dobles en unión continua, cargadas en el plano de simetría
- F.10. Miembros de Ángulo simple
- F.11. Barras macizas de sección rectangular y circular
- F.12. Miembros con secciones asimétricas
- F.13. Requisitos dimensionales para vigas y vigas armadas.

- Para el Proyecto de miembros por corte ver el Capítulo **G**.
- Para miembros sometidos a flexión biaxial o a combinación de flexión y esfuerzo axial ver Secciones **H.1.** y **H.3.**
- Para miembros sometidos a torsión y a combinación de torsión, flexión, corte y/o fuerza axial ver Sección **H.3.**
- Para miembros sometidos a acciones cíclicas (fatiga) ver el **Apéndice 3**.
- Para miembros flexados con alma de altura variable ver la **Recomendación CIRSOC 301-1**.

F.1. ESPECIFICACIONES GENERALES

La resistencia de diseño a flexión, $\phi_b M_n$ (kNm), será determinada de la siguiente manera:

- (1) $\phi_b = 0,9$ Para todos los casos incluidos en este Capítulo.
 M_n la resistencia nominal a flexión determinada de acuerdo con las Secciones **F.2.** a **F.12.**
- (2) Las especificaciones de este Capítulo se **basan en que los puntos de apoyo de los miembros flexados están restringidos contra la rotación alrededor del eje longitudinal del miembro.**
- (3) Para **todos los casos de miembros** con secciones de **doble simetría** y para **los miembros** con secciones de **simple simetría con deformada con simple curvatura** se tomará:

$$C_b = \frac{12,5 M_{m\acute{a}x}}{2,5 M_{m\acute{a}x} + 3 M_A + 4 M_B + 3 M_C} \quad (\text{F.1.1})$$

siendo:

- C_b el factor de modificación para el estado límite de pandeo lateral-torsional para diagramas de momento flector no uniformes, cuando están restringidos al vuelco ambos extremos del segmento de viga no arriostrado.
- $M_{m\acute{a}x}$ el valor absoluto del máximo momento flector en el segmento no arriostrado, en kNm.
- M_A el valor absoluto del momento flector en la sección ubicada a un cuarto (**1/4**) de la luz del segmento no arriostrado, en kNm.
- M_B el valor absoluto del momento flector en la sección ubicada a la mitad (**1/2**) de la luz del segmento no arriostrado, en kNm.
- M_C el valor absoluto del momento flector en la sección ubicada a tres cuartos (**3/4**) de la luz del segmento no arriostrado, en kNm.

Se permite adoptar conservadoramente un valor $C_b = 1$ para todos los casos de diagramas de momento flector.

Para miembros en voladizo, cuando el extremo libre no esté arriostrado, se deberá tomar $C_b = 1$ para todos los casos, cualquiera sea el diagrama de momento flector en el voladizo.

- (4) Para miembros con secciones de **simple simetría con deformada de doble curvatura** el estado límite de pandeo lateral-torsional deberá ser verificado para ambas alas. La resistencia de diseño a flexión deberá ser mayor o igual que el máximo momento flector (resistencia requerida) que produce compresión en el ala considerada.

F.2. MIEMBROS DE SECCIONES COMPACTAS DOBLE TE DE DOBLE SIMETRÍA Y CANALES, FLEXADOS ALREDEDOR DE SU EJE FUERTE

Las especificaciones de esta Sección se aplican a miembros de sección doble te de doble simetría y a canales flexados alrededor del eje fuerte, y con alas y almas compactas para flexión, tal como se definen en la Sección **B.4.1.** .

La **resistencia nominal a flexión, M_n (kNm)**, será el menor valor obtenido para los estados límites de **plastificación** y **pandeo lateral-torsional**.

F.2.1. Estado límite de plastificación

La **resistencia nominal a flexión, M_n (kNm)**, se determinará con la siguiente expresión:

$$M_n = M_p = F_y Z_x (10^{-3}) \leq 1,5 M_y \quad (\text{F.2.1})$$

siendo:

M_p el momento plástico, en kNm.

M_y el momento elástico; momento para el cual alcanza la fluencia la fibra más alejada del eje neutro. ($= F_y S_x (10^{-3})$ para secciones homogéneas; $= F_{yf} S_x (10^{-3})$ para secciones híbridas), en kNm.

F_y la tensión de fluencia mínima especificada, en MPa.

F_{yf} la tensión de fluencia mínima especificada del acero del ala, en MPa.

Z_x el módulo plástico de la sección respecto del eje fuerte, en cm^3 .

S_x el módulo resistente elástico de la sección respecto del eje fuerte, en cm^3 .

F.2.2. Estado límite de pandeo lateral-torsional

La **resistencia nominal a flexión, M_n (kNm)**, se determinará por:

(a) Cuando $L_b \leq L_p$ $M_n = M_p$

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

para **cargas aplicadas en las almas o en las alas de la viga:**

$$M_n = C_b \left[M_p - (M_p - M_r) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_p \quad (\text{F.2.2})$$

(c) Cuando $L_b > L_r$

para **cargas aplicadas en las almas o en las alas de la viga:**

$$M_n = M_{cr} \leq M_p \quad (\text{F.2.3})$$

siendo:

M_p el momento plástico según la expresión (F.2.1), en kNm.

L_b la distancia entre puntos de arriostramiento contra el desplazamiento lateral del ala comprimida, o entre puntos de arriostramiento para impedir la torsión de la sección transversal, en cm.

L_p la longitud lateralmente no arriostrada límite definida mas adelante, en cm.

L_r la longitud lateralmente no arriostrada límite definida mas adelante, en cm.

M_r el momento límite para pandeo lateral-torsional definido mas adelante, en kNm.

M_{cr} el momento crítico elástico determinado de la siguiente manera:

(1) Para cargas **aplicadas en el alma o en el ala inferior de la viga:**

$$M_{cr} = (10^{-3}) C_b \frac{\pi}{L_b} \sqrt{E I_y G J + \left(\frac{\pi E}{L_b}\right)^2 I_y C_w} =$$

$$= \frac{(10^{-3}) C_b S_x X_1 \sqrt{2}}{L_b / r_y} \sqrt{1 + \frac{X_1^2 X_2}{2 \left(L_b / r_y\right)^2}} \quad (\text{F.2.4a})$$

(2) Para cargas **aplicadas en el ala superior de la viga:**

$$M_{cr} = \frac{(10^{-3}) 1,28 C_b S_x X_1}{L_b / r_y} \quad (\text{F.2.4b})$$

$$X_1 = \frac{\pi}{S_x} \sqrt{\frac{E G J A_g}{2}} \quad (\text{MPa}) \quad (\text{F.2.4c})$$

$$X_2 = \frac{4 C_w}{I_y} \left(\frac{S_x}{G J}\right)^2 \quad (\text{MPa})^{-2} \quad (\text{F.2.4d})$$

S_x el módulo resistente elástico de la sección con respecto al eje principal de mayor inercia (eje fuerte), en cm^3 .

E el módulo de elasticidad longitudinal del acero, en MPa.

- G** el módulo de elasticidad transversal del acero, en MPa.
- I_y** el momento de inercia de la sección con respecto al eje principal de menor inercia, en cm^4 .
- J** el módulo de torsión de la sección transversal, en cm^4 .
- r_y** el radio de giro de la sección con respecto al eje principal de menor inercia, en cm.
- A_g** el área bruta de la sección transversal, en cm^2 .
- C_w** el módulo de alabeo de la sección, en cm^6 .

Para determinar la resistencia nominal a flexión cuando la **carga esté aplicada por encima del ala superior de la viga**, se deberá realizar un análisis que considere la influencia de la distancia del punto de aplicación de la carga al baricentro de la sección.

- La **longitud lateralmente no arriostrada límite**, L_p (cm), será determinada de la siguiente manera:

- (1) Para cargas **aplicadas en el alma o en el ala inferior de la viga:**

$$L_p = 1,76 r_y \sqrt{\frac{E}{F_{yf}}} \quad (\text{F.2.5a})$$

- (2) Para cargas **aplicadas en el ala superior de la viga:**

$$L_p = 1,59 r_y \sqrt{\frac{E}{F_{yf}}} \quad (\text{F.2.5b})$$

siendo:

r_y el radio de giro de la sección con respecto al eje principal de menor inercia, en cm.

- La **longitud lateralmente no arriostrada límite**, L_r (cm), y el correspondiente momento de pandeo lateral-torsional, M_r (kNm), serán determinadas de la siguiente manera:

- (1) Para cargas **aplicadas en el alma o en el ala inferior de la viga:**

$$L_r = \frac{r_y X_1}{F_L} \sqrt{1 + \sqrt{1 + X_2 F_L^2}} \quad (\text{F.2.6a})$$

$$M_r = F_L S_x (10^{-3}) \quad (\text{F.2.7a})$$

(2) Para cargas *aplicadas en el ala superior de la viga*:

$$L_r = 1,28 \frac{r_y X_1}{F_L} \quad (\text{F.2.6b})$$

$$M_r = F_L S_x (10^{-3}) \quad (\text{F.2.7b})$$

siendo:

S_x el módulo resistente elástico de la sección con respecto al eje principal de mayor inercia, en cm^3 .

r_y el radio de giro de la sección con respecto al eje principal de menor inercia en cm.

F_L el menor valor de $(F_{yf} - F_r)$ ó F_{yw} , en MPa.

F_r la tensión residual de compresión en ala igual a **69 MPa** para secciones laminadas, e igual a **114 MPa** para secciones soldadas.

F_{yf} la tensión de fluencia del acero del ala, en MPa.

F_{yw} la tensión de fluencia del acero del alma, en MPa.

F.3. MIEMBROS DE SECCIÓN DOBLE TE DE DOBLE SIMETRÍA Y CANALES CON ALMAS COMPACTAS Y ALAS NO COMPACTAS O ESBELTAS, FLEXADOS ALREDEDOR DE SU EJE FUERTE

Las especificaciones de esta Sección se aplican a miembros de sección doble te de doble simetría y a canales, flexados alrededor del eje fuerte, y con sus almas compactas y sus alas no compactas o esbeltas para flexión, tal como se definen en la Sección **B.4.1.**

La **resistencia nominal a flexión, M_n (kNm)**, será el menor valor obtenido para los estados límite de **pandeo lateral-torsional** y **pandeo local del ala comprimida**.

F.3.1. Estado límite de pandeo lateral-torsional

Se aplican las especificaciones de la Sección **F.2.2.**, para pandeo lateral-torsional.

F.3.2. Estado límite de pandeo local del ala comprimida

(a) Para alas no compactas ($\lambda \leq \lambda_{rf}$):

$$M_n = M_p - (M_p - M_r) \left(\frac{\lambda - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}} \right) \quad (\text{F.3.1})$$

(b) Para alas esbeltas ($\lambda > \lambda_{rf}$):

- Para secciones laminadas
$$M_n = \frac{0,69 E S_x}{\lambda^2} (10)^{-3} \quad (\text{F.3.2a})$$

- Para secciones armadas
$$M_n = \frac{0,9 E k_c S_x}{\lambda^2} (10)^{-3} \quad (\text{F.3.2b})$$

siendo:

λ la esbeltez del ala: para doble Te = $(b_f/2t_f)$, para canales (b/t_f) .

λ_{pf} la esbeltez límite para ala compacta (Tabla **B.4.1b**: caso **11**).

λ_{rf} la esbeltez límite para ala no compacta (Tabla **B.4.1b**: caso **11** secciones laminadas; caso **12** secciones armadas).

M_p el momento plástico de la sección transversal, en kNm.

M_r el momento crítico de pandeo elástico = $F_L S_x (10)^{-3}$, en MPa.

F_L el menor valor entre $(F_{yf} - F_r)$ ó F_{yw} , en MPa.

F_r la tensión residual de compresión en el ala igual a **69 MPa** para secciones laminadas e igual a **114 MPa** para secciones soldadas.

F_{yf} la tensión de fluencia del acero del ala, en MPa.

F_{yw} la tensión de fluencia del acero del alma, MPa.

S_x el módulo resistente elástico de la sección con respecto al eje principal de mayor inercia, en cm^3 .

$$k_c = \frac{4}{\sqrt{h/t_w}} \text{ para el cálculo será } 0,35 \leq k_c \leq 0,763 .$$

h la altura definida en la Sección **B.4.1(b)**, en cm.

t_w el espesor del alma, en cm.

F.4. OTROS MIEMBROS DE SECCIÓN DOBLE TE CON ALMAS COMPACTAS O NO COMPACTAS, CANALES CON ALMAS NO COMPACTAS, TODOS CON ALAS COMPACTAS, NO COMPACTAS O ESBELTAS Y FLEXADOS ALREDEDOR DE SU EJE FUERTE

Las especificaciones de esta Sección se aplican a: (a) miembros de sección doble Te de doble simetría con almas no compactas; (b) canales con almas no compactas; (c) miembros de sección doble Te de simple simetría con almas unidas a las alas a la mitad del ancho de

estas y con almas compactas o no compactas; todos los miembros citados flexados alrededor del eje fuerte y con alas compactas, no compactas o esbeltas.

La **resistencia nominal a flexión, M_n (kNm)**, será el menor valor obtenido para los estados límite de **fluencia del ala comprimida, pandeo lateral-torsional, pandeo local del ala comprimida y fluencia del ala traccionada**.

F.4.1. Estado límite de fluencia del ala comprimida

$$M_n = R_{pc} M_{xc} = R_{pc} F_{yf} S_{xc} (10)^{-3} \quad (\text{F.4.1})$$

siendo:

M_{xc} el momento elástico referido al ala comprimida, en kNm.

S_{xc} el módulo resistente elástico de la sección respecto del eje de flexión referido al ala comprimida, en cm^3 .

R_{pc} el factor de plastificación del alma que se determina mas adelante.

F.4.2. Estado límite de pandeo lateral-torsional

(a) Cuando $L_b \leq L_p$, el pandeo lateral-torsional no es crítico

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

$$M_n = C_b \left[R_{pc} M_{xc} - \left(R_{pc} M_{xc} - F_L S_{xc} 10^{-3} \right) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq R_{pc} M_{xc} \quad (\text{F.4.2})$$

(c) Cuando $L_b > L_r$

$$M_n = F_{cr} S_{xc} (10)^{-3} \leq R_{pc} M_{xc} \quad (\text{F.4.3})$$

siendo:

$$M_{xc} = F_{yf} S_{xc} (10)^{-3} \quad (\text{F.4.4})$$

$$F_{cr} = \frac{C_b \pi^2 E}{\left(\frac{L_b}{r_t} \right)^2} \sqrt{1 + 0,078 \frac{cJ}{S_{xc} h_o} \left(\frac{L_b}{r_t} \right)^2} \quad (\text{F.4.5})$$

J el módulo de torsión de la sección transversal, en cm^4 . Para $(I_{yc} / I_y) \leq 0,23$ se tomará $J = 0$.

c - para secciones doble T $c = 1,0$

$$\text{- para canales } c = \frac{h_o}{2} \sqrt{\frac{I_y}{C_w}}$$

I_{yc} el momento de inercia del ala comprimida respecto del eje y (eje débil), en cm^4 .

I_y el momento de inercia de la sección transversal total respecto del eje y , en cm^4 .

F_L la tensión límite en el ala comprimida determinada mas adelante, en MPa.

r_t el radio de giro efectivo respecto del eje y que se determina mas adelante, en cm.

h_o la distancia entre centro de gravedad de las alas, en cm.

L_b la longitud lateralmente no arriostada, en cm.

L_p la longitud lateralmente no arriostada límite definida más adelante, en cm.

L_r la longitud lateralmente no arriostada límite definida más adelante, en cm.

- **La tensión límite F_L** será determinada de la siguiente manera:

(1) Cuando $(S_{xt} / S_{xc}) \geq 0,7$

$$F_L \text{ el menor valor de } (F_{yf} - F_r) \text{ ó } F_{yw}. \text{ (MPa)} \quad \text{(F.4.6a)}$$

F_r la tensión residual de compresión en el ala igual a **69 MPa** para secciones laminadas, e igual a **114 MPa** para secciones soldadas.

(2) Cuando $(S_{xt} / S_{xc}) < 0,7$

$$F_L = F_{yf} (S_{xt} / S_{xc}) \geq 0,5 F_{yf} \quad \text{(F.4.6b)}$$

siendo:

S_{xc} el módulo resistente elástico de la sección respecto del eje de flexión referido al ala comprimida, en cm^3 .

S_{xt} el módulo resistente elástico de la sección respecto del eje de flexión referido al ala traccionada, en cm^3 .

- **La longitud lateralmente no arriostada límite para alcanzar la fluencia, L_p** , en cm, será:

$$L_p = 1,10 r_t \sqrt{\frac{E}{F_{yf}}} \quad \text{(F.4.7)}$$

- La longitud lateralmente no arriostrada límite para el pandeo lateral inelástico, L_r en cm, será:

$$L_r = 1,95 r_t \frac{E}{F_L} \sqrt{\left(\frac{cJ}{S_{xc} h_o}\right) + \sqrt{\left(\frac{cJ}{S_{xc} h_o}\right)^2 + 6,76 \left(\frac{F_L}{E}\right)^2}} \quad (\text{F.4.8})$$

- El factor de plastificación del alma, R_{pc} , será determinado por:

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

1.a) Cuando $(h_c / t_w) \leq \lambda_{pw}$

$$R_{pc} = (M_p / M_{xc}) \quad (\text{F.4.9a})$$

1.b) Cuando $(h_c / t_w) > \lambda_{pw}$

$$R_{pc} = \left[\frac{M_p}{M_{xc}} - \left(\frac{M_p}{M_{xc}} - 1 \right) \left(\frac{\lambda - \lambda_{pw}}{\lambda_{rw} - \lambda_{pw}} \right) \right] \leq \frac{M_p}{M_{xc}} \quad (\text{F.4.9b})$$

(2) Cuando $(I_{yc} / I_y) \leq 0,23$

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

siendo:

M_p el momento plástico; en secciones homogéneas

$$M_p = Z_x F_y (10)^{-3} \leq 1,5 S_{xc} F_y (10)^{-3} \text{ (MPa)}.$$

$$\lambda = (h_c / t_w)$$

λ_{pw} la esbeltez límite para **alma compacta**. Tabla **B.4.1b**.

λ_{rw} la esbeltez límite para **alma no compacta**. Tabla **B.4.1b**.

h_c el doble de la distancia entre el centro de gravedad de la sección y: **(a)** para perfiles laminados la cara interna del ala comprimida menos el radio de encuentro; **(b)** para secciones armadas abulonadas la línea de bulones más cercana al ala comprimida; **(c)** para secciones armadas soldadas la cara interna del ala comprimida, en cm.

- **El radio de giro efectivo** para pandeo lateral-torsional, r_t (cm), será determinado de la siguiente manera:

(1) Para **secciones doble Te** con el ala comprimida rectangular

$$r_t = \frac{b_{fc}}{\sqrt{12 \left(\frac{h_o}{d} + \frac{a_w}{6 h_o d} h^2 \right)}} \quad (\text{F.4.10})$$

siendo:

h_o la distancia entre el centro de gravedad de las alas, en cm.

h la altura definida en la Sección **B.4.1(b)**, en cm).

d la altura total de la sección transversal, en cm.

$a_w = (h_c t_w / b_{fc} t_{fc})$

b_{fc} el ancho del ala comprimida, en cm.

t_{fc} el espesor del ala comprimida, en cm.

(2) Para **secciones canal**

$$r_t^2 = \frac{\sqrt{I_y C_w}}{S_x} \quad (\text{F.4.11})$$

(3) Para **secciones doble Te con canales o platabandas unidas al ala comprimida**

r_t el radio de giro de los componentes del ala comprimida por flexión más **1/3** del área comprimida del alma debido sólo al momento flector alrededor del eje fuerte, en cm.

a_w relación entre **2 veces** el área comprimida del alma debida sólo a la flexión alrededor del eje fuerte y el área de los componentes del ala comprimida, en cm.

F.4.3. Estado límite de pandeo local del ala comprimida

(a) Para secciones con alas compactas **no es aplicable el estado límite de pandeo local del ala comprimida**

(b) Para **secciones con alas no compactas**

$$M_n = \left[R_{pc} M_{xc} - (R_{pc} M_{xc} - F_L S_x 10^{-3}) \left(\frac{\lambda - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}} \right) \right] \quad (\text{F.4.12})$$

(c) Para **secciones con alas esbeltas**

$$M_n = \frac{0,9 E k_c S_{xc}}{\lambda^2} (10)^{-3} \quad (\text{F.4.13})$$

siendo:

λ la esbeltez del ala = $(b_f/2t_f)$.

λ_{pf} la esbeltez límite **para ala compacta** (Tabla **B.4.1b** : caso **11**).

λ_{rf} la esbeltez límite **para ala no compacta** (Tabla **B.4.1b**, caso **12** secciones armadas).

M_{xc} el momento elástico referido al ala comprimida, en KNm.

R_{pc} el factor de plastificación del alma definido por las expresiones **(F.4.9a)** ó **(F.4.9b)**.

F_L el menor valor de $(F_{yf} - F_r)$ ó F_{yw} **(MPa)**.

F_r la tensión residual de compresión en ala igual a **69 MPa** para secciones laminadas, e igual a **114 MPa** para secciones soldadas.

F_{yf} la tensión de fluencia del acero del ala, en MPa.

F_{yw} la tensión de fluencia del acero del alma, en MPa.

S_{xc} el módulo resistente elástico de la sección con respecto al eje principal de mayor inercia referido al ala comprimida, en cm^3 .

$$k_c = \frac{4}{\sqrt{h/t_w}} \text{ Para el cálculo será } 0,35 \leq k_c \leq 0,763.$$

h la altura definida en la Sección **B.4.1(b)** , en cm.

t_w el espesor del alma, en cm.

F.4.4. Estado límite de fluencia del ala traccionada

(a) Cuando $S_{xt} \geq S_{xc}$, el estado limite de fluencia del ala traccionada **no es crítico**.

(b) Cuando $S_{xt} < S_{xc}$

$$M_n = R_{pt} M_{xt} \quad (\text{F.4.14})$$

siendo:

M_{xt} el momento elástico referido al ala traccionada = $F_y S_{xt} (10)^{-3}$, en KNm.

S_{xt} el módulo resistente elástico de la sección respecto del eje de flexión referido al ala traccionada, en cm^3 .

- El factor de plastificación del alma correspondiente al estado límite de fluencia del ala traccionada, R_{pt} , se determinará de la siguiente manera:

(1) Cuando $(h_c / t_w) \leq \lambda_{pw}$

$$R_{pt} = (M_p / M_{xt}) \quad (\text{F.4.15a})$$

(2) Cuando $(h_c / t_w) > \lambda_{pw}$

$$R_{pt} = \left[\frac{M_p}{M_{xt}} - \left(\frac{M_p}{M_{xt}} - 1 \right) \left(\frac{\lambda - \lambda_{pw}}{\lambda_{rw} - \lambda_{pw}} \right) \right] \leq \frac{M_p}{M_{xt}} \quad (\text{F.4.15b})$$

siendo:

M_p el momento plástico; en secciones homogéneas $M_p = Z_x F_y (10)^{-3} \leq 1,5 S_{xt} F_y (10)^{-3}$ (MPa)

$$\lambda = (h_c / t_w)$$

λ_{pw} la esbeltez límite para *alma compacta*. Tabla **B.4.1b**.

λ_{rw} la esbeltez límite para *alma no compacta*. Tabla **B.4.1b**.

h_c el doble de la distancia entre el centro de gravedad de la sección y: (**a**) para perfiles laminados la cara interna del ala comprimida menos el radio de encuentro; para secciones armadas abulonadas la línea de bulones mas cercana al ala comprimida; para secciones armadas soldadas la cara interna del ala comprimida, en cm.

F.5. MIEMBROS DE SECCIÓN DOBLE TE DE SIMPLE Y DOBLE SIMETRÍA CON ALMAS ESBELTAS FLEXADOS ALREDEDOR DE SU EJE FUERTE

Las especificaciones de esta Sección se aplican a miembros de sección doble Te de doble y simple simetría con almas esbeltas (según se define en la Sección **B.4.1** para flexión), unidas a la mitad del ancho del ala, flexadas alrededor del eje fuerte y con secciones homogéneas o híbridas.

La *resistencia nominal a flexión*, M_n (kNm), será el menor valor obtenido para los estados límite de *fluencia del ala comprimida*, *pandeo lateral-torsional*, *pandeo local del ala comprimida* y *fluencia del ala traccionada*.

F.5.1. Estado límite de fluencia del ala comprimida

$$M_n = R_e R_{pg} F_{yf} S_{xc} (10)^{-3} \quad (\text{F.5.1})$$

F.5.2. Estado límite de pandeo lateral-torsional

$$M_n = R_e R_{pg} F_{cr} S_{xc} (10)^{-3} \quad (\text{F.5.2})$$

(a) Cuando $L_b \leq L_p$ el pandeo lateral-torsional no será crítico

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

$$F_{cr} = C_b \left[F_{yf} - (F_{yf} - F_r) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq F_{yf} \quad (\text{MPa}) \quad (\text{F.5.3})$$

(c) Cuando $L_b > L_r$

$$F_{cr} = \frac{1970000 C_b}{(L_b / r_t)^2} \leq F_{yf} \quad (\text{MPa}) \quad (\text{F.5.4})$$

siendo:

$$L_p = 1,10 r_t \sqrt{\frac{E}{F_{yf}}} \quad (\text{cm}) \quad (\text{F.5.5a})$$

$$L_r = \pi r_t \sqrt{\frac{E}{F_{yf} - F_r}} \quad (\text{cm}) \quad (\text{F.5.5b})$$

R_{pg} el factor de reducción

$$= 1 - \frac{a_w}{1200 + 300 a_w} \left(\frac{h_c}{t_w} - 5,70 \sqrt{\frac{E}{F_{crf}}} \right) \leq 1,0 \quad (\text{F.5.6})$$

$$a_w = \frac{h_c t_w}{b_{fc} t_{fc}} \leq 10$$

$$R_e = \frac{12 + a_w (3m - m^3)}{12 + 2a_w} \leq 1,0 \quad . \quad \text{El factor de viga armada híbrida para secciones}$$

homogéneas será:

$$R_e = 1,0$$

m la relación entre F_{yw} y F_{yf} o F_{crf} .

r_t el radio de giro efectivo para pandeo lateral, en cm. Para secciones doble Te como se define en la Sección **F.4**.

h_c el doble de la distancia entre el centro de gravedad de la sección y: (a) para

secciones armadas abulonadas la línea de bulones mas cercana al ala comprimida; **(b)** para secciones armadas soldadas la cara interna del ala comprimida, en cm.

b_{fc} el ancho del ala comprimida, en cm.

t_{fc} el espesor del ala comprimida, en cm.

t_w el espesor del alma, en cm.

F_{crf} la tensión crítica del ala comprimida para estado límite de pandeo lateral o pandeo local del ala, la que sea menor, en MPa.
Se permite tomar conservadoramente $F_{crf} = F_{yf}$

F_{yf}, F_{yw} la tensión de fluencia del acero de las alas y del alma respectivamente, en MPa.

F_r la tensión residual de compresión en el ala, en MPa.

F.5.3. Estado límite de pandeo del ala comprimida

$$M_n = R_e R_{pg} F_{crf} S_{xc} (10)^{-3} \quad (\text{F.5.7})$$

(a) Cuando $\lambda_f \leq \lambda_{pf}$ el pandeo local del ala comprimida no es aplicable. $F_{crf} = F_y$

(b) Cuando $\lambda_{pf} < \lambda_f \leq \lambda_{rf}$

$$F_{crf} = \left[F_{yf} - (F_{yf} - F_L) \left(\frac{\lambda_f - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}} \right) \right] \quad (\text{MPa}) \quad (\text{F.5.8})$$

(c) Cuando $\lambda_f > \lambda_{rf}$

$$F_{crf} = \frac{180000 k_c}{(b_f / 2 t_f)^2} \leq F_{yf} \quad (\text{MPa}) \quad (\text{F.5.9})$$

siendo:

λ_f la esbeltez del ala = $(b_f / 2 t_f)$.

λ_{pf} la esbeltez límite para **ala compacta** (Tabla **B.4.1b** : caso **12**).

λ_{rf} la esbeltez límite para **ala no compacta** (Tabla **B.4.1b** , caso **12**).

S_{xc} el módulo resistente elástico de la sección respecto del eje de flexión referido al ala comprimida, en cm^3 .

$$k_c = \frac{4}{\sqrt{h/t_w}} \text{ para el cálculo será } 0,35 \leq k_c \leq 0,763 .$$

h la altura definida en la Sección **B.4.1(b)**, en cm.

t_w el espesor del alma, en cm.

F.5.4. Estado límite de fluencia del ala traccionada

(a) Cuando $S_{xt} \geq S_{xc}$, la fluencia del ala traccionada no es crítica

(b) Cuando $S_{xt} < S_{xc}$

$$M_n = R_e F_{yf} S_{xt} (10)^{-3} \quad (\text{F.5.10})$$

siendo:

S_{xt} el módulo resistente elástico de la sección referido al ala traccionada, en cm^3 .

F.6. MIEMBROS DE SECCION DOBLE TE Y CANALES, FLEXADOS ALREDEDOR DE SU EJE DÉBIL

Las especificaciones de esta Sección son aplicables a miembros de sección doble Te y canales flexando alrededor de su eje débil.

La **resistencia nominal a flexión**, M_n (kNm), será el menor valor obtenido para los estados límite de **plastificación** (momento plástico) y **pandeo local del ala**.

F.6.1. Estado límite de plastificación

$$M_n = M_p = F_y Z_y (10)^{-3} \leq 1,5 F_y S_y (10)^{-3} \quad (\text{F.6.1})$$

F.6.2. Estado límite de pandeo local del ala

(a) Cuando $\lambda_f \leq \lambda_{pf}$ (alas compactas) el pandeo local del ala comprimida no es aplicable.

(b) Cuando $\lambda_{pf} < \lambda_f \leq \lambda_{rf}$ (ala no compacta)

$$M_n = \left[M_p - \left(M_p - 0,7 F_y S_y 10^{-3} \right) \left(\frac{\lambda_f - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}} \right) \right] \quad (\text{F.6.2})$$

(c) Cuando $\lambda_f > \lambda_{rf}$ (ala esbelta)

$$M_n = F_{cr} S_y (10)^{-3}$$

siendo:

$$F_{cr} = \frac{138000}{(b_f / t_f)^2} \quad (\text{MPa}) \quad (\text{F.6.3})$$

λ_f la esbeltez del ala = (b_f/t_f) .

λ_{pf} la esbeltez límite para **ala compacta** (Tabla **B.4.b**: caso **14**).

λ_{rf} la esbeltez límite para **ala no compacta** (Tabla **B.4.1b**, caso **14**).

b_f para alas de sección doble Te = **mitad de la longitud del ala completa**; para alas de secciones canal = **longitud del ala completa**, en cm.

t_f el espesor del ala, en cm.

S_y el módulo resistente elástico de la sección respecto del eje **y**. Para secciones canal se tomará el módulo mínimo, en cm^3 .

F.7. SECCIONES CAJÓN SIMÉTRICAS CON ALAS COMPACTAS, NO COMPACTAS Y ESBELTAS Y CON ALMAS COMPACTAS Y NO COMPACTAS, FLEXADAS ALREDEDOR DE UN EJE DE SIMETRÍA

Las especificaciones de esta Sección son aplicables a miembros de sección cajón simétrica con alas compactas, no compactas o esbeltas y almas compactas o no compactas, flexando alrededor de un eje de simetría.

La **resistencia nominal a flexión, M_n (kNm)**, será el menor valor obtenido para los estados límite de **plastificación** (momento plástico), **pandeo lateral-torsional**, **pandeo local del ala** y **pandeo local del alma**.

F.7.1. Estado límite de plastificación (momento plástico)

$$M_n = M_p = F_y Z (10)^3 \leq 1,5 F_y S (10)^3 \quad (\text{F.7.1})$$

siendo:

M_p el momento plástico de la sección transversal, en kNm.

Z el módulo plástico de la sección transversal relativo al eje de flexión, en cm^3 .

S el módulo resistente elástico de la sección transversal relativo al eje de flexión, en cm^3 .

F_y la tensión de fluencia mínima especificada del acero, en MPa.

F.7.2. Estado límite de pandeo lateral-torsional

Sólo aplicable para flexión alrededor del eje fuerte

La **resistencia nominal a flexión**, M_n (kNm), se determinará por:

(a) Cuando $L_b \leq L_p$ $M_n = M_{px}$

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

para **cargas aplicadas en las almas o en las alas de la viga** :

$$M_n = C_b \left[M_{px} - (M_{px} - M_r) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_{px} \quad (\text{F.7.2})$$

(c) Cuando $L_b > L_r$

para **cargas aplicadas en las almas o en las alas de la viga**:

$$M_n = M_{cr} \leq M_{px} \quad (\text{F.7.3})$$

siendo:

M_{px} el momento plástico referido al eje fuerte, en kNm.

L_b la distancia entre puntos de arriostramiento contra el desplazamiento lateral del ala comprimida, o entre puntos de arriostramiento para impedir la torsión de la sección transversal, en cm.

L_p la longitud lateralmente no arriostrada límite definida más adelante, en cm.

L_r la longitud lateralmente no arriostrada límite definida más adelante, en cm.

M_r el momento límite para pandeo lateral-torsional definido más adelante, en kNm.

M_{cr} el momento crítico elástico (kNm) determinado de la siguiente manera:

(1) Para cargas **aplicadas en el alma o en el ala inferior de la viga**:

$$M_{cr} = \frac{2 (10)^{-3} E C_b}{L_b / r_y} \sqrt{J A_g} \quad (\text{F.7.4})$$

(2) Para cargas **aplicadas en el ala superior de la viga**:

$$M_{cr} = \frac{1,8 (10)^{-3} E C_b}{L_b / r_y} \sqrt{J A_g} \quad (\text{F.7.5})$$

- E** el módulo de elasticidad longitudinal del acero, en MPa.
- J** el módulo de torsión de la sección transversal, en cm⁴.
- r_y** el radio de giro de la sección con respecto al eje principal de menor inercia, en cm.
- A_g** el área bruta de la sección transversal, en cm².

Para determinar la resistencia nominal a flexión cuando la **carga está aplicada por encima del ala superior de la viga**, se deberá realizar un análisis que considere la influencia de la distancia del punto de aplicación de la carga al baricentro de la sección.

- La **longitud lateralmente no arriostrada límite**, **L_p** (cm), será determinada de la siguiente manera:

(1) Para cargas **aplicadas en el alma o en el ala inferior de la viga**:

$$L_p = \frac{1,3 (10^{-4}) r_y E}{M_{px}} \sqrt{J A_g} \quad (\text{F.7.6})$$

(2) Para cargas **aplicadas en el ala superior de la viga**:

$$L_p = \frac{1,2 (10^{-4}) r_y E}{M_{px}} \sqrt{J A_g} \quad (\text{F.7.7})$$

siendo:

r_y el radio de giro de la sección con respecto al eje principal de menor inercia, en cm.

- La **longitud lateralmente no arriostrada límite**, **L_r** (cm), y el correspondiente momento de pandeo lateral-torsional **M_r** (kNm), serán determinadas de la siguiente manera:

(1) Para cargas **aplicadas en el alma o en el ala inferior de la viga**:

$$L_r = \frac{2 (10^{-3}) r_y E}{M_r} \sqrt{J A_g} \quad (\text{F.7.8})$$

$$M_r = F_{yf} S_x (10^{-3}) \quad (\text{F.7.9})$$

(2) Para cargas *aplicadas en el ala superior de la viga*:

$$L_r = \frac{1,8 (10^{-3}) r_y E}{M_r} \sqrt{J A_g} \quad (\text{F.7.10})$$

$$M_r = F_{yf} S_x (10^{-3}) \quad (\text{F.7.11})$$

siendo:

S_x el módulo resistente elástico de la sección con respecto al eje principal de mayor inercia, en cm^3 .

r_y el radio de giro de la sección con respecto al eje principal de menor inercia, en cm. Para secciones soldadas, en MPa.

F_{yf} la tensión de fluencia del acero del ala, en MPa.

F.7.3. Estado límite de pandeo local del ala

La **resistencia nominal a flexión, M_n (kNm)**, se determinará por medio de las siguientes expresiones:

(a) Para alas compactas y no compactas ($\lambda_f \leq \lambda_{rf}$):

$$M_n = M_p - (M_p - M_r) \left(\frac{\lambda_f - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}} \right) \leq M_p \quad (\text{F.7.12})$$

(b) Para alas esbeltas ($\lambda_f > \lambda_{rf}$):

$$M_n = S F_{cr} (10)^{-3} \quad (\text{F.7.13})$$

siendo:

M_p el momento plástico de la sección transversal relativo al eje de flexión, en kNm.

S el módulo resistente elástico de la sección transversal relativo al eje de flexión, en cm^3 .

λ_f la esbeltez del ala (b_f/t_f).

λ_{pf} la esbeltez límite para ala compacta (Tabla **B.4.1b** :caso **19**).

λ_{rf} la esbeltez límite para ala no compacta (Tabla **B.4.1b** , caso **19**).

b_f el ancho del ala según se define en la Sección **B.4.1(b)**, en cm.

t_f el espesor del ala, en cm.

$$M_r = F_y S(10)^{-3}, \text{ en kNm} \quad (\text{F.7.14})$$

$$F_{cr} \text{ la tensión crítica de pandeo } F_{cr} = F_y (S_{eff}/S), \text{ en MPa.} \quad (\text{F.7.15})$$

S_{eff} el módulo resistente elástico de la **sección efectiva** relativo al eje de flexión. La sección efectiva se determinará con el ancho efectivo reducido b_e del ala comprimida calculado según lo especificado en la Sección **E.7.2**. [expresión **(E.7.17)**] con $f = F_y$, en cm^3

F.7.4. Estado límite de pandeo local del alma

La **resistencia nominal a flexión**, M_n (kNm), se determinará por medio de las siguientes expresiones:

Para almas compactas y no compactas ($\lambda_w \leq \lambda_{rw}$):

$$M_n = M_p - (M_p - M_r) \left(\frac{\lambda_w - \lambda_{pw}}{\lambda_{rw} - \lambda_w} \right) \leq M_p \quad (\text{F.7.16})$$

siendo:

M_p el momento plástico de la sección transversal relativo al eje de flexión, en kNm.

λ_w la esbeltez del alma (h/t_w).

λ_{pw} la esbeltez límite para **ala compacta** (Tabla **B.4.1b** : caso **21**).

λ_{rw} la esbeltez límite para **ala no compacta** (Tabla **B.4.1b** , caso **21**).

h_w la altura del alma según se define en la Sección **B.4.1(b)**, en cm.

t_w el espesor del alma, en cm.

$$M_r = F_y S (10)^{-3}, \text{ en kNm.} \quad (\text{F.7.17})$$

S el módulo resistente elástico de la sección transversal relativo al eje de flexión, en cm^3 .

F.8. PERFILES TUBULARES SIN COSTURA DE SECCIÓN CIRCULAR

Las especificaciones de esta Sección son aplicables a miembros tubulares de sección circular con una relación $D/t < (0,45 E/F_y)$.

La **resistencia nominal a flexión**, M_n (kNm), será el menor valor obtenido para los estados límite de **plastificación** (momento plástico) y **pandeo local**.

F.8.1. Estado límite de plastificación (momento plástico)

$$M_n = M_p = F_y Z (10)^{-3} \quad (\text{F.8.1})$$

siendo:

Z el módulo plástico de la sección transversal, en cm^3 .

F.8.2. Estado límite de pandeo local

(1) Para secciones compactas ($\lambda \leq \lambda_p$) el estado límite de pandeo local no es aplicable.

(2) Para secciones no compactas ($\lambda_p < \lambda \leq \lambda_r$):

$$M_n = \left[\frac{0,021E}{\left(\frac{D}{t}\right)} + F_y \right] S (10)^{-3} \quad (\text{F.8.2})$$

(3) Para secciones esbeltas ($\lambda > \lambda_r$)

$$M_n = \left[\frac{0,33E}{\left(\frac{D}{t}\right)} \right] S (10)^{-3} \quad (\text{F.8.3})$$

siendo:

$$\lambda = (D / t)$$

λ_p la esbeltez límite para **sección compacta** (Tabla **B.4.1b** : caso **23**).

λ_r la esbeltez límite para **sección no compacta** (Tabla **B.4.1b** , caso **23**).

D el diámetro exterior del tubo, en cm.

t el espesor de la pared del tubo, en cm.

S el módulo resistente elástico de la sección circular, en cm^3 .

F.9. SECCIONES TE Y ÁNGULOS DOBLES EN UNIÓN CONTINUA, CARGADAS EN EL PLANO DE SIMETRÍA

Las especificaciones de esta Sección se aplican a miembros con secciones Te y secciones doble ángulo en contacto continuo, cargadas en el plano de simetría.

La **resistencia nominal a flexión, M_n (kNm)**, será el menor valor obtenido para los estados límites de **plastificación** (momento plástico), **pandeo lateral-torsional**, **pandeo local del ala** y **pandeo local del alma en secciones Te**.

F.9.1. Estado límite de plastificación

$$M_n = M_p \quad (\text{F.9.1})$$

siendo:

(1) Para almas traccionadas

$$M_n = F_y Z_x (10)^{-3} \leq 1,5 M_y \quad (\text{F.9.2})$$

(2) Para almas comprimidas

$$M_n = F_y Z_x (10)^{-3} \leq 1,0 M_y \quad (\text{F.9.3})$$

F.9.2. Estado límite de pandeo lateral-torsional

$$M_n = M_{cr} = \frac{(10^{-3}) \pi \sqrt{E I_y G J}}{L_b} \left[B + \sqrt{1 + B^2} \right] \quad (\text{F.9.4})$$

siendo:

$M_n \leq 1,5 M_y$ para almas traccionadas por la flexión.

$M_n \leq 1,0 M_y$ para almas comprimidas por la flexión.

$$B = \pm 2,3 \left(\frac{d}{L_b} \right) \sqrt{I_y / J} \quad (\text{F.9.5})$$

d la altura de la sección, en cm.

El signo positivo de B se aplica cuando el alma está traccionada, y el signo negativo cuando el alma está comprimida. Si el borde libre del alma está comprimido en alguna sección de la viga a lo largo de la longitud no arriostrada se deberá usar signo negativo para B .

F.9.3. Estado límite de pandeo local para alas de sección Te comprimidas

(a) Para secciones Te con alas comprimidas compactas para flexión, el estado límite de pandeo local de ala no es aplicable.

(b) Para secciones Te con alas comprimidas no compactas para flexión:

$$M_n = \left[M_p - (M_p - 0,7 F_y S_{xc} 10^{-3}) \left(\frac{\lambda_f - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}} \right) \right] \leq 1,5 M_y \quad (\text{F.9.6})$$

(c) Para secciones Te con alas comprimidas esbeltas para flexión:

$$M_n = \frac{0,7 E S_{xc}}{\left(\frac{b_f}{2 t_f} \right)} (10)^{-3} \quad (\text{F.9.7})$$

siendo:

λ_f la esbeltez del ala = $(b_f/2 t_f)$.

λ_{pf} la esbeltez límite para **ala compacta** (Tabla **B.4.1b** : caso **11**).

λ_{rf} la esbeltez límite para **ala no compacta** (Tabla **B.4.1b** , caso **11**).

b_f el ancho total del ala de la Te, en cm.

t_f el espesor del ala, en cm.

S_{xc} el módulo resistente elástico de la sección referido al ala comprimida, en cm^3 .

Para **ángulos dobles** con las alas comprimidas el momento nominal M_n (kNm) para el estado límite de pandeo local del ala será determinado con las especificaciones de la Sección **F.10.3** con el ancho del ala del ángulo y el límite superior dado por la expresión **(F.10.1)**.

F.9.4. Estado límite de pandeo local del alma de sección Te comprimida por flexión

$$M_n = F_{cr} S_x (10)^{-3} \quad (\text{F.9.8})$$

siendo:

S_x el módulo resistente elástico referido al extremo comprimido del alma, en cm^3 .

F_{cr} la tensión crítica de pandeo local del alma, en MPa.

(a) Cuando $\frac{d}{t_w} \leq 0,84 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$

$$F_{cr} = F_y \quad (\text{F.9.9})$$

(b) Cuando $0,84 \sqrt{\frac{E}{F_y}} < \frac{d}{t_w} \leq 1,03 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$

$$F_{cr} = \left[2,55 - 1,84 \frac{d}{t_w} \sqrt{\frac{F_y}{E}} \right] F_y \quad (\text{F.9.10})$$

(c) Cuando $\frac{d}{t_w} > 1,03 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$

$$F_{cr} = \frac{0,69 E}{\left(\frac{d}{t_w} \right)^2} \quad (\text{F.9.11})$$

Para **ángulos dobles y secciones Te** con sus alas funcionando como almas comprimidas por flexión alrededor del eje **y**, el momento nominal M_n para el estado límite de pandeo local del alma será determinado con las especificaciones de la Sección **F.10.3.** con el ancho del ala del ángulo y el límite superior dado por la expresión **(F.10.1).**

F.10. MIEMBROS DE ÁNGULO SIMPLE

Las especificaciones de esta Sección se aplican a miembros de ángulo simple con o sin restricción al pandeo lateral-torsional continua a lo largo de su longitud.

Los miembros de ángulo simple **con restricción** al pandeo lateral-torsional **continua** a lo largo de su longitud, **podrán** proyectarse en base a la **flexión alrededor de sus ejes geométricos (x,y).**

Los miembros de ángulo simple **sin restricción** al pandeo lateral-torsional continua a lo largo de su longitud, **deberán** proyectarse en base a la **flexión alrededor de sus ejes principales (w,z)** excepto cuando se permita aplicar las especificaciones para flexión alrededor de sus ejes geométricos.

Si el momento requerido tiene componentes sobre ambos ejes principales, con o sin carga axil, o si el momento requerido es alrededor de uno de los ejes principales y además hay carga axil,

se deberá verificar la relación de tensiones combinadas con las especificaciones de la Sección **H.2**.

Para el proyecto en base a la flexión alrededor de los **ejes geométricos** se usarán las propiedades de la sección respecto de los ejes **x** e **y**, paralelo y perpendicular, respectivamente, al ala del ángulo flexado. Para el proyecto en base a la flexión alrededor de los **ejes principales** se usarán las propiedades de la sección respecto de los ejes **w** y **z**, respectivamente de mayor y de menor inercia.

La resistencia nominal a flexión, M_n (kNm) será el menor valor obtenido para los estados límites de plastificación (momento plástico), **pandeo lateral-torsional** (cuando sea aplicable) **y pandeo local del ala**. Para flexión alrededor del eje débil no es aplicable el estado límite de pandeo lateral-torsional.

F.10.1. Estado límite de plastificación

Para el estado límite de plastificación cuando la punta del ala del ángulo está traccionada: (Figura **F.10.1b**).

$$M_n = 1,50 M_y \quad (\text{F.10.1})$$

siendo:

M_y el momento elástico relativo al eje de flexión, en kNm.
 $= F_y S_t (10^{-3})$

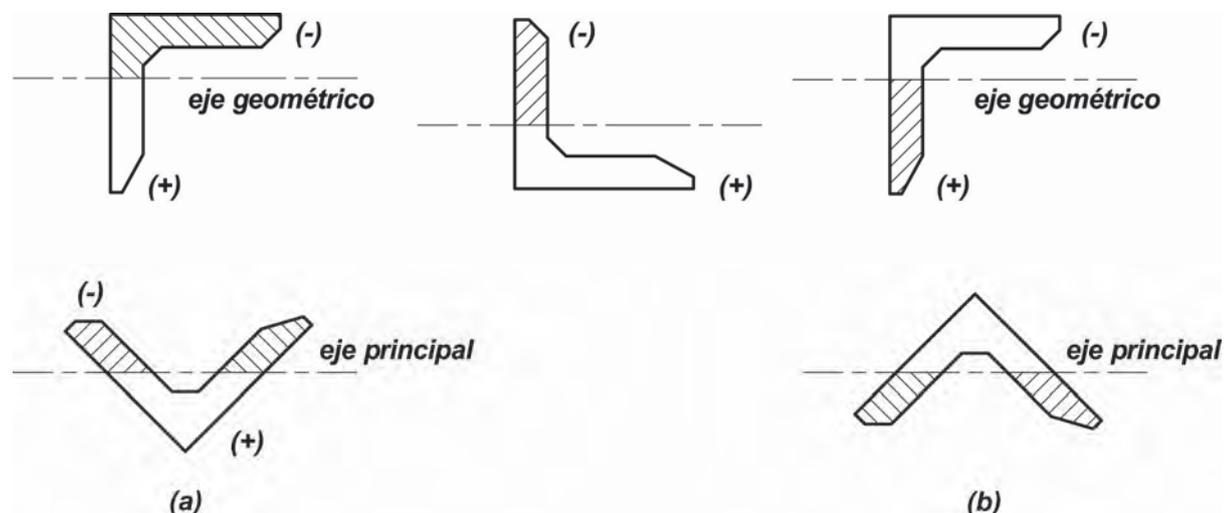


Figura F.10.1. Solicitaciones en punta de ala.

F.10.2. Estado límite de pandeo lateral-torsional

Para el estado límite de pandeo lateral-torsional:

(a) Cuando: $M_{ob} \leq M_y$

$$M_n = \left[0,92 - 0,17 M_{ob} / M_y \right] M_{ob} \quad (\text{F.10.2})$$

(b) Cuando: $M_{ob} > M_y$

$$M_n = \left[1,92 - 1,17 \sqrt{M_y / M_{ob}} \right] M_y \leq 1,50 M_y \quad (\text{F.10.3})$$

siendo:

M_y el momento elástico de la sección relativo al eje de flexión, en kNm.

M_{ob} el momento elástico de pandeo lateral-torsional, en kNm, obtenido de la siguiente manera:

(1) Para flexión de un **ángulo de alas iguales alrededor del eje principal de mayor inercia.**

$$M_{ob} = C_b \frac{0,46 E b^2 t^2 (10)^{-3}}{L_b} \quad (\text{F.10.4})$$

(2) Para flexión de un **ángulo de alas desiguales alrededor del eje principal de mayor inercia.**

$$M_{ob} = 4,9 E (10)^{-3} \frac{I_z}{L_b^2} C_b \left[\sqrt{\beta_w^2 + 0,052 (L_b t / r_z)^2} + \beta_w \right] \quad (\text{F.10.5})$$

siendo:

C_b el factor de modificación calculado con la expresión (F.1.1) con un valor máximo de **1,5**.

L_b la longitud lateralmente no arriostrada del miembro, en cm.

b el ancho total de ala con la punta comprimida, en cm.

t el espesor del ángulo, en cm.

I_z el momento de inercia de la sección con respecto al eje principal de menor inercia, en cm^4 .

r_z el radio de giro de la sección con respecto al eje principal de menor inercia, en cm.

$$\beta_w = \left[\frac{1}{I_w} \int_A z (w + z^2) dA \right] - 2 z_o \quad \text{propiedad especial de la}$$

sección para ángulos de alas desiguales. Es positivo para el ala corta en compresión y negativo para el ala larga en compresión. (Ver en Comentarios de este Capítulo valores de β_w para ángulos de dimensiones comunes). Si el ala larga está en compresión en alguna sección de la longitud de la barra no arriostrada lateralmente se deberá tomar el valor negativo de β_w , en cm.

z_o la coordenada en la dirección del eje z del centro de corte con respecto al centro de gravedad de la sección, en cm.

I_w el momento de inercia de la sección con respecto al eje principal de mayor inercia, en cm^4 .

(3) Para flexión alrededor de uno de los **ejes geométricos** para un ángulo de **alas iguales sin compresión axial**:

(3.a) sin arriostramiento lateral-torsional

- Cuando la máxima compresión está en la punta del ala del ángulo

$$M_{ob} = \frac{0,66 E b^4 t C_b (10)^{-3}}{L_b^2} \left[\sqrt{1 + 0,78 (L_b t / b^2)^2} - 1 \right] \quad (\text{F.10.6a})$$

- Cuando la máxima tracción está en la punta del ala del ángulo

$$M_{ob} = \frac{0,66 E b^4 t C_b (10)^{-3}}{L_b^2} \left[\sqrt{1 + 0,78 (L_b t / b^2)^2} + 1 \right] \quad (\text{F.10.6b})$$

En este caso M_y en las expresiones (F.10.2) y (F.10.3) deberá tomarse como el 80% del momento elástico calculado con el módulo resistente elástico de la sección con respecto al eje geométrico.

(3.b) Para flexión alrededor de un eje geométrico de un ángulo de alas iguales con arriostramiento para pandeo lateral-torsional sólo en el punto de máximo momento:

- M_{ob} se tomará como **1,25 veces** el valor de M_{ob} calculado con las expresiones (F.10.6a) o (F.10.6b) según corresponda.
- M_y se tomará como el momento elástico calculado usando el módulo resistente elástico de la sección.

F.10.3. Estado límite de pandeo local del ala

Para el estado límite de pandeo local, cuando la punta del ala del ángulo está comprimida: (Figura F.10.1a):

$$\text{Cuando: } \frac{b}{t} \leq 0,54 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$M_n = 1,50 F_y S_c (10^{-3}) \quad (\text{F.10.7})$$

$$\text{Cuando: } 0,54 \sqrt{\frac{E}{F_y}} < \frac{b}{t} \leq 0,91 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$M_n = F_y S_c (10^{-3}) \left[1,50 - 0,93 \left(\frac{b/t}{0,54 \sqrt{E/F_y}} - 1 \right) \right] \quad (\text{F.10.8})$$

$$\text{Cuando: } \frac{b}{t} > 0,91 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$M_n = 1,34 Q_s F_y S_c (10^{-3}) \quad (\text{F.10.9})$$

siendo:

M_n la resistencia nominal a flexión, en kNm.

b el ancho total del ala del ángulo con la punta comprimida, en cm.

t el espesor del ala del ángulo con la punta comprimida, en cm.

F_y la tensión de fluencia mínima especificada, en MPa.

Q_s el factor de reducción para ángulos simples dado en Capítulo E, Sección E.7.1..

S_c el módulo resistente elástico de la sección relativo al eje de flexión y correspondiente a la punta comprimida, en cm^3 .

Para flexión de un ángulo de alas iguales alrededor de un eje geométrico sin arriostamiento para pandeo lateral-torsional, S_c se tomará como **0,80** del módulo resistente elástico de la sección respecto del eje geométrico.

F.11. BARRAS MACIZAS DE SECCIÓN RECTANGULAR Y CIRCULAR

Las especificaciones de esta Sección son aplicables a barras macizas de sección rectangular y circular flexadas alrededor de cualquiera de sus ejes geométricos.

La resistencia nominal a flexión, M_n (kNm), será el menor valor obtenido para los estados límite de plastificación (momento plástico) y de pandeo lateral-torsional.

F.11.1. Estado límite de plastificación

Para:

- barras macizas rectangulares con $\frac{L_b d}{t^2} \leq \frac{0,08 E}{F_y}$ flexadas alrededor de su eje fuerte.
- barras macizas rectangulares flexadas alrededor de su eje débil.
- barras macizas circulares:

$$M_n = M_p = F_y Z (10)^{-3} \leq 1,5 M_y \quad (\text{F.11.1})$$

F.11.2. Estado límite de pandeo lateral-torsional

- (a) barras macizas rectangulares con $\frac{0,08 E}{F_y} < \frac{L_b d}{t^2} \leq \frac{1,9 E}{F_y}$ flexadas alrededor de su eje fuerte

$$M_n = C_b \left[1,52 - 0,274 \left(\frac{L_b d}{t^2} \right) \frac{F_y}{E} \right] M_y \leq M_p \leq 1,5 M_y \quad (\text{F.11.2})$$

- (b) barras macizas rectangulares con $\frac{L_b d}{t^2} > \frac{1,9 E}{F_y}$ flexadas alrededor de su eje fuerte

$$M_n = F_{cr} S_x (10)^{-3} \leq M_p \leq 1,5 M_y \quad (\text{F.11.3})$$

con:

$$F_{cr} = \frac{1,9 E C_b}{(L_b d) / t^2} \quad (\text{F.11.4})$$

siendo:

L_b la longitud entre puntos arriostrados contra desplazamiento lateral de la zona comprimida, o entre puntos arriostrados para prevenir el giro de la sección, en cm.

d la altura de la barra rectangular (perpendicular al eje de flexión), en cm.

t el ancho de la barra rectangular (paralelo al eje de flexión), en cm.

M_p el momento plástico de la sección, en kNm.

M_y el momento elástico de la sección, en kNm.

S_x el módulo resistente elástico de la sección respecto del eje fuerte, en cm^3 .

(c) Para barras rectangulares flexadas alrededor del eje débil y para barras macizas de sección circular, no es aplicable el estado límite de pandeo lateral-torsional.

F.12. MIEMBROS CON SECCIONES ASIMÉTRICAS

Las especificaciones de esta Sección se aplican a todos los miembros con secciones asimétricas excepto miembros de ángulo simple.

La resistencia nominal a flexión, M_n (kNm), será el menor valor obtenido para los estados límite de fluencia (momento elástico), **de pandeo lateral-torsional y de pandeo local** siendo:

$$M_n = F_n S_{\min} (10)^{-3} \quad (\text{F.12.1})$$

siendo:

S_{\min} el menor módulo resistente elástico de la sección respecto del eje de flexión, en cm^3 .

F_n la tensión nominal para cada estado límite, en MPa.

F.12.1. Estado límite de fluencia

$$F_n = F_y \quad (\text{F.12.2})$$

F.12.2. Estado límite de pandeo lateral-torsional

$$F_n = F_{cr} \leq F_y \quad (\text{F.12.3})$$

siendo:

F_{cr} la tensión crítica de pandeo lateral-torsional de la sección, determinada mediante análisis, en MPa.

Para secciones **Z** se tomará F_{cr} **igual al 50%** de la tensión crítica F_{cr} correspondiente a una sección canal con las mismas propiedades de ala y alma.

F.12.3. Estado límite de pandeo local

$$F_n = F_{cr} \leq F_y \quad (\text{F.12.4})$$

siendo:

F_{cr} la tensión crítica de pandeo local de la sección, determinada mediante análisis, en MPa.

F.13. REQUISITOS DIMENSIONALES PARA VIGAS Y VIGAS ARMADAS

F.13.1. Reducciones en la resistencia de miembros con agujeros en las alas traccionadas

Las especificaciones de esta Sección se aplican a vigas laminadas, vigas armadas, vigas armadas de alma esbelta y vigas con platabandas, que presenten agujeros en sus alas traccionadas y sean dimensionadas en base a la resistencia flexional de la sección bruta.

Además de los estados límite especificados en otras Secciones de este Capítulo, la resistencia nominal a flexión quedará **limitada** por el **estado límite de rotura del ala traccionada**.

(a) Cuando $F_u A_{fn} \geq Y_t F_y A_{fg}$ **no es aplicable**, el estado límite de rotura del ala traccionada.

(b) Cuando $F_u A_{fn} < Y_t F_y A_{fg}$, la **resistencia nominal a flexión, M_n (kNm), en la sección de los agujeros** del ala traccionada se tomará:

$$M_n \leq \frac{F_u A_{fn}}{A_{fg}} S_x (10)^{-3} \quad (\text{F.13.1})$$

siendo:

A_{fg} el área bruta del ala traccionada calculada con las especificaciones de la Sección **D.3.1.**, en cm^2 .

A_{fn} el área neta del ala traccionada calculada con las especificaciones de la Sección **D.3.2.**, en cm^2 .

$Y_t = 1,0$ para $(F_y / F_u) \leq 0,8$
 $= 1,1$ para los otros casos.

F_y la tensión de fluencia mínima especificada del acero del ala traccionada, en MPa.

F_u la tensión de rotura a tracción del acero del ala traccionada, en MPa.

F.13.2. Valores límites de las dimensiones de miembros de sección doble Te

- Los miembros de sección **doble Te de simple simetría** deben satisfacer el límite siguiente:

$$0,1 \leq \frac{I_{yc}}{I_y} \leq 0,9 \quad (\text{F.13.2})$$

siendo:

I_{yc} el momento de inercia del ala comprimida respecto del eje de simetría **y**, en cm^4 .

I_y el momento de inercia de la sección total respecto del eje de simetría **y**, en cm^4 .

- Los miembros armados de sección **dobles Te con alma esbelta** (homogéneas o híbridas) deben satisfacer los límites siguientes:

(a) Para $a/h \leq 1,5$

$$\frac{h}{t_w} \leq 11,7 \sqrt{\frac{E}{F_{yf}}} \quad (\text{F.13.3})$$

(b) Para $a/h > 1,5$

$$\frac{h}{t_w} \leq \frac{0,48 E}{\sqrt{F_{yf} (F_{yf} + 114)}} \quad (\text{F.13.4})$$

siendo:

- a** la distancia libre entre rigidizadores transversales, en cm.
- h** para secciones laminadas: **distancia libre entre alas menos los radios de acuerdo entre el alma y cada ala**; para secciones armadas con pasadores: **distancia entre líneas adyacentes de bulones**; para secciones armadas soldadas: **distancia libre entre alas**, en cm.
- t_w** el espesor del alma, en cm.
- F_{yf}** la tensión de fluencia mínima especificada del acero del ala, en MPa.

En vigas armadas con almas no rigidizadas h/t_w deberá ser menor o igual a **260**. La relación entre el área del alma y el área del ala comprimida debe ser menor o igual a **10**.

F.13.3. Chapas y platabandas adicionales a las alas

Las alas de vigas armadas soldadas pueden variar su ancho o espesor, ya sea por el empalme de chapas o por el uso de platabandas.

El área total de las platabandas no superará el **70 %** del área total del ala, en vigas y vigas armadas abulonadas.

Los bulones de alta resistencia o cordones de soldadura que vinculan el alma con el ala, o el ala con las platabandas, deberán ser dimensionados para resistir los esfuerzos tangenciales resultantes de la flexión de la viga. Su distribución longitudinal será función de la intensidad y variación de las tensiones tangenciales. No obstante dicha separación longitudinal no excederá los máximos permitidos para barras comprimidas o traccionadas especificados en las Secciones **E.6.** y **D.4.** respectivamente. Los bulones o cordones de soldadura que unan ala y alma serán también dimensionados para transmitir al alma cualquier carga aplicada directamente al ala, excepto que se tomen los recaudos para transmitir dichas cargas por apoyo directo en el alma.

Platabandas que no tengan la longitud total de la barra, deberán extenderse más allá del punto teórico necesario y el tramo excedente se unirá a la viga laminada o viga armada con bulones de alta resistencia con uniones del tipo de deslizamiento crítico o cordones de soldadura. La

unión debe ser dimensionada para tener la resistencia de diseño aplicable según las Secciones **J.2.2.**, **J.3.8.**, o **B.3.9.**, y de manera que se desarrolle en el punto final teórico, la parte de la resistencia de diseño a flexión de la viga o viga armada correspondiente a la platabanda.

Para platabandas soldadas, la unión soldada que une el tramo final de la platabanda a la viga laminada o viga armada deberá tener cordones continuos de longitud a' (definida mas adelante) a lo largo de ambos bordes de la platabanda y dimensionados según corresponda para tener la resistencia de diseño necesaria para desarrollar a la distancia a' del extremo de la platabanda, la parte correspondiente a la platabanda de la resistencia de diseño de la viga armada. (ver la Figura **F.13.1.**).

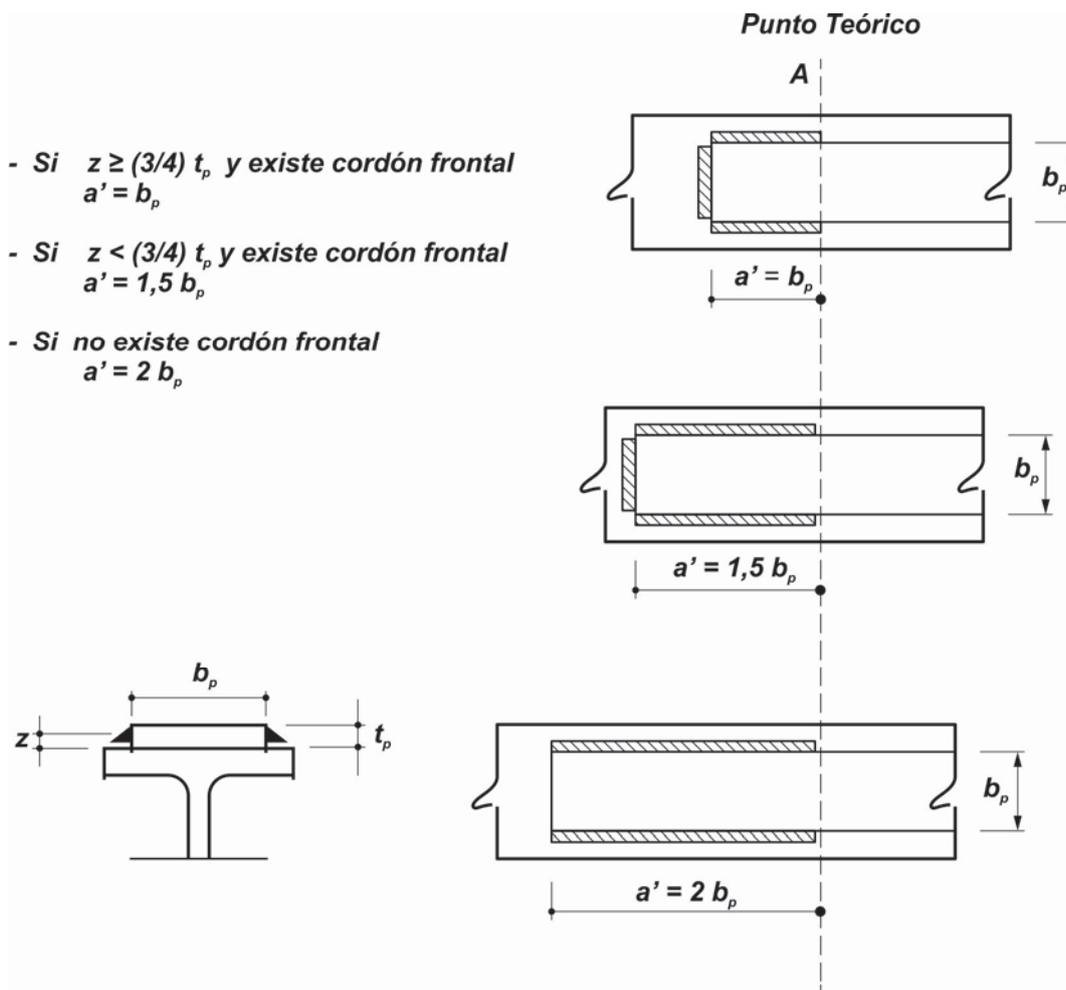


Figura F.13.1. Determinación de a' .

(a) Cuando en el extremo de la platabanda existe un cordón de soldadura transversal continuo de lado z mayor o igual que $3/4$ del espesor t_p de la platabanda:

$$a' = b_p \quad \text{(F.13.5)}$$

siendo:

b_p el ancho de la platabanda, en cm.

- (b) Cuando en el extremo de la platabanda existe un cordón de soldadura transversal continuo de lado z menor que $3/4$ del espesor t_p de la platabanda:

$$a' = 1,5 b_p \quad (\text{F.13.6})$$

- (c) Cuando en el extremo de la platabanda no existe cordón transversal:

$$a' = 2 b_p \quad (\text{F.13.7})$$

F.13.4. Vigas de miembros apareados

Cuando dos o más miembros (perfiles doble Te, canales o vigas armadas) son apareados para formar un solo miembro flexado, ellos deberán unirse de manera que los mismos trabajen en conjunto. Cuando existen cargas concentradas que son llevadas de un miembro a otro o distribuidas entre ellos, deberán soldarse o abulonarse diafragmas con la suficiente rigidez y resistencia para distribuir la carga entre los miembros.

F.13.5. Longitud lateralmente no arriostrada para redistribución de momentos

Cuando se realice la redistribución de momentos en vigas según las especificaciones de la Sección **B.3.5.**, la longitud lateralmente no arriostrada del ala comprimida L_b , adyacente a la sección del momento redistribuido, deberá ser **menor o igual a L_{pd} (cm)**, siendo:

- (a) Para miembros con secciones doble Te de doble y simple simetría, con el ala comprimida de área igual o mayor que el área del ala traccionada (incluyendo secciones híbridas), y cargados en el plano del alma:

$$L_{pd} = \left[0,12 + 0,076 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) \right] \left(\frac{E}{F_y} \right) r_y \quad (\text{F.13.8})$$

- (b) Para miembros de sección rectangular maciza y de sección cajón simétrica:

$$L_{pd} = \left[0,17 + 0,10 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) \right] \left(\frac{E}{F_y} \right) r_y \geq 0,10 \left(\frac{E}{F_y} \right) r_y \quad (\text{F.13.9})$$

siendo:

F_y la tensión de fluencia mínima especificada para el acero del ala comprimida, en MPa.

M_1 el menor momento flexor en valor absoluto en un extremo del segmento no arriostrado considerado, en kNm.

M_2 el mayor momento flexor en valor absoluto en un extremo del segmento no arriostrado considerado, en kNm.

r_y el radio de giro de la sección con respecto al eje principal de menor inercia, en cm.

M_1/M_2 se tomará positivo cuando los momentos producen doble curvatura y negativo cuando producen simple curvatura.

No hay límite para L_b para miembros con secciones transversales cuadradas o circulares. Tampoco hay límite para L_b en vigas de cualquier sección transversal flexadas alrededor del eje principal de menor momento de inercia.

CAPÍTULO G. PROYECTO DE MIEMBROS SOMETIDOS A CORTE

Las especificaciones de este Capítulo son aplicables al proyecto de **almas de miembros de doble y simple simetría incluyendo vigas híbridas, de ángulos simples y de tubos de sección circular sin costura, solicitados a corte en el plano del alma por flexión alrededor del eje fuerte. También se aplican a perfiles de doble y simple simetría solicitados a corte por flexión alrededor del eje débil.**

Su contenido está organizado de la siguiente manera:

- G.1.** Especificaciones generales
- G.2.** Miembros con almas no rigidizadas y con almas rigidizadas
- G.3.** Resistencia al corte con acción del campo a tracción
- G.4.** Ángulos simples
- G.5.** Tubos de sección circular sin costura
- G.6.** Corte por flexión alrededor del eje débil de secciones de doble y simple simetría
- G.7.** Interacción entre flexión y corte
- G.8.** Vigas con aberturas en el alma.

- Para corte en secciones asimétricas ver la Sección **H.3.3.**
- Para la resistencia de diseño al corte de elementos afectados del miembro y elementos auxiliares de una unión ver la Sección **J.4.2.**
- Para solicitaciones de corte en paneles nodales ver la Sección **J.10.6.**
- para resistencia de diseño al corte de **tubos circulares con costura (CHS)** y **tubos RHS** (rectangulares y cuadrados) ver el **Reglamento CIRSOC 302-2005** y sus versiones posteriores.
- Para miembros con alma de altura variable sometidos a corte ver la **Recomendación CIRSOC 301-1.**

G.1. ESPECIFICACIONES GENERALES

Se presentan **dos métodos** para determinar la resistencia nominal a corte, V_n , para miembros de doble y simple simetría (incluyendo vigas híbridas) y canales solicitados a corte en el plano del alma por flexión alrededor del eje fuerte:

- (a) El especificado en la Sección **G.2.** que no utiliza la resistencia pospandeo del miembro (acción del campo a tracción).
- (b) El especificado en la Sección **G.3.** que utiliza la acción del campo a tracción.

Para cualquier miembro la **resistencia de diseño a corte, V_d** (kN), será:

$$V_d = \phi_v V_n \tag{G.1.1}$$

siendo:

V_n la resistencia nominal a corte determinada con las Secciones **G.2.**, **G.3.**, **G.4.**, **G.5.**, o **G.6.**, según corresponda, en kN.

ϕ_v el factor de resistencia = **0,9**.

G.2. MIEMBROS CON ALMAS NO RIGIDIZADAS Y CON ALMAS RIGIDIZADAS

G.2.1. Resistencia nominal al corte

Las especificaciones de esta Sección se aplican a miembros de doble y simple simetría (incluyendo vigas híbridas) y canales solicitados a corte en el plano del alma por flexión alrededor del eje fuerte.

La **resistencia nominal al corte**, V_n (kN), de almas no rigidizadas y rigidizadas para el estado límite de fluencia por corte y pandeo por corte será:

$$V_n = 0,6 F_{yw} A_w C_v (10)^{-1} \quad (\text{G.2.1})$$

siendo:

F_{yw} la tensión de fluencia especificada del acero del alma, en MPa.

A_w el área del alma = $d t_w$, en cm^2 .
(para **secciones cajón** suma de las áreas de las almas). (G.2.2)

d - para **secciones laminadas** = altura total del perfil, en cm.
- para **secciones armadas** = altura del alma, en cm.

t_w el espesor del alma, en cm.

C_v el coeficiente de corte (relación entre la **tensión crítica del alma** según la teoría de pandeo y la tensión de fluencia del acero del alma.

(a) Para almas de todos las secciones laminadas o armadas de doble o simple simetría y canales excepto tubos circulares.

a.1. cuando $(h/t_w) \leq 1,10 \sqrt{k_v E / F_{yw}}$

$$C_v = 1,0 \quad (\text{G.2.3})$$

a.2. cuando $1,10 \sqrt{k_v E / F_{yw}} < (h/t_w) \leq 1,37 \sqrt{k_v E / F_{yw}}$

$$C_v = \frac{1,10 \sqrt{k_v E / F_{yw}}}{(h/t_w)} \quad (\text{G.2.4})$$

a.3. cuando $(h/t_w) > 1,37 \sqrt{k_v E / F_{yw}}$

$$C_v = \frac{1,51 E k_v}{(h/t_w)^2 F_{yw}} \quad (\text{G.2.5})$$

siendo:

- h** - para **secciones laminadas**: igual a la distancia libre entre alas menos los radios de acuerdo entre ala y alma, en cm.
- para **secciones armadas soldadas**: igual a la distancia libre entre alas, en cm.
- para **secciones armadas abulonadas**: igual a la distancia entre líneas de bulones, en cm.

k_v el coeficiente de abolladura del alma.

- para almas **sin rigidizadores transversales** y con $(h/t_w) \leq 260$, **k_v = 5** excepto **para almas de perfiles Te** donde **k_v = 1,2**.

- para **almas rigidizadas**

$$k_v = 5 + \frac{5}{(a/h)^2} \quad (\text{G.2.6})$$

$$= 5 \text{ cuando } (a/h) > 3,00 \text{ ó } (a/h) > \left[\frac{260}{(h/t_w)} \right]^2$$

a la distancia entre rigidizadores transversales, en cm.

G.2.2. Rigidizadores transversales

Los rigidizadores transversales no son necesarios en vigas armadas:

- cuando $h/t_w \leq 2,45 \sqrt{E / F_{yw}}$,
- ó
- donde $V_u \leq 0,6 \phi_v A_w F_{yw} C_v (10^{-1})$

siendo:

V_u el esfuerzo de corte requerido determinado por análisis estructural cuando actúan las acciones mayoradas, en kN.

C_v el coeficiente de corte según la Sección **G.2.1 (b)** calculado con **k_v = 5**.

$$\phi_v = 0,90$$

Los rigidizadores transversales utilizados para desarrollar la resistencia nominal al corte especificada en la Sección **G.2.1.**, deberán tener un momento de inercia **I_{st}** (cm⁴) tal que:

$$I_{st} \geq a t_w^3 j \quad (\text{G.2.7})$$

$$\text{con: } j = \frac{2,5}{\left(\frac{a}{h}\right)^2} - 2 \geq 0,5 \quad (\text{G.2.8})$$

El momento de inercia I_{st} se determinará con respecto al eje del alma cuando se coloque un par de rigidizadores, y con respecto a la cara del alma en contacto con el rigidizador cuando se coloque sólo uno, (rigidizador simple), (ver la Figura **G.2.1(a)**).

Los rigidizadores intermedios estarán unidos al ala comprimida y podrán terminar a una cierta distancia del ala traccionada, siempre que no sea necesario transmitir a través de ellos cargas concentradas o reacciones de apoyo, en cuyo caso deberán unirse al ala traccionada. La unión soldada que une el rigidizador con el alma deberá terminarse a una distancia h_1 del borde de la unión soldada de ala y alma tal que $4 t_w \leq h_1 \leq 6 t_w$, siendo t_w el espesor del alma. (ver la Figura **G.2.1(b)**).

Cuando se utilicen rigidizadores simples se deberán unir al ala comprimida si ésta es una placa rectangular, a fin de resistir alguna tendencia del ala a elevarse por efecto de torsión.

Cuando una barra de arriostramiento lateral esté unida a un rigidizador o a un par de rigidizadores, éstos deberán unirse al ala comprimida y la unión deberá transmitir el **1%** de la fuerza total de compresión del ala.

El espaciamiento máximo de los bulones que unen un rigidizador al alma de una viga armada será de **30 cm**.

Si la unión del rigidizador al alma se realiza con soldadura de filete discontinua, la distancia libre entre filetes será menor o igual a **16** veces el espesor del alma ó **25 cm**.

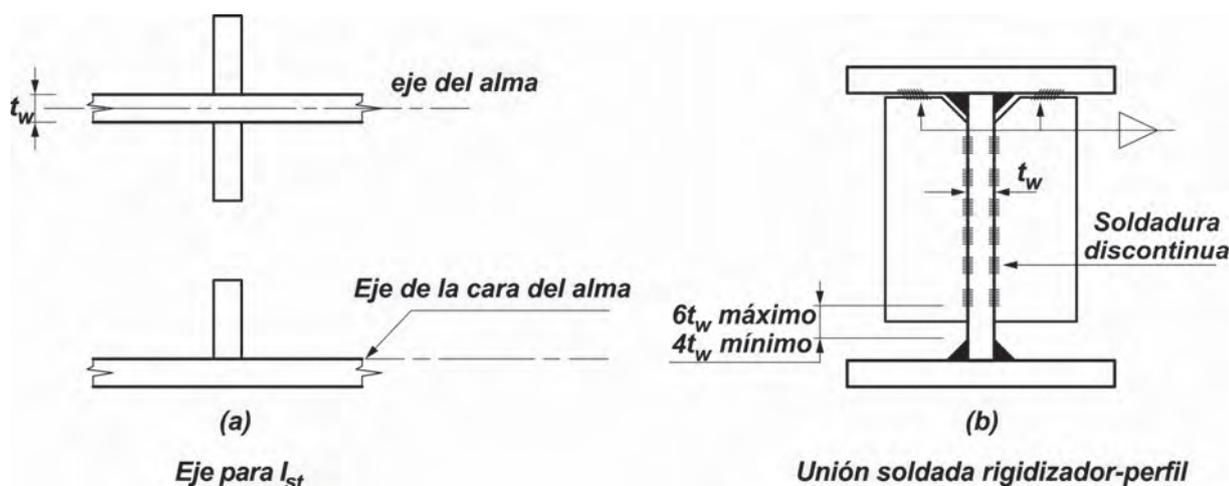


Figura G.2.1. Determinación del momento de inercia I_{st} rigidizadores.

G.3. RESISTENCIA AL CORTE CON ACCIÓN DEL CAMPO A TRACCIÓN

G.3.1. Limitaciones para el uso de la acción del campo a tracción

Se permite utilizar la acción del campo a tracción en **miembros de sección doble T** cuando **el alma está apoyada en sus cuatro lados** en las alas y rigidizadores transversales.

No se permite utilizar la acción del campo a tracción en los casos siguientes:

- Para **paneles extremos en vigas armadas homogéneas** con rigidizadores transversales
- Para **todos los paneles en vigas armadas híbridas**
- cuando $a/h > 3$ ó $a/h > \left[\frac{260}{(h/t_w)} \right]^2$
- Cuando $2A_w / (A_{fc} + A_{ft}) > 2,5$
- Cuando $(h/b_{fc}) > 6$ o $(h/b_{ft}) > 6$

siendo:

A_{fc} el área del ala comprimida, en cm^2 .

A_{ft} el área del ala traccionada, en cm^2 .

b_{fc} el ancho del ala comprimida, en cm.

b_{ft} el ancho del ala traccionada, en cm.

En los casos citados, la **resistencia nominal al corte** será determinada con las especificaciones de la Sección **G.2.**

G.3.2. Resistencia nominal al corte con acción del campo a tracción

Cuando se permite utilizar la acción del campo a tracción según se especifica en la Sección **G.3.1.**, la resistencia nominal al corte, V_n (kN), para el estado límite de fluencia será:

$$(a) \text{ Para } \frac{h}{t_w} \leq 1,10 \sqrt{\frac{k_v E}{F_{yw}}} \quad V_n = 0,6 A_w F_{yw} (10)^{-1} \quad (\text{G.3.1})$$

(b) Para $\frac{h}{t_w} > 1,10 \sqrt{\frac{k_v E}{F_{yw}}}$

$$V_n = 0,6 A_w F_{yw} \left(C_v + \frac{1 - C_v}{1,15 \sqrt{1 + (a/h)^2}} \right) (10^{-1}) \quad (\text{G.3.2})$$

siendo:

A_w el área del alma, en cm².

F_{yw} la tensión de fluencia del acero del alma, en MPa.

C_v el coeficiente de corte determinado según la Sección **G.2.1.**

k_v el coeficiente de abolladura de placa según la Sección **G.2.1.**

G.3.3. Rigidizadores transversales

Los rigidizadores transversales necesarios para desarrollar la **acción del campo a tracción** deberán cumplir las especificaciones de la Sección **G.2.2.** y además las siguientes limitaciones:

$$(1) \quad (b/t)_{st} \leq 0,56 \sqrt{\frac{E}{F_{yst}}} \quad (\text{G.3.3})$$

$$(2) \quad I_{st} \geq I_{st1} + (I_{st2} - I_{st1}) \left[\frac{V_u - V_{d1}}{V_{d2} - V_{d1}} \right] \quad (\text{G.3.4})$$

siendo:

$(b/t)_{st}$ la relación ancho-espesor del rigidizador.

F_{yst} la tensión de fluencia especificada del acero del rigidizador, en MPa.

I_{st} el momento de inercia del rigidizador con respecto al eje del alma si se coloca un par de rigidizadores, y con respecto a la cara del alma en contacto con el rigidizador si se coloca sólo uno. (rigidizador simple), en cm⁴.

I_{st1} el mínimo momento de inercia del rigidizador transversal requerido para desarrollar la resistencia al pandeo por corte del alma determinado en la Sección **G.2.2.**, en cm⁴.

I_{st2} el mínimo momento de inercia del rigidizador transversal requerido para desarrollar la resistencia total al corte: suma de la resistencia al pandeo por corte mas la resistencia por acción del campo a tracción, en cm⁴.

$$= \frac{h^4 \rho_{st}^{1,3}}{40} \left(\frac{F_{yw}}{E} \right)^{1,5} \quad (\text{G.3.5})$$

- V_u la mayor resistencia requerida a corte en un panel adyacente al rigidizador, resultante de las acciones mayoradas, en kN.
- V_{d1} la menor de las resistencias de diseño a corte de un panel adyacente al rigidizador con V_n determinada por las especificaciones de la Sección **G.2.1.**, en kN.
- V_{d2} la menor de las resistencias de diseño a corte de un panel adyacente al rigidizador con V_n determinada por las especificaciones de la Sección **G.3.2.** en kN.
- ρ_{st} el mayor valor entre (F_{yw}/F_{yst}) y **1,0**.
- F_{yw} la tensión de fluencia especificada del acero del alma, en MPa.

Los rigidizadores transversales cuando se utiliza la acción del campo a tracción **deberán estar unidos a ambas alas.**

G.4. ÁNGULOS SIMPLES

La resistencia nominal al corte, V_n , de un ala de un ángulo simple será determinada con la expresión **(G.2.1)** y las especificaciones de la Sección **G.2.1(a)** con $A_w = b t$.

siendo:

- b el ancho del ala que resiste la fuerza de corte, en cm.
- t el espesor del ala, en cm.
- $h/t_w = b/t$
- $k_v = 1,2$

G.5. TUBOS DE SECCIÓN CIRCULAR SIN COSTURA

La **resistencia nominal al corte**, V_n , de **tubos circulares sin costura** será determinada con los estados límite de fluencia por corte y pandeo por corte, con la siguiente expresión:

$$V_n = F_{cr} (A_g/2) (10)^{-1} \quad (\text{G.5.1})$$

siendo F_{cr} el mayor valor entre:

$$F_{cr} = \frac{1,60 E}{\sqrt{\frac{L_v}{D} \left(\frac{D}{t}\right)^4}} \quad (\text{G.5.2a})$$

$$F_{cr} = \frac{0,78 E}{\left(\frac{D}{t}\right)^2} \quad (\text{G.5.2b})$$

pero se deberá verificar que $F_{cr} \leq 0,6 F_y$.

siendo :

- A_g el área bruta de la sección del tubo, en cm^2 .
- D el diámetro exterior del tubo, en cm.
- L_v la distancia entre la sección con esfuerzo de corte máximo y la sección con esfuerzo de corte nulo, en cm.
- t el espesor de la pared del tubo, en cm.

G.6. CORTE POR FLEXIÓN ALREDEDOR DEL EJE DÉBIL DE SECCIONES DE DOBLE Y SIMPLE SIMETRÍA

- Para secciones con doble y simple simetría, excepto secciones cajón, flexadas alrededor del eje débil y sin torsión, la **resistencia nominal al corte**, V_n , para cada elemento de la sección resistente al corte será determinada con la expresión **(G.2.1)** y con las especificaciones de la Sección **G.2.1(a)**, con:

$$A_w = b_f t_f \quad (h/t_w) = b/t_f \quad k_v = 1,2$$

siendo:

- b - para alas de secciones **doble Te** igual a la mitad de la longitud total del ala, en cm.
 - para alas de **canales** igual a la dimensión nominal total del ala, en cm.
 - t_f el espesor del ala, en cm.
- Para secciones cajón rectangulares y cuadradas flexadas alrededor del eje débil y sin torsión, la resistencia nominal al corte V_n será determinada con la expresión **(G.2.1)** y con las especificaciones de la Sección **G.2.1(a)**, referidas al eje de flexión.

G.7. INTERACCIÓN ENTRE FLEXIÓN Y CORTE

Cuando se verifique que:

$$0,6 \phi V_n \leq V_u \leq \phi V_n \quad (\phi = 0,90)$$

y

$$0,75 \phi M_n \leq M_u \leq \phi M_n \quad (\phi = 0,90)$$

las vigas armadas con almas proyectadas para desarrollar la acción del campo a tracción **deberán satisfacer el siguiente criterio adicional** de interacción entre flexión y corte:

$$\frac{M_u}{\phi M_n} + 0,625 \frac{V_u}{\phi V_n} \leq 1,375 \quad (\text{G.7.1})$$

siendo:

M_n la resistencia nominal a flexión de la viga armada determinada según el Capítulo **F**, en kNm.

V_n la resistencia nominal a corte determinada según el Capítulo **G**, Sección **G.3.**, en kN.

M_u el momento flector requerido, en kNm.

V_u el esfuerzo de corte requerido, en kN.

$\phi = 0,90$.

G.8. VIGAS CON ABERTURAS EN EL ALMA

Se deberá determinar el efecto en la resistencia de diseño a corte de toda abertura en el alma de una viga de acero. Cuando la resistencia requerida exceda la resistencia de diseño se deberán disponer en la abertura refuerzos adecuados.

CAPÍTULO H. PROYECTO DE MIEMBROS SOMETIDOS A SOLICITACIONES COMBINADAS Y TORSIÓN

Las especificaciones de este Capítulo son aplicables al proyecto de *miembros solicitados a carga axial y a flexión alrededor de uno o de dos ejes, con o sin torsión, y miembros solicitados a torsión pura.*

Su contenido está organizado de la siguiente manera:

- H.1.** Miembros de doble y simple simetría solicitados a flexión y a carga axial
- H.2.** Miembros de sección asimétrica y otros solicitados a flexión y a carga axial
- H.3.** Miembros solicitados a torsión y a combinación de torsión, flexión, corte y/o carga axial
- H.4.** Resistencia a la rotura de alas con agujeros, sometidas a tracción
- H.5.** Barras armadas sometidas a compresión y flexión.

- Para miembros con almas de altura variable, ver la **Recomendación CIRSOC 301-1.**

H.1. MIEMBROS DE DOBLE Y SIMPLE SIMETRÍA SOLICITADOS A FLEXIÓN Y A CARGA AXIL

H.1.1. Miembros de doble y simple simetría solicitados a flexión y a compresión

La interacción de flexión y compresión en miembros de doble simetría y miembros de simple simetría que satisfagan la relación $0,1 \leq (I_{yc} / I_y) \leq 0,9$, y que estén solicitados únicamente a flexión alrededor de uno o de ambos ejes geométricos (x y/o y) deberá satisfacer las expresiones **(H.1.1a)** y **(H.1.1b)**. En esta Sección están incluidas las barras armadas de los **Grupos I, II y III**, siendo:

I_{yc} el momento de inercia del ala comprimida respecto del eje de simetría y , en cm^4 .

I_y el momento de inercia de la sección total respecto del eje de simetría y , en cm^4 .

(a) Para $\frac{P_u}{\phi P_n} \geq 0,2$

$$\frac{P_u}{\phi P_n} + \frac{8}{9} \left[\frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}} \right] \leq 1,0 \quad (\text{H.1.1a})$$

(b) Para $\frac{P_u}{\phi P_n} < 0,2$

$$\frac{P_u}{2 \phi P_n} + \left[\frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}} \right] \leq 1,0 \quad (\text{H.1.1b})$$

siendo:

P_u la resistencia requerida a compresión axil en el miembro determinada con las especificaciones del Capítulo **C**, en kN.

P_n la resistencia nominal a compresión axil determinada de acuerdo con lo especificado en el Capítulo **E**, en kN.

M_u la resistencia requerida a flexión en el miembro, determinada de acuerdo con lo especificado en el Capítulo **C**, en kNm.

M_n la resistencia nominal a flexión determinada de acuerdo con lo especificado en el Capítulo **F**, en kNm.

x el subíndice relativo al eje de flexión correspondiente al eje principal de mayor inercia, (eje fuerte).

y el subíndice relativo al eje de flexión correspondiente al eje principal de menor inercia, (eje débil).

$\phi = \phi_c$ el factor de resistencia para compresión = **0,85** (ver la Sección **E.1**).

ϕ_b el factor de resistencia para flexión = **0,90**.

- Para miembros sometidos a **flexión biaxial** se aplicará la expresión **(H.1.1b)** anulando el término que contiene a la fuerza axil.
- Para la flexión **biaxial de tubos circulares sin costura** que estén lateralmente no arriostrados a lo largo de su longitud y con condiciones de vínculo tales que el factor de longitud efectiva k sea el mismo en cualquier dirección de flexión, se permite considerar para el dimensionado el momento flector resultante en una dirección $M_{ur} = \sqrt{M_{ux}^2 + M_{uy}^2}$.

H.1.2. Miembros de doble y simple simetría solicitados a flexión y a tracción

La interacción de flexión y tracción en miembros de doble simetría y miembros de simple simetría que satisfagan la relación $0,1 \leq (I_{yc} / I_y) \leq 0,9$, y barras armadas de los **Grupos I, II y III**, y que estén solicitados solamente a flexión alrededor de uno o de ambos ejes geométricos (x y/o y) deberá satisfacer las expresiones **(H.1.1a)** y **(H.1.1b)** siendo:

P_u la resistencia requerida a tracción axil en el miembro determinada con las especificaciones del Capítulo **C**, en kN.

P_n la resistencia nominal a tracción axil determinada de acuerdo con lo especificado en el Capítulo **D**, en kN.

- M_u la resistencia requerida a flexión en el miembro, determinada de acuerdo con lo especificado en el Capítulo **C**, en kNm.
- M_n la resistencia nominal a flexión determinada de acuerdo con lo especificado en el Capítulo **F**, en kNm.
- x el subíndice relativo al eje de flexión correspondiente al eje principal de mayor inercia, (eje fuerte).
- y el subíndice relativo al eje de flexión correspondiente al eje principal de menor inercia, (eje débil).
- $\phi = \phi_t$ el factor de resistencia para tracción. Ver la Sección **D.2.**
- ϕ_b el factor de resistencia para flexión = **0,90**.

Se podrá realizar un análisis mas detallado de la interacción entre tracción y flexión en lugar de las expresiones **(H.1.1a)** y **(H.1.1b)**.

H.1.3. Perfiles laminados compactos de doble simetría solicitados a flexión simple y a compresión

Para perfiles laminados compactos de ala ancha de doble simetría con $(kL)_z \leq (kL)_y$ solicitados a flexión y compresión con momento flector fundamentalmente en un plano ($M_{ux} \gg M_y$), se permite considerar en forma **independiente y separada dos estados límite: inestabilidad en el plano y pandeo fuera del plano o pandeo flexo-torsional** en lugar de la **combinación aproximada** especificada en la Sección **H.1.**

- Para miembros con $(M_{uy} / \phi_b M_{ny}) \geq 0,05$ se deben aplicar las especificaciones de la Sección **H.1.1.**
- Para miembros con $(M_{uy} / \phi_b M_{ny}) < 0,05$ o solicitados a flexión simple, se debe aplicar:
 - (a) Para el **estado límite de pandeo en el plano** se utilizarán las expresiones **(H.1.1a)** y **(H.1.1b)** con $(\phi_c P_n)$, M_u y $(\phi_b M_n)$ correspondientes **al plano de flexión**.
 - (b) Para el **estado límite de pandeo fuera del plano** y de **pandeo flexo-torsional**:

$$\frac{P_u}{\phi_c P_{ny}} \left(1,5 - 0,5 \frac{P_u}{\phi_c P_{ny}} \right) + \left(\frac{M_{ux}}{C_b \phi_b M_{nx}} \right)^2 \leq 1,0 \quad (\text{H.1.2})$$

siendo:

P_{ny} la resistencia nominal a compresión axial fuera del plano de flexión, en kN.

M_{nx} la resistencia nominal a flexión para pandeo flexo-torsional por flexión alrededor del eje fuerte, determinada según lo especificado en el Capítulo **F** con $C_b = 1,0$, en kNm.

C_b el factor de modificación para pandeo flexo-torsional, determinado según la Sección **F.1.**

H.2. MIEMBROS DE SECCIÓN ASIMÉTRICA Y OTROS SOLICITADOS A FLEXIÓN Y A CARGA AXIL

Esta Sección cubre la interacción entre tensiones normales por flexión y por fuerza axil para perfiles no incluidos en la Sección **H.1.** Para los perfiles incluidos en la Sección **H.1.** se permite utilizar las especificaciones de esta Sección en lugar de los especificados en ella.

$$\left[\frac{f_{ua}}{F_{da}} + \frac{f_{ubw}}{F_{dw}} + \frac{f_{ubz}}{F_{dz}} \right] \leq 1,0 \quad (\text{H.2.1})$$

siendo:

f_{ua} la tensión normal requerida por carga axil en el punto analizado de la sección transversal, producida por las cargas mayoradas, en MPa.

$F_{da} = \phi F_{cr}$ la resistencia de diseño axil en términos de tensión, determinada con las especificaciones del Capítulo **E** para compresión y de la Sección **D.2.** para tracción, en MPa.

f_{ubw}, f_{ubz} la tensión normal requerida por flexión en el punto analizado de la sección transversal, producida por las cargas mayoradas, en MPa.

$F_{dw}, F_{dz} = \frac{\phi_b M_n}{S}$ la tensión normal de diseño por flexión determinada con las especificaciones del Capítulo **F**. Se usará el módulo resistente elástico **S** correspondiente al punto analizado y se considerará el signo de la tensión, en MPa.

w el subíndice que indica flexión alrededor del eje principal de mayor momento de inercia.

z subíndice que indica flexión alrededor del eje principal de menor momento de inercia.

ϕ - ϕ_c el factor de resistencia para compresión según el Capítulo **E**, igual a **0,85**.
- ϕ_t el factor de resistencia para tracción según la Sección **D.2.**

ϕ_b el factor de resistencia para flexión = **0,90**.

La expresión **(H.2.1)** será evaluada utilizando los ejes principales de inercia para considerar el signo de las tensiones normales producidas por la flexión en los puntos críticos de la sección transversal. Las tensiones normales serán sumadas o restadas a las producidas por la fuerza axil. Para fuerzas de **compresión** se deberán incluir los **efectos de segundo orden** de acuerdo con las especificaciones del Capítulo **C**.

Se permite un análisis mas detallado de la interacción de flexión y tracción en lugar de la aplicación de la expresión (H.2.1).

H.3. MIEMBROS SOLICITADOS A TORSIÓN Y A COMBINACIÓN DE TORSIÓN, FLEXIÓN, CORTE Y/O CARGA AXIL

H.3.1. Resistencia de diseño a torsión de tubos de sección circular (tubos HSS sin costura)

La **resistencia de diseño a torsión para tubos de sección circular sin costura**, $\phi_T T_n$ (kNm), para los estados límite de fluencia por torsión o pandeo por torsión será determinada con:

$$\phi_T = 0,9$$

T_n la resistencia nominal a la torsión, en kNm.

La resistencia nominal a la torsión, T_n (kNm), se determinará de la siguiente manera:

$$T_n = F_{cr} C (10)^{-3} \quad (\text{H.3.1})$$

siendo:

C la constante torsional del tubo, en cm^3 , aproximadamente igual a $C = \frac{\pi(D-t)^2 t}{2}$.

Para expresiones más exactas ver el **Anexo II del Reglamento CIRSOC 302-2005**.

F_{cr} la tensión crítica de corte por torsión, en MPa.

- F_{cr} será el mayor valor entre:

$$\frac{1,23E}{(L/D)^{0,5} (D/t)^{1,25}} \quad (\text{H.3.2a})$$

y

$$\frac{0,6E}{(D/t)^{1,5}} \quad (\text{H.3.2b})$$

con $F_{cr} \leq 0,6 F_y$

L la luz del miembro, en cm.

D el diámetro exterior del tubo, en cm.

t el espesor de la pared del tubo, en cm.

H.3.2. Miembros tubulares de sección circular sometidos a combinación de torsión, corte, flexión y carga axil

- Cuando la **resistencia requerida a torsión**, T_u , sea **menor o igual** que el **20%** de la resistencia de diseño a torsión, $T_d (\phi_T T_n)$, los efectos torsionales serán despreciados y la interacción entre torsión, corte, flexión y/o carga axil será verificada según las especificaciones de la Sección **H.1.**.
- Cuando la **resistencia requerida a torsión**, T_u , sea **mayor** que el **20%** de la resistencia de diseño a torsión, $T_d (\phi_T T_n)$, la interacción entre torsión, corte, flexión y/o carga axil será verificada en la sección considerada mediante la siguiente expresión:

$$\left(\frac{P_u}{P_d} + \frac{M_{ux}}{M_{dx}} \right) + \left(\frac{V_u}{V_d} + \frac{T_u}{T_d} \right)^2 \leq 1,0 \quad (\text{H.3.3})$$

siendo:

- P_u la resistencia axil requerida producida por las acciones mayoradas determinada con las especificaciones del Capítulo **C**, en kN.
- $P_d = \phi P_n$ la resistencia de diseño a fuerza axil determinada por las especificaciones del Capítulo **E** para compresión y del Capítulo **D** para tracción, en kN.
- M_{ux} la resistencia a flexión requerida producida por las acciones mayoradas determinada con las especificaciones del Capítulo **C**, en kNm.
- $M_{dx} = \phi M_{nx}$ el menor valor entre $(\phi F_y S_x 10^{-3})$ y la resistencia de diseño a flexión determinada por las especificaciones del Capítulo **F**, en kNm.
- S_x el módulo elástico de la sección transversal referido al eje de flexión, en cm^3 .
- V_u la resistencia a corte requerida producida por las acciones mayoradas determinada con las especificaciones del Capítulo **C**, en kN.
- $V_d = \phi_v V_n$ la resistencia de diseño a corte determinada por las especificaciones del Capítulo **G**, en kN.
- T_u la resistencia requerida a torsión producida por las acciones mayoradas determinada con las especificaciones del Capítulo **C**, en kNm.
- $T_d = \phi_T T_n$ la resistencia de diseño a torsión determinada por las especificaciones de la Sección **H.3.1.**, en kNm.

H.3.3. Miembros no tubulares sometidos a combinación de torsión, corte, flexión y carga axial

La **resistencia de diseño del miembro**, ϕF_n (MPa), expresada en **términos de tensión**, deberá ser mayor o igual que la **resistencia requerida**, expresada en **términos de tensión normal** f_{un} , o **tensión de corte** f_{uv} , determinadas ambas mediante **análisis estructural global y seccional elástico** cuando la estructura esté sometida a las acciones mayoradas.

(a) Para el estado límite de plastificación bajo tensiones normales:

$$f_{un} \leq \phi F_n = \phi F_y \quad (\text{H.3.4})$$

$$\phi = 0,90$$

(b) Para el estado límite de plastificación bajo tensiones de corte:

$$f_{uv} \leq \phi F_n = 0,6 \phi F_y \quad (\text{H.3.5})$$

$$\phi = 0,90$$

(c) Para el estado límite de pandeo:

$$f_{un} \text{ ó } f_{uv} \leq \phi F_n = \phi_c F_{cr} \text{ el que resulte aplicable} \quad (\text{H.3.6})$$

$$\phi_c = 0,85$$

Se permiten algunas plastificaciones locales restringidas, adyacentes a áreas que permanezcan elásticas.

H.4. RESISTENCIA A LA ROTURA DE ALAS CON AGUJEROS SOMETIDAS A TRACCIÓN Y FLEXIÓN

En la ubicación de los agujeros para bulones en alas de miembros sometidas a tracción por la combinación de fuerza axial de tracción y de flexión alrededor del eje fuerte, la resistencia a rotura por tracción del ala deberá ser verificada con la expresión **(H.4.1)**. Se deberá verificar por separado cada ala que resulte sometida a tracción por la combinación de flexión y tracción.

$$\frac{P_u}{P_d} + \frac{M_{ux}}{M_{dx}} \leq 1,0 \quad (\text{H.4.1})$$

siendo:

P_u la resistencia axial requerida producida por las acciones mayoradas determinada con las especificaciones del Capítulo **C**, en kN.

$P_d = \phi_c P_n$ la resistencia de diseño a fuerza axial para el estado límite de rotura por tracción determinada por las especificaciones de la Sección **D.2.(b)**, en kN.

M_{ux} la resistencia a flexión requerida producida por las acciones mayoradas determinada con las especificaciones del Capítulo **C**, en kNm.

$M_{dx} = \phi_b M_n$ la resistencia de diseño a flexión determinada por las especificaciones de la Sección **F.13.1.** o el momento plástico M_p determinado sin considerar los agujeros, lo que sea aplicable, en kNm.

ϕ_c el factor de resistencia para rotura por tracción = **0,75**.

ϕ_b el factor de resistencia para flexión = **0,90**.

H.5. BARRAS ARMADAS DE GRUPOS IV Y V SOMETIDAS A COMPRESIÓN Y FLEXIÓN

Si una barra armada de los **Grupos IV** o **V** está sometida a un esfuerzo axial requerido, P_u , a un momento flector requerido, M_u , y a un esfuerzo de corte requerido, V_u , se utilizarán para su dimensionamiento y verificación los procedimientos especificados en la Sección **E.6.3.** con las siguientes modificaciones y agregados:

(a) Se modifica el momento M_s (kNm) dado por las expresiones **(E.6.4)** y **(E.6.15)** por la siguiente expresión :

$$M_s = \frac{\left(P_u e_o (10)^{-2} + M_u \right)}{1 - \frac{P_u}{P_{cm}}} \quad (\text{H.5.1})$$

M_u el mayor valor del momento flector requerido determinado a lo largo de la barra según las especificaciones del Capítulo **C**, en kNm.

P_{cm} dado por las expresiones **(E.6.6)** y **(E.6.16)** con el factor de longitud efectiva k que corresponda según el método de análisis empleado para determinar M_u , en kN.

k el factor de longitud efectiva será
= **1,0** si el M_u fue determinado por el método de análisis directo.
= **1,0** si el M_u fue determinado por el método de análisis de primer orden.
= al valor que resulte de considerar el efecto **P-Δ** cuando corresponda si el M_u fue determinado por el método de la longitud efectiva.

(b) En barras armadas del **Grupo IV** cuando la barra armada **tenga eje material** y la flexión se produzca **sólo alrededor del eje libre**, la determinación de la resistencia de diseño local a compresión de la barra P_{d1} , se hará con el mayor factor de esbeltez resultante entre el λ_{c1} determinado según la Sección **E.6.3.1.** y el λ_c correspondiente al pandeo alrededor del eje material.

(c) En barras armadas del **Grupo IV** cuando la barra armada **tenga eje material** y la flexión se produzca **sólo alrededor del eje material**, en la determinación de la resistencia de diseño a compresión axial, P_d , del cordón para la verificación especificada en el Capítulo

H, se considerará la posibilidad de pandeo en ambas direcciones, adoptándose el menor valor resultante. Para el pandeo alrededor del eje libre se adoptará la esbeltez modificada λ_m o la que resulte de la longitud de pandeo local con $kL_1 = a$, la que sea mayor. Para el pandeo alrededor del eje material se adoptará la longitud de pandeo kL correspondiente a esa dirección.

- (d) En barras armadas del **Grupo IV** con los **dos ejes libres** y cuando la flexión se produzca alrededor de **sólo uno de ellos** (por ejemplo el eje **x**), el esfuerzo axial requerido en cada barra P_{u1} (**kN**) será:

$$P_{u1} = \frac{P_u}{n} + \frac{M_{sx}}{v_{1x} h_x} \left(10^2 \right) + \frac{M_{sy}}{n_{1y} h_y} \left(10^2 \right) \quad (\text{H.5.2})$$

donde M_{sx} (**kNm**) se determinará con la expresión (H.5.1) (considerando el momento M_{ux} y la excentricidad e_{ox}) y M_{sy} (**kNm**) con la expresión (E.6.4) (considerando la excentricidad e_{oy}).

- (e) En barras armadas del **Grupo V** cuando la barra **tenga eje material** y la flexión se produzca **sólo alrededor del eje libre**, en la determinación de la resistencia de diseño local a compresión axial, P_{d1} , para la verificación especificada en el Capítulo **H**, se considerará la posibilidad de pandeo en ambas direcciones, adoptándose el menor valor resultante. Para el pandeo alrededor del eje paralelo al eje libre se adoptará como longitud de pandeo $kL_1 = a$. Para el pandeo alrededor del eje material se adoptará la longitud de pandeo kL correspondiente a esa dirección.
- (f) En barras armadas del **Grupo V** cuando la barra armada **tenga eje material** y la flexión se produzca **sólo alrededor del eje material**, en la determinación de la resistencia de diseño a compresión axial, P_d , del cordón para la verificación especificada en el Capítulo **H**, se considerará la posibilidad de pandeo en ambas direcciones, adoptándose el menor valor resultante. Para el pandeo alrededor del eje libre se adoptará la esbeltez modificada, λ_m , o la que resulte de la longitud de pandeo local con $kL_1 = a$, de ambas la que resulte mayor. Para el pandeo alrededor del eje material se adoptará la longitud de pandeo kL correspondiente a esa dirección.
- (g) En barras armadas del **Grupo V** con los **dos ejes libres** y cuando la flexión se produzca alrededor de **sólo uno de ellos** (por ejemplo el eje **x**), el esfuerzo axial requerido en cada barra P_{u1} (**kN**) será:

$$P_{u1} = \frac{P_u}{n} + \frac{M_{sx}}{n_{1x} h_x} \left(10^2 \right) + \frac{M_{sy}}{n_{1y} h_y} \left(10^2 \right) \quad (\text{H.5.3})$$

donde M_{sx} (**kNm**) se determinará con la expresión (H.5.1) (considerando el momento M_{ux} y la excentricidad e_{ox}) y M_{sy} (**kNm**) con la expresión (E.6.15) (considerando la excentricidad e_{oy}).

La barra se verificará con el Capítulo **H** sometida a la compresión P_{u1} y a los momentos flexores M_{u1x} y M_{u1y} resultantes de los esfuerzos de corte V_{eux} y V_{euy} .

(h) Se modifica el esfuerzo de corte requerido, V_{eu} , utilizado para el dimensionamiento y verificación de los enlaces en las barras armadas del **Grupo IV**, y de los cordones y presillas en las barras armadas del **Grupo V**, de la siguiente forma:

- **Barras armadas del Grupo IV.**

La expresión (E.6.10) se reemplaza por: $V_{eu} = \beta P_u + V_u$ (kN) (H.5.4)

- **Barras armadas del Grupo V.**

La expresión (E.6.17) se reemplaza por: $V_{eu} = \beta_1 P_u + V_u$ (kN) (H.5.5)

La expresión (E.6.18) se reemplaza por: $V_{eu1} = \beta_2 P_u + V_u$ (kN) (H.5.6)

siendo:

V_u el mayor valor del esfuerzo de corte requerido a lo largo de la barra por las acciones mayoradas, en kN.

CAPÍTULO I. DISEÑO DE MIEMBROS DE SECCIÓN COMPUESTA

Este Capítulo no se ha desarrollado aún por lo que se sugiere a los usuarios consultar el **Capítulo I** de la Especificación **ANSI/AISC 360-2010 Specification for Structural Steel Buildings**.

CAPÍTULO J. PROYECTO DE UNIONES, JUNTAS Y MEDIOS DE UNIÓN

Las especificaciones de este Capítulo son aplicables al proyecto de los **medios de unión, de los elementos auxiliares de la unión y de las partes afectadas de los miembros que se unen**. Éstas son válidas para **uniones sometidas a solicitaciones estáticas**. Para uniones sujetas a efectos de fatiga se deberán aplicar las especificaciones del **Apéndice 3**.

Su contenido está organizado de la siguiente manera:

- J.1. Especificaciones generales
- J.2. Soldadura
- J.3. Bulones y partes roscadas
- J.4. Elementos afectados de los miembros unidos y elementos auxiliares de la unión
- J.5. Chapas de relleno
- J.6. Empalmes
- J.7. Resistencia al aplastamiento
- J.8. Bases de columnas y compresión sobre el hormigón
- J.9. Anclaje de insertos, barras, pernos y bulones de anclaje
- J.10. Alas y almas sometidas a fuerzas concentradas.

J.1. ESPECIFICACIONES GENERALES

J.1.1. Bases de proyecto

Las **uniones comprenden tanto a las partes afectadas de los miembros vinculados** (por ejemplo las almas de las vigas), como a los **elementos auxiliares de la unión** (por ejemplo chapas de nudo, cartelas y angulares) y a los **medios de unión** (soldadura, bulones).

Todos los componentes de la unión deberán ser dimensionados de manera que su resistencia de diseño sea mayor o igual que la resistencia requerida resultante del análisis estructural cuando en la estructura actúen las acciones mayoradas, o mayor o igual que una proporción específica de la resistencia de los miembros unidos, según corresponda.

Cuando los ejes baricéntricos de los miembros axialmente cargados no se corten en un mismo punto se deberán considerar los efectos de la excentricidad.

Las fuerzas y momentos actuantes en la unión se distribuirán de manera que :

- Las fuerzas y momentos internos supuestos estén en equilibrio con las fuerzas y momentos aplicados.
- Las deformaciones que se deriven de la distribución adoptada se mantengan dentro de la capacidad de deformación de los medios de unión y de las piezas unidas.

La **resistencia de diseño de las uniones**, ϕR_n , será determinada con las especificaciones de este Capítulo y del Capítulo **B**. Para el cálculo de la unión se **utilizará el análisis elástico lineal**.

En uniones construidas con las especificaciones de los Capítulos **J** y **M** de este Reglamento, no será necesario considerar en el cálculo las tensiones residuales ni las tensiones debidas al tensado de los bulones.

J.1.2. Uniones simples (articulaciones)

Las **uniones de apoyo de vigas, vigas armadas y vigas reticuladas serán proyectadas como uniones simples** (articulaciones), excepto que se especifique de otra manera en los documentos de proyecto. Se admitirá que sean dimensionadas para transmitir solamente el esfuerzo de corte requerido y la fuerza axial requerida de la unión, si ella existiera. Las articulaciones deberán permitir las rotaciones extremas de los miembros supuestos como articulados. Para lograr esa capacidad de rotación se podrá permitir en la unión alguna deformación plástica autolimitada.

En una **triangulación**, las **uniones articuladas de barras** serán proyectadas para transmitir las fuerzas requeridas resultantes del análisis estructural y no deberán desarrollar momentos flectores significativos que afecten a las barras concurrentes. Esta condición se considerará cumplida si el momento flector desarrollado resulta menor o igual que el **20%** de la menor resistencia de diseño a flexión de las barras concurrentes. Los ejes de las barras que concurren a la unión se cortarán en un punto, excepto que el **momento flector resultante de la excentricidad sea considerado en el dimensionamiento de las barras concurrentes y de la unión**.

J.1.3. Uniones de momento

Las uniones extremas rígidas o semirígidas de vigas, vigas armadas, vigas reticuladas, columnas y miembros en general, deberán ser dimensionadas para resistir los efectos combinados de fuerzas y momentos requeridos resultantes de la rigidez de la unión. Para establecer la resistencia y rigidez requeridas de la unión se aplicarán las especificaciones del Capítulo **C** y del **Apéndice 7**. El criterio de respuesta de las uniones de momento se especifica en la Sección **B.3.4(b)**. Su deformación deberá ser compatible con la hipótesis de rigidez de la unión.

J.1.4. Apoyo extremo por contacto de miembros axialmente comprimidos

(a) Para **columnas (miembros rectos verticales axialmente comprimidos)** que apoyen en su extremo por contacto mediante placas de apoyo u otros miembros, y cuando estén mecanizados los extremos de las columnas y las superficies de apoyo, **se deberán colocar medios de unión suficientes** para mantener en su posición en forma segura a todos los componentes unidos. Los medios de unión y los elementos auxiliares de la unión serán dimensionados para transmitir el momento y el corte resultantes de una **fuerza no menor que el 2,5% de la resistencia axial requerida de la columna** actuando en cualquier dirección perpendicular al eje de la misma.

(b) Para el apoyo extremo por contacto de **otros miembros comprimidos (no verticales o no rectos)** que estén mecanizadas en su extremo, los medios de unión y los elementos auxiliares de la unión se deberán disponer para mantener todas las partes componentes

alineadas y serán dimensionados para transmitir una fuerza requerida igual que el **50%** de la resistencia axial requerida del miembro comprimido o el momento y el corte resultantes de una carga transversal igual al **2%** de la resistencia axial requerida de la barra, la que sea mayor. La carga será aplicada en la ubicación del empalme, independientemente de otras cargas que actúan en el miembro. El miembro será considerado como articulado para la determinación de las fuerzas de corte y momentos en el empalme.

En **ambos casos anteriores (a) y (b)**, la unión de apoyo se deberá dimensionar para transmitir el **100%** de cualquier fuerza de tracción u otro tipo de sollicitación requerida que pueda solicitar al miembro en alguna de las combinaciones de acciones mayoradas especificadas en la Sección **B.2.**

(c) Cuando los extremos de apoyo de las columnas u otros miembros axialmente comprimidos o las superficies de apoyo, no estén mecanizadas, los medios de unión y los elementos auxiliares de la unión se deberán dimensionar para transmitir el **100%** de la fuerza axial requerida del miembro.

Para empalmes de miembros axialmente comprimidos ver la Sección **J.6.**

J.1.5. Empalmes en perfiles pesados

Esta Sección se aplica a los perfiles pesados definidos en la Sección **A.3.1.b.**, y cuando la sección sea empalmada y solicitada por tensiones de tracción debidas a sollicitaciones de tracción o flexión.

Cuando se empalmen elementos de perfiles armados que sean soldados antes del armado del perfil, de acuerdo con el artículo **5.21.6.** del **Reglamento CIRSOC 304-2007**, se aplicarán los requerimientos que correspondan del mencionado Reglamento en lugar de lo establecido en esta Sección.

Cuando se transmitan fuerzas de tracción en estas secciones, a través de empalmes mediante **cordones de soldadura a tope de penetración completa**, se deberán aplicar:

- los requerimientos de tenacidad del material dados en la Sección **A.3.1.b.**,
- los detalles de los agujeros de acceso para soldadura según la Sección **J.1.6.**,
- los requerimientos para el metal de aporte dados en la Sección **J.2.6.** y
- los requerimientos de preparación e inspección de las superficies cortadas a soplete, de acuerdo con la Sección **M.2.2.**

En los **empalmes traccionados de perfiles pesados**, se deberán quitar las chapas de respaldo y amolar las superficies.

En los empalmes de perfiles pesados, cuando la sección corresponda a un miembro comprimido, todos los agujeros de acceso para facilitar las operaciones de soldadura deberán satisfacer las indicaciones de la Sección **J.1.6.**

Alternativamente, los empalmes de estos miembros solicitados a compresión, incluyendo los miembros que están solicitados a tracción para los estados de viento o sismo, serán realizados utilizando **detalles de empalmes que no induzcan daño por retracciones excesivas de la soldadura**, como por ejemplo cordones de soldadura a tope de penetración parcial en las alas y cubrejuntas con cordones de soldadura de filete en las

almas o cubrejuntas abulonados, o una combinación de soldadura de filete y bulones para unir el cubrejunta de alma.

J.1.6. Rebajes en vigas y agujeros de acceso para soldar

Todos los **agujeros de acceso** necesarios para facilitar las operaciones de soldadura, tendrán una **longitud en la raíz de la soldadura a ejecutar mayor o igual que 1,5 veces el espesor del material** en el cual se hace el agujero, y no menor que **38 mm**. La **altura del agujero** será la adecuada para depositar el metal de aporte en las chapas adyacentes y proveer suficiente espacio para colocar las chapas de respaldo en el material en el cual se efectúan los agujeros, y **será mayor o igual que el espesor del material y no menor que 19 mm ni mayor que 50 mm**.

Antes de realizar cortes en perfiles laminados o perfiles armados soldados, el borde del alma deberá ser achaflanado o curvado desde la superficie del ala hasta la superficie reentrante del agujero de acceso.

En perfiles laminados y secciones armadas con soldaduras que unen el alma a las alas, que sean a tope de penetración completa, todos los rebajes en vigas y agujeros de acceso serán realizados libres de entallas y ángulos agudos entrantes. Los radios de los agujeros de acceso serán mayores o iguales que **10 mm**.

En perfiles laminados y secciones armadas con soldaduras que unen el alma a las alas, que sean de filete o a tope de penetración parcial, todos los rebajes en vigas y agujeros de acceso serán realizados libres de entallas y ángulos agudos entrantes. Se permite que los agujeros de acceso terminen en dirección perpendicular al ala a una distancia mayor o igual que el tamaño de la soldadura.

Para perfiles pesados, los cortes de rebajes y agujeros de acceso realizados con soplete tendrán la superficie pulida y serán inspeccionados mediante partículas magnéticas o tintas penetrantes antes de depositar el cordón de soldadura. Si la transición curva de los agujeros de acceso y rebajes se hacen mediante taladrado o aserrado, no será necesario realizar su amolado. Los agujeros de acceso y los rebajes en otros tipos de secciones para vigas, no necesitan ser amolados ni inspeccionados mediante partículas magnéticas o tintas penetrantes.

J.1.7. Distribución de bulones y soldaduras

En las uniones de miembros axilmente cargados, los bulones y soldaduras se dispondrán de manera que el centro de gravedad de los medios de unión se ubique en el eje de gravedad del miembro, a menos que los efectos de la excentricidad sean considerados en el cálculo.

La especificación anterior **no es aplicable** a las uniones extremas de **barras axilmente cargadas de ángulo simple, ángulos dobles, Tes o secciones similares** sometidas a cargas estáticas, o sea donde no existan efectos dinámicos ni efectos de fatiga.

J.1.8. Bulones en combinación con soldadura

En uniones nuevas **no se aceptará colaboración** en la transmisión de esfuerzos entre **soldaduras y bulones comunes tipo A307 (o ISO 4.6) o bulones de alta resistencia en uniones de tipo aplastamiento**. Si se utiliza soldadura, la unión soldada se deberá dimensionar para absorber todas las solicitaciones requeridas de la unión.

En uniones nuevas se puede considerar que **existe colaboración entre soldaduras y bulones de alta resistencia en uniones de deslizamiento crítico**. El dimensionamiento deberá ser realizado para los efectos de acciones mayoradas.

En las modificaciones de estructuras existentes en las cuales se utilicen soldaduras, se puede aceptar que los **remaches y bulones de alta resistencia ajustados con los requerimientos para uniones de deslizamiento crítico**, sean utilizados para transmitir las solicitaciones requeridas resultantes de las acciones efectivamente actuantes al momento de la modificación. Las soldaduras serán dimensionadas para transmitir las resistencias requeridas resultantes de las acciones adicionales a las anteriores que actúen en la estructura modificada.

J.1.9. Bulones de alta resistencia en combinación con remaches

En obras nuevas, y en la ejecución de modificaciones de obras existentes, se puede considerar que existe colaboración para transmitir fuerzas entre **remaches y bulones de alta resistencia** totalmente traccionados en **uniones de deslizamiento crítico** dimensionadas según las especificaciones de la Sección **J.3.**

J.1.10. Limitaciones para uniones abulonadas y soldadas

Se deberán emplear bulones de alta resistencia **en uniones de deslizamiento crítico, uniones pretensadas** (ver Sección **J.3.1.(a)** y Tabla **J.3.1.**), o **cordones de soldadura** para las siguientes uniones:

- (a)** Empalmes de columnas en todas las estructuras de pisos múltiples con **altura igual o mayor que 38 m**.
- (b)** En todas las uniones de vigas laminadas o armadas con columnas y en las uniones de cualquier otra viga laminada o armada de la cual dependa el arriostamiento de las columnas, en estructuras de **más de 38 m de altura**.
- (c)** En todas las estructuras que soportan grúas de más de **50 kN** de capacidad, empalmes de vigas reticuladas de techo y uniones de vigas reticuladas con columnas, empalmes de columnas, arriostamiento de columnas, tornapuntas y apoyos de grúas.
- (d)** Uniones para apoyo de maquinaria en operación, o de otras cargas variables móviles que produzcan impacto o inversión de signo de las tensiones.
- (e)** Cualquier otra unión estipulada en los planos de proyecto.

En **todo otro caso no citado precedentemente**, las uniones podrán ser ejecutadas con bulones A307 (o ISO 4.6) o bulones de alta resistencia **en uniones con ajuste sin juego**.

A los fines de este artículo, la altura de una estructura de pisos múltiples será tomada como la distancia vertical desde el nivel de la acera hasta el punto más alto de las vigas de techo, en el caso de techos planos, o hasta la altura media del tímpano, en el caso de techos que tienen una pendiente de más de **22%**. Cuando el nivel de la acera no ha sido establecido, o cuando la estructura no sea adyacente a una calle, se usará el nivel medio del terreno adyacente en vez del nivel de la acera. Las construcciones livianas ubicadas sobre la azotea se podrán excluir en el cómputo de la altura de la estructura.

J.2. SOLDADURA

Serán de aplicación todas las especificaciones del **Reglamento CIRSOC 304-2007** excepto las referidas a uniones de tubos, fuera del alcance de este Reglamento, y las siguientes especificaciones de este Reglamento **CIRSOC 301-2018** que reemplazan a las correspondientes del **Reglamento CIRSOC 304-2007** :

- (1) Sección **J.1.5.** y **J.1.6.** del Capítulo **J** en lugar de la Sección **5.17.** del **Reglamento CIRSOC 304-2007.**
- (2) Sección **J.2.2(a).** del Capítulo **J** en lugar de la Sección **2.3.2.** del **Reglamento CIRSOC 304-2007.**
- (3) Tabla **J.2-2.** del Capítulo **J** en lugar de la Tabla **2.1.** **Reglamento CIRSOC 304-2007.**
- (4) Tabla **J.2-5.** del Capítulo **J** en lugar de la Tabla **2.3.** **Reglamento CIRSOC 304-2007.**
- (5) Tabla **A-3.1.** del **Apéndice 3** en lugar de la Tabla **2.5.** del **Reglamento CIRSOC 304-2007.**
- (6) Sección **B.3.11.** y **Apéndice 3** en lugar de la Parte **C**, Sección **2** del **Reglamento CIRSOC 304-2007.**
- (7) Sección **M.2.2.** del Capítulo **M** en lugar de la Secciones **5.15.4.3.** y **5.15.4.4.** del **Reglamento CIRSOC 304-2007.**

La disposición y longitud de las soldaduras, incluyendo los retornos, deberán ser indicados en los documentos del Proyecto y en los planos de taller.

J.2.1. Soldadura a tope

Para nomenclatura, ver la Figura **J.2.1.**.

J.2.1(a). Área efectiva

El **área efectiva de la soldadura a tope** será determinada como el producto de la longitud efectiva de la soldadura por el espesor efectivo de garganta.

La **longitud efectiva de la soldadura a tope** será el ancho de la parte unida.

El **espesor efectivo de garganta de una soldadura a tope** con penetración **completa** será el espesor de la parte unida más delgada.

El **espesor efectivo de garganta de una soldadura a tope** con penetración **parcial** será el indicado en la Tabla **J.2.1.**.

El **tamaño** de una **soldadura a tope de penetración parcial** depende del proceso utilizado y de la posición de soldado. En los planos se debe indicar el espesor efectivo de garganta o la resistencia de la soldadura y el fabricante debe detallar la junta en base al proceso de soldadura y a la posición de soldado a utilizar.

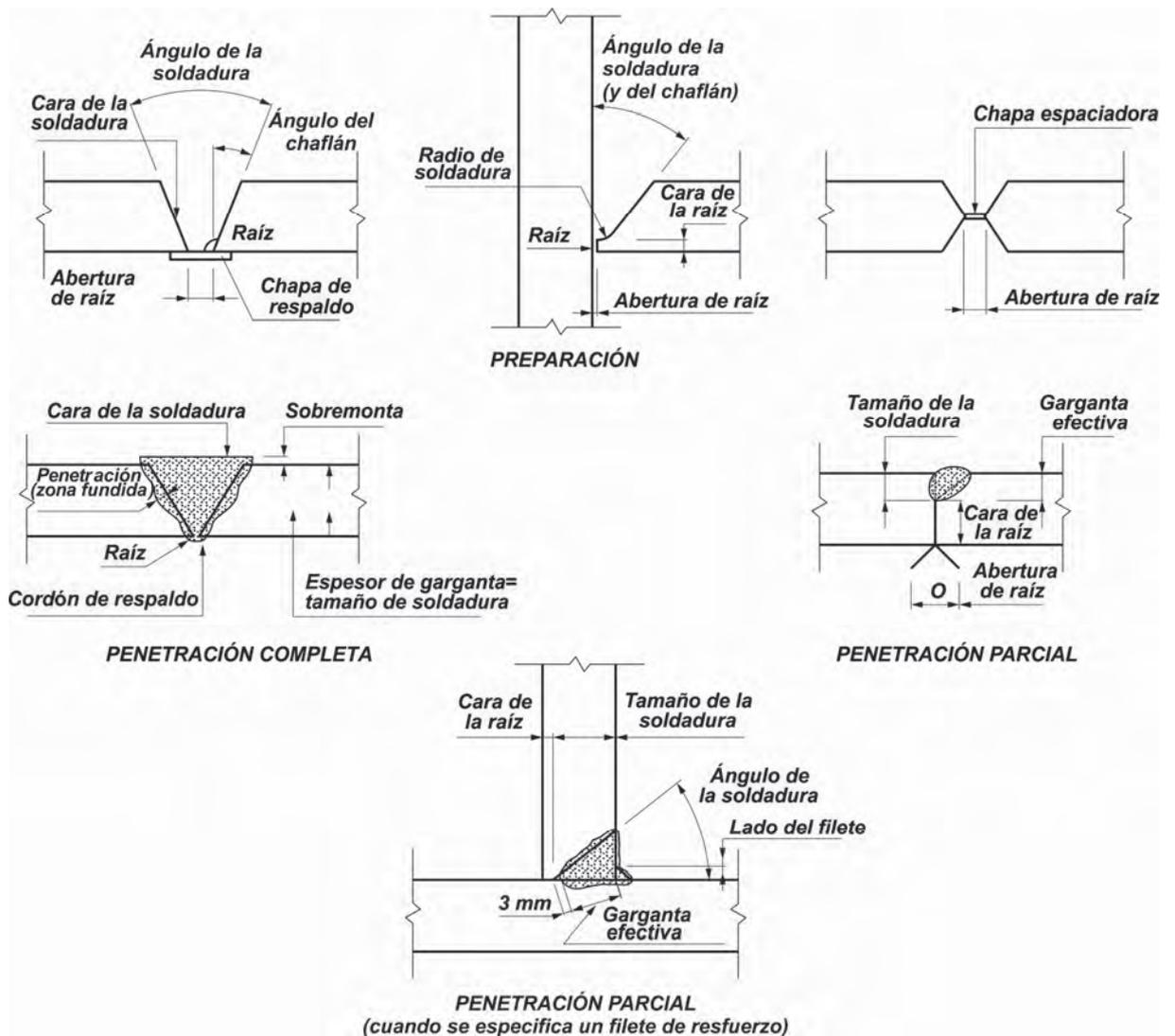


Figura J.2.1. Nomenclatura de soldadura a tope.

El **espesor efectivo de garganta de una soldadura a tope de forma acampanada** cuando está al mismo nivel que la superficie de un miembro o en secciones plegadas a 90° , será como se indica en la Tabla **J.2.2.** (ver la Figura **J.2.2.**). Para verificar que dicho **espesor efectivo de garganta** se está obteniendo en forma uniforme, se deberán tomar probetas al azar de cordones de soldadura ejecutados para cada proceso de soldadura, según indicación del Director Técnico, o la cantidad de muestras para ensayar que sean requeridas por la Documentación del Proyecto.

Este Reglamento **permite espesores efectivos de garganta mayores** que los indicados en la Tabla **J.2.2.**, siempre que el Fabricante pueda garantizar, por la calificación del procedimiento, que tales espesores pueden ser conseguidos en forma permanente. Para realizar la calificación se tomarán probetas cortando la sección en dirección perpendicular a su eje, en la mitad de la longitud y en los extremos. Estas probetas se extraerán de manera que exista un número de combinaciones de distintos tamaños de material representativos del rango a usarse en la fabricación, o según sea requerido por el Proyectista o Diseñador Estructural.

Tabla J.2.1. Espesor de garganta efectivo de soldaduras a tope de penetración parcial

Proceso de soldadura	Posición de soldado F (plano) H (horizontal) V(vertical) OH (sobre cabeza)	Preparación de la junta	Espesor de garganta efectivo
<ul style="list-style-type: none"> Arco c/ electrodo metálico protegido Arco c/ electrodo metálico bajo protección gaseosa Arco con núcleo fundente 	Todas	Juntas en U ó J Junta en V $\geq 60^\circ$	Altura del chaflán
<ul style="list-style-type: none"> Arco sumergido 	F	Juntas en U ó J Bisel o Junta en V $\geq 60^\circ$	
<ul style="list-style-type: none"> Arco c/ electrodo metálico bajo protección gaseosa Arco con núcleo fundente 	F, H	Bisel $\geq 45^\circ$	
<ul style="list-style-type: none"> Arco c/ electrodo metálico protegido 	Todas	Bisel $\geq 45^\circ$	
<ul style="list-style-type: none"> Arco c/ electrodo metálico bajo protección gaseosa Arco con núcleo fundente 	V, OH	Bisel $\geq 45^\circ$	Altura del chaflán menos de 3 mm

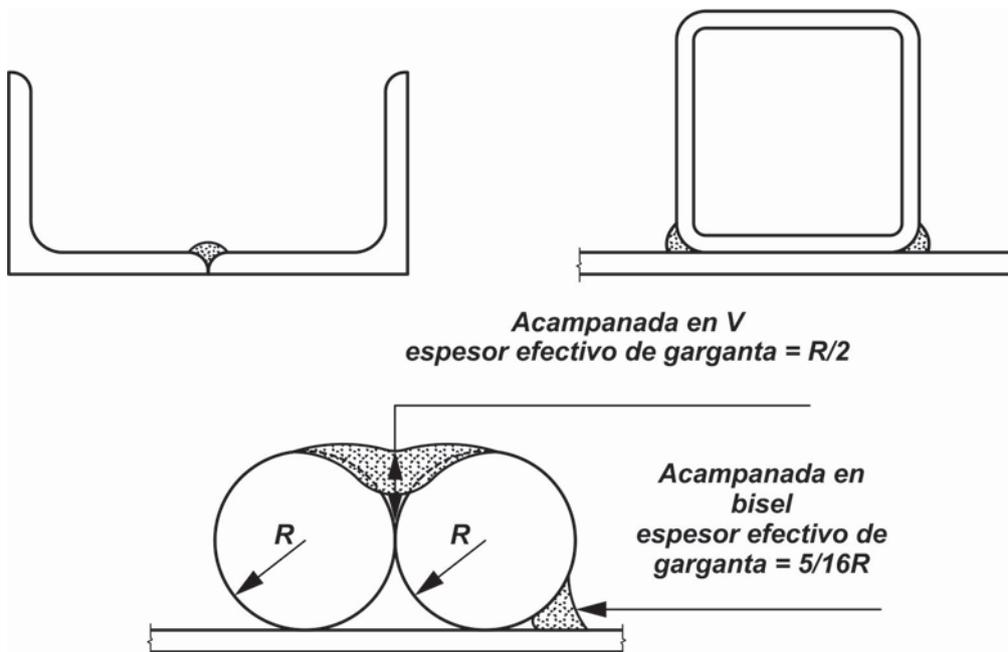


Figura J.2.2. Nomenclatura de soldaduras a tope acampanadas.

Tabla J.2.2. Espesores de garganta efectivo de soldaduras a tope acampanadas

Tipo de soldadura	Acampanada en bisel ^(a)	Acampanada en V
<ul style="list-style-type: none"> Arco con electrodo metálico bajo protección gaseosa Arco con núcleo fundente bajo protección gaseosa 	5/8 R	3/4 R
<ul style="list-style-type: none"> Arco con electrodo metálico protegido Arco con núcleo fundente auto-prottegido 	5/16 R	5/8 R
<ul style="list-style-type: none"> Arco sumergido 	5/16 R	1/2R
<p>(a) Para acampanadas en bisel con R<10mm se usará únicamente una soldadura de filete de refuerzo sobre la junta enrasada</p> <p>Nota general: R es el radio de la barra (circular) o de plegado.</p>		

J.2.1(b). Limitaciones

El **espesor de garganta efectivo mínimo** de una soldadura a tope con penetración parcial será **mayor o igual que el requerido por resistencia** o el indicado en la Tabla J.2.3. El tamaño de la soldadura estará determinado por el **mayor** espesor de las dos partes unidas. Sin embargo, el tamaño de la soldadura será **menor o igual que el espesor de la parte unida más delgada**.

Tabla J.2.3. Espesor de garganta efectivo mínimo de soldadura a tope de penetración parcial

Espesor del material unido mas grueso ^(b)	Espesor mínimo de garganta efectiva ^(a)
(mm)	(mm)
hasta 6	3
más de 6 hasta 13	5
más de 13 hasta 19	6
más de 19 hasta 38	8
más de 38 hasta 57	10
más de 57 hasta 150	13
más de 150	16
<p>(a) Ver la Sección J.2.</p> <p>(b) Como alternativa, si se define en el proyecto el tipo de electrodo y/o el precalentamiento a utilizar, se podrá aplicar lo establecido en la Tabla 3.4. del Reglamento CIRSOC 304-2007</p>	

J.2.2. Soldadura de filete

J.2.2(a). Area efectiva

El **área efectiva de una soldadura de filete** será definida de acuerdo con lo especificado en la Sección 2.3.2.8. y 2.3.3. del **Reglamento CIRSOC 304-2007** (ver la Figura J.2.3).

El área efectiva será el producto de la **longitud efectiva del filete por el espesor efectivo de garganta**. La tensión en el filete será considerada actuando en el área efectiva, para cualquier dirección de la fuerza aplicada.

La **longitud efectiva del filete** será la longitud total del filete de dimensiones uniformes, incluidos los retornos. En un filete curvo la longitud efectiva deberá ser medida a lo largo de línea central de la garganta efectiva.

El **espesor efectivo de garganta de una soldadura de filete** será la distancia más corta entre la raíz y la cara del filete en una representación esquemática de la sección transversal de la soldadura, excepto en el caso de soldaduras de filete ejecutadas por el proceso de arco sumergido, en que el espesor efectivo de garganta será considerado igual al lado del triángulo para soldaduras de filete menores o iguales a **9 mm** e igual a la garganta teórica más **3 mm** para soldaduras de filete mayores a **9 mm**.

Para soldaduras de filete en agujeros y muescas, la longitud efectiva será la longitud de la soldadura a lo largo del eje del plano que atraviesa la garganta. En el caso de filetes que se solapan, el área efectiva será menor o igual que el área nominal de la sección transversal o muesca, en el plano de unión de las superficies.

J.2.2(b). Limitaciones

El **lado mínimo de la soldadura de filete** será mayor o igual que el requerido para transmitir las fuerzas calculadas y que el indicado en la Tabla **J.2.4.**, que está basado en experiencias y provee cierto margen respecto de las tensiones no calculadas que se originan durante la fabricación, manipuleo, transporte, y montaje. Estas disposiciones no se aplican para los refuerzos de cordones de penetración parcial o completa mediante soldaduras de filete.

Tabla J.2.4. Tamaño mínimo de soldaduras de filete ^(b)

Espesor del material unido más grueso ^(c)	Tamaño mínimo de la soldadura de filete ^(a)
(mm)	(mm)
Hasta 6	3
Más de 6 hasta 13	5
Más de 13 hasta 19	6
Más de 19	8

(a) Lado del filete. Se debe hacer de una sola pasada.
 (b) Ver la Sección **J.2.2(b)** para el lado máximo del cordón de filete.
 (c) Como alternativa, si se define en el proyecto el tipo de electrodo **y/o el precalentamiento** a utilizar, se podrá aplicar lo especificado en la Tabla **2.1.** del Reglamento CIRSOC 304-2007.

El lado máximo del filete en soldaduras de unión entre partes será:

(a) Menor o igual que el espesor del material para cordones a lo largo de los bordes de material de espesor menor que **6 mm**.

(b) Menor o igual que el espesor del material **menos 2 mm**, para cordones a lo largo de los bordes de material de espesor mayor o igual que **6 mm**, a menos que la soldadura sea especialmente indicada en los planos para ser realizada de forma de obtener un espesor de garganta completo. En este caso, se permite que la distancia entre el borde del metal base y el pie de la soldadura sea menor que **2 mm**, siempre que el tamaño del cordón sea claramente verificable.

(c) Menor que el espesor de la parte mas delgada a ser soldada.

Para la unión de alas con almas, el tamaño real del cordón no necesita ser mayor que el requerido para desarrollar la capacidad del alma, y no es necesario aplicar los requerimientos de la Tabla **J.2.4**.

La longitud efectiva mínima de una soldadura de filete calculada sobre la base de la resistencia, será mayor o igual que **4 veces el lado nominal**. Si esto no se cumple se considerará que el **lado de la soldadura no excede de 1/4 de la longitud efectiva**. Si en las uniones extremas de barras planas traccionadas se usan solamente soldaduras de filete longitudinales, la **longitud de cada filete de soldadura** será mayor o igual que la distancia perpendicular entre ellos. Para los efectos sobre el área efectiva de las barras unidas de la longitud de las soldaduras de filete longitudinales en uniones extremas, ver la Sección **D.3.3**.

La longitud efectiva máxima para soldaduras de filete paralelas a la dirección de la fuerza ubicadas en el extremo de barras cargadas ("soldaduras de filete extremas") será:

$$L_e = \beta L$$

con:

$$\beta = 1 \quad \text{si } L \leq 100 w$$

$$\beta = 1,2 - 0,002 (L / w) \leq 1 \quad \text{si } 100 w < L \leq 300 w \quad \text{(J.2.1)}$$

$$\text{si } L > 300 w \text{ será } L_e = 180 w$$

siendo:

L la longitud real del filete, en cm.

w el lado del filete, en cm.

Se podrán usar **filetes de soldadura intermitentes** para transferir fuerzas a través de una unión o superficie de unión entre las partes que constituyen una barra armada, cuando la resistencia requerida sea menor que la desarrollada por un filete de soldadura continuo del menor tamaño permitido. Los filetes intermitentes serán dimensionados para transmitir la resistencia requerida. La longitud efectiva de cualquier segmento de soldadura de filete intermitente será mayor o igual que **cuatro veces** el lado de la soldadura, con un mínimo de **40 mm**. La separación máxima entre filetes intermitentes será:

(a) Para barras pintadas o no pintadas sin peligro de corrosión, la separación no superará **20 veces el espesor de la chapa más fina ni 250 mm**.

(b) Para barras no pintadas de acero resistente a la corrosión sometidas a la corrosión atmosférica, la separación no superará **12 veces el espesor de la chapa más fina ni 150 mm**.

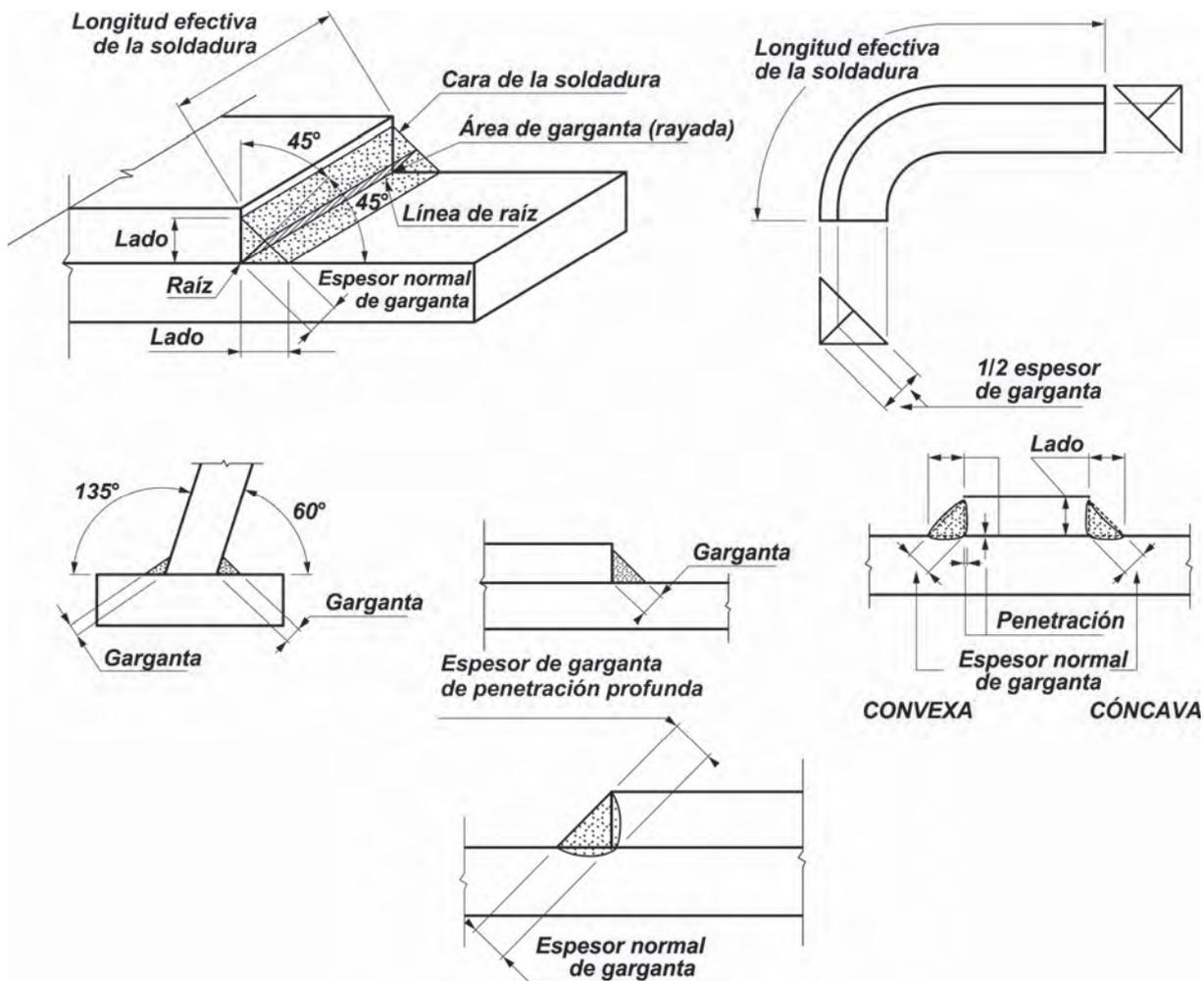


Figura J.2.3. Nomenclatura de soldaduras de filete.

En **juntas traslapadas**, la cantidad mínima de solape será de cinco veces el espesor de la parte unida más delgada, pero no menor que **25 mm**. Las uniones traslapadas que unan chapas o barras sometidas a fuerzas axiales y que utilicen solamente soldaduras de filete transversales, serán soldadas con filetes a lo largo del extremo de ambas partes solapadas, excepto donde la deflexión de las partes solapadas esté suficientemente restringida para prevenir la abertura de la junta bajo la carga máxima.

Las terminaciones de las soldaduras de filete podrán ser extendidas hasta el extremo o hasta el borde de las partes unidas, o terminadas antes de ellos, o encajonadas, excepto en los casos indicados a continuación:

- (1) En juntas traslapadas en las cuales una parte se extiende más allá de un borde sometido a tensiones de tracción, las soldaduras de filete serán terminadas a una distancia de dicho borde mayor o igual que el lado del filete. (ver la Figura **J.2.4**).

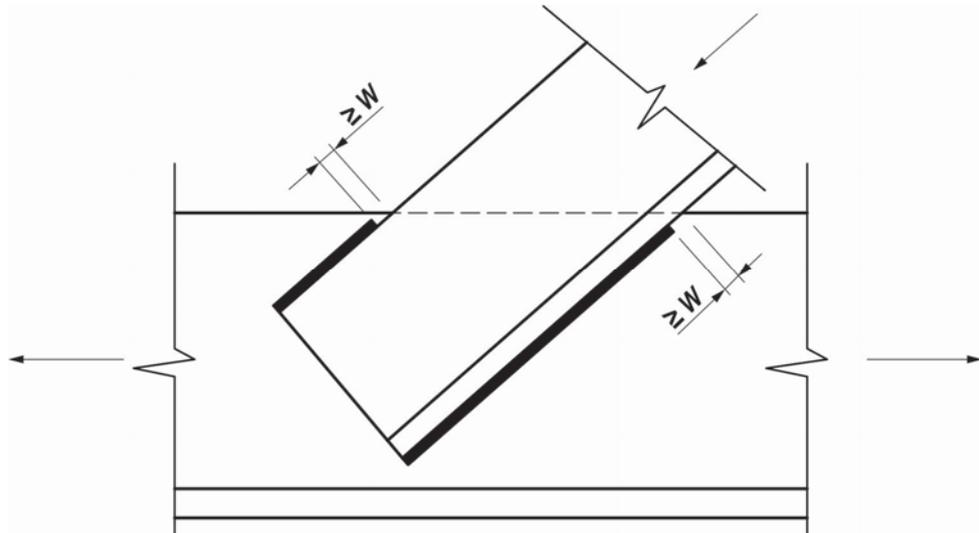


Figura J.2.4. Soldaduras de filete cercanas a bordes traccionados.

- (2) Para uniones y elementos estructurales tales como ménsulas, apoyos de vigas, o chapas extremas en uniones simples que están solicitados a fuerzas cíclicas (fatiga) normales al plano y/o momentos de frecuencia e intensidad que puedan tender a iniciar una falla progresiva desde el punto de máxima tensión en el extremo de la soldadura, los filetes serán retornados alrededor de la esquina en una distancia mayor o igual que **2 veces el lado nominal del filete o el ancho del elemento**, lo que sea menor. (ver la Figura J.2.5.).
- (3) Para ángulos y chapas extremas en uniones simplemente apoyadas en las cuales su flexibilidad determina la flexibilidad de la unión, si son usados retornos éstos no deberán tener una longitud mayor que **4 veces el lado nominal del filete**. (ver la Figura J.2.5.).

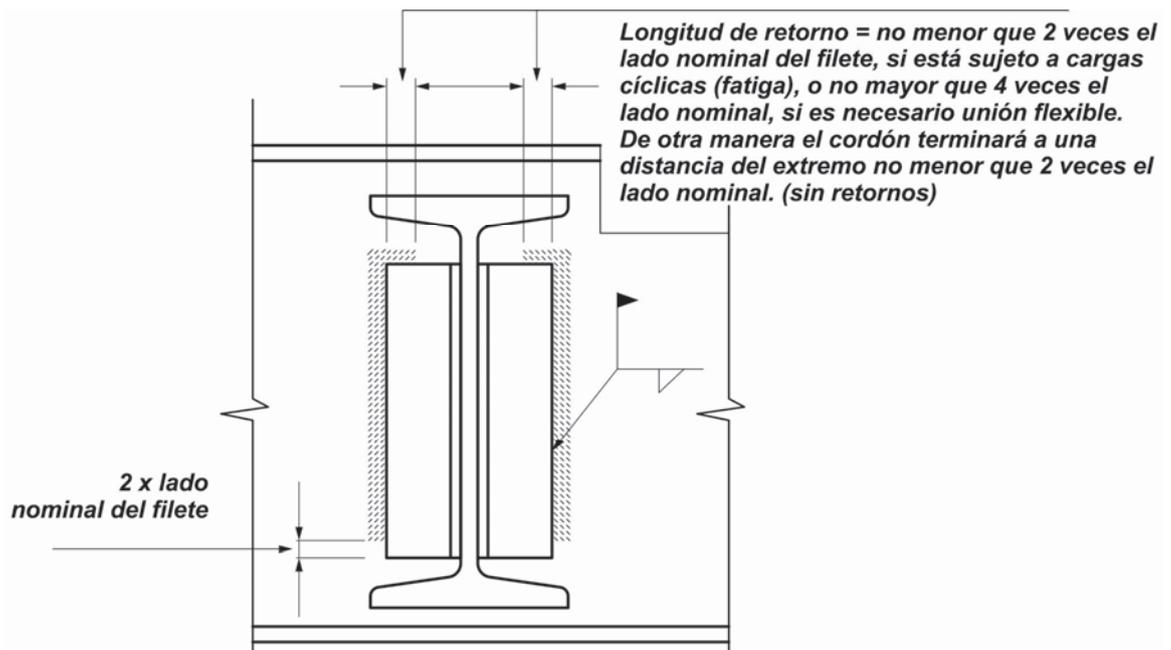


Figura J.2.5. Retornos.

- (4) Las soldaduras de filete que unan rigidizadores transversales al alma de vigas armadas deberán terminar a no menos de **4 veces** y no más de **6 veces** el espesor del alma del pie de la soldadura de unión de ala y alma, excepto cuando el rigidizador esté soldado al ala. (ver la Figura **G.2.1(b)**).
- (5) Las soldaduras de filete que estén ubicadas en los lados opuestos de un plano común deberán ser interrumpidas a una distancia de **dos veces** el lado del filete, en el ángulo común de ambas soldaduras.(Figura **J.2.6**).

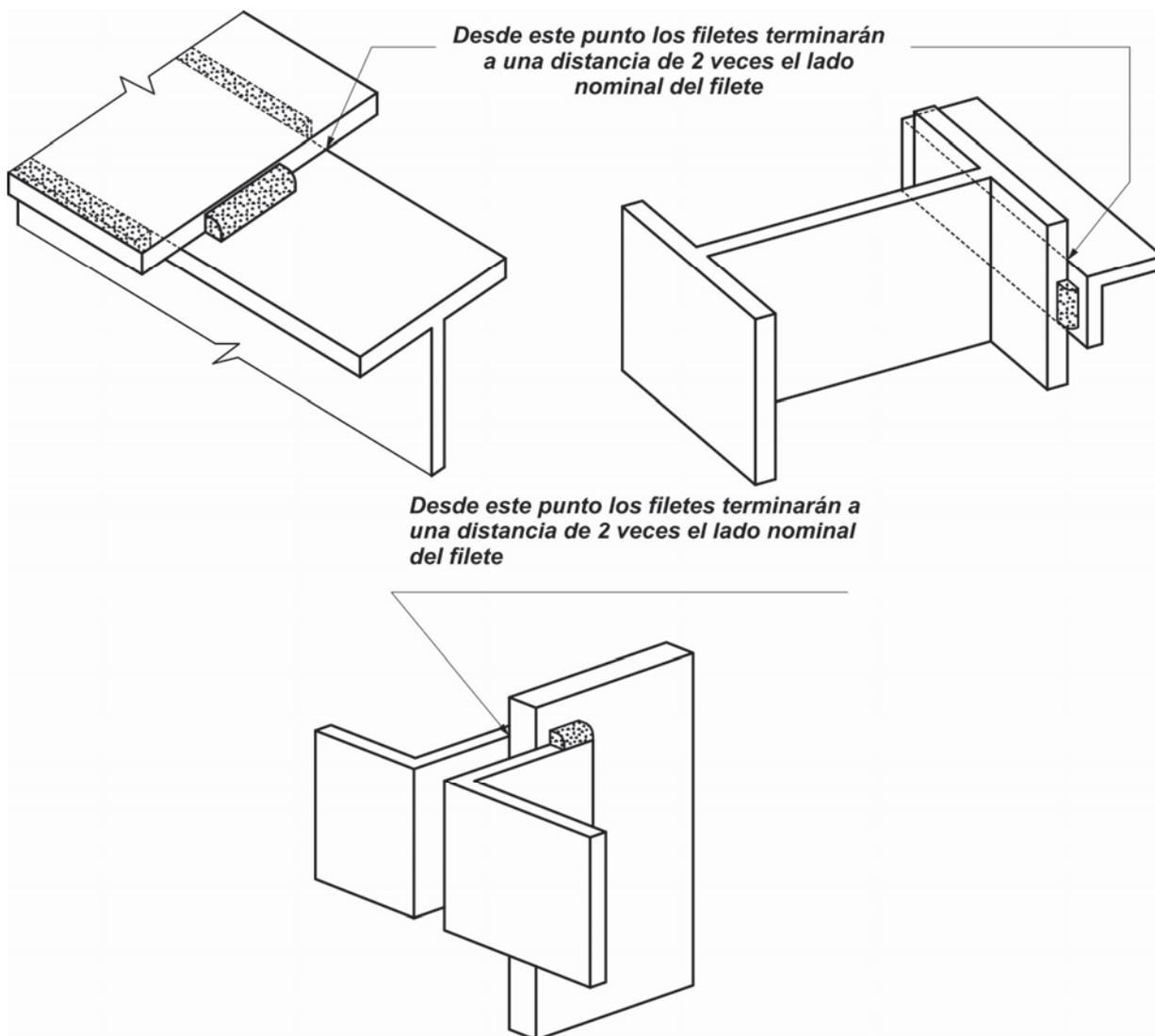


Figura J.2.6. Soldaduras de filete en lados opuestos de un plano común.

Los cordones de soldadura de filete en agujeros y muescas pueden ser usados para transferir corte en juntas traslapadas ó para prevenir el pandeo o separación de partes traslapadas y para unir componentes de barras armadas. Tales soldaduras de filete podrán solaparse, debiendo cumplir las disposiciones de la Sección **J.2.**. Las soldaduras de filete en agujeros o muescas no serán consideradas como soldaduras de tapón o de muesca.

J.2.3. Soldadura de tapón y de muesca

J.2.3(a). Area efectiva

El área efectiva de corte de soldaduras de tapón y de muesca será considerada como el área de la sección nominal del agujero ó muesca en el plano de la superficie de empalme.

J.2.3(b). Limitaciones

Las soldaduras de tapón o de muesca pueden ser usadas para transmitir corte en uniones de solape o para prevenir el pandeo de las partes traslapadas y para unir las partes componentes de barras armadas.

El diámetro de los agujeros para soldaduras de tapón será mayor o igual que el espesor de la parte que la contiene más **8 mm**, redondeados al siguiente mm, ni mayor que el diámetro mínimo más **3 mm**, o **2,25 veces** el espesor del metal que se suelda.

La separación mínima centro a centro de soldaduras de tapón será **4 veces el diámetro del agujero** (ver la Figura J.2.7.).

La longitud de la muesca para una soldadura de muesca no excederá de **10 veces** el espesor de la soldadura. El ancho de la muesca no será menor que el espesor de la parte que la contiene más **8 mm**, redondeando al mm siguiente, ni será mayor que **2,25 veces** el espesor de la soldadura. Los extremos de la muesca serán semicirculares o tendrán las esquinas redondeadas con un radio no menor que el espesor de la parte que la contiene, excepto en aquellos extremos en los cuales se extienda hasta el borde de la parte.

La separación mínima de líneas de soldadura de muesca en la dirección transversal a su longitud será **4 veces el ancho de la muesca**. La separación mínima centro a centro en la dirección longitudinal sobre cualquier línea deberá ser **2 veces la longitud de la muesca**.

El espesor de las soldaduras de tapón o de muesca en material de espesor menor ó igual que **16 mm**, será igual al espesor del material. En material de espesor mayor que **16 mm**, el espesor de la soldadura será **al menos la mitad del espesor del material, pero nunca será menor que 16 mm**.

J.2.4. Resistencia de diseño de uniones soldadas

La **resistencia de diseño de la unión soldada, ϕR_n (kN)**, será el menor valor entre la resistencia del metal base para los estados límite de rotura por tracción y rotura por corte y la resistencia del material del electrodo para el estado límite de fluencia, según lo indicado a continuación:

(1) Para el metal base

$$R_n = F_{nBM} A_{BM} (10)^{-1} \quad (\text{J.2.2})$$

(2) Para el material del electrodo

$$R_n = F_{nw} A_{we} (10)^{-1} \quad (\text{J.2.3})$$

siendo:

F_{nBM} la resistencia nominal del metal base, en MPa.

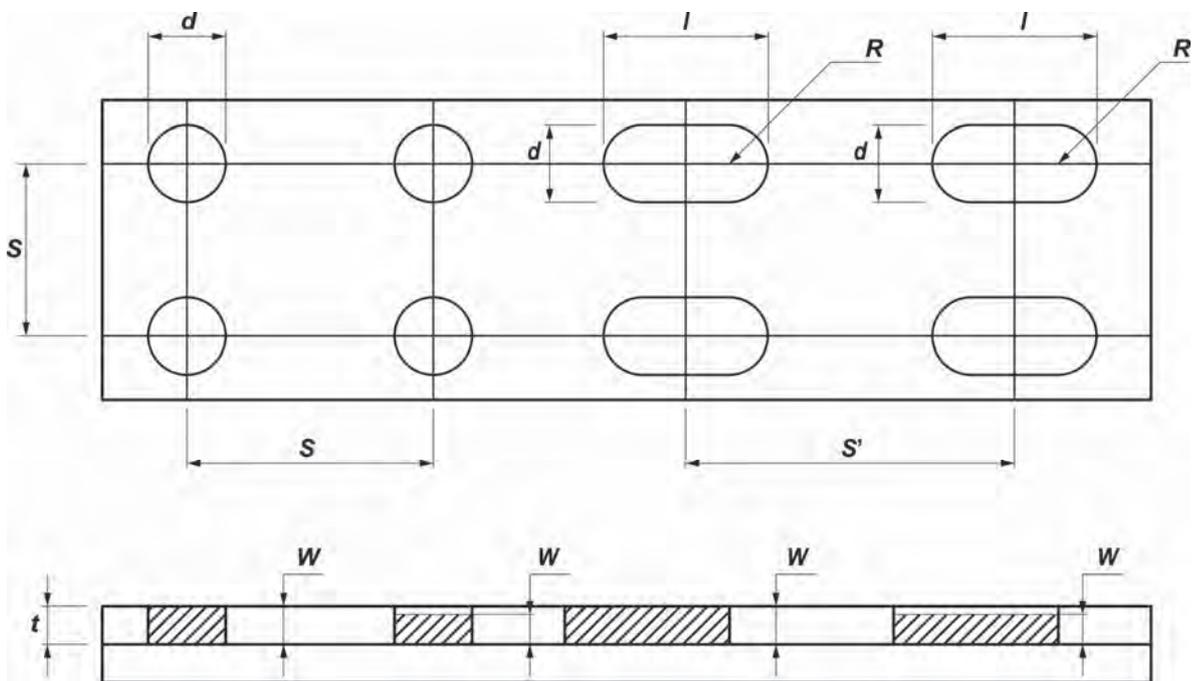
F_{nw} la resistencia nominal del material del electrodo, en MPa.

A_{BM} el área efectiva de la sección transversal del metal base, en cm^2 .

A_{we} el área efectiva de la soldadura, en cm^2 .

ϕ el factor de resistencia.

Los valores de ϕ , F_{nBM} y F_{nw} y sus respectivas limitaciones se dan en la Tabla J.2.5..



Espesor de la chapa mm	Diámetro del agujero, o ancho de la muesca mm	Separación y altura de soldadura
5 a 6	14	$d \geq (t + 8 \text{ mm});$ y también $d \leq 2,25 W$ $S \geq 4d$ $S' \geq 2l$ $l \leq 10W$ $R = d/2$ $R \geq t$ Cuando $t \leq 16 \text{ mm}$, $W = l$ Cuando $t > 16 \text{ mm}$, $W = l/2$ pero no menor que 16 mm
8 a 9,5	18	
11 a 13	22	
14 a 16	24	

Figura J.2.7. Soldaduras de tapón o de muesca.

Tabla J.2.5. Resistencia de diseño de uniones soldadas según el tipo de soldadura

Tipo de fuerza y dirección ^(a)	Material crítico	Factor de resistencia ϕ	Resistencia nominal F_{nBM} o F_{nw}	Área efectiva A_{BM} o A_{we}	Nivel de resistencia requerida del material de aporte ^{(b) (c)}
SOLDADURAS A TOPE DE PENETRACIÓN COMPLETA					
Tracción perpendicular al área efectiva	Base	0,9	F_y	A_{BM}	Se debe usar metal de aporte compatible con metal base. Para requerimientos de Ensayo Charpy ver ^(d)
Compresión perpendicular al área efectiva	Base	0,9	F_y	A_{BM}	Se debe usar metal de aporte con un nivel de resistencia igual o menor que el del metal de aporte compatible con el metal base.
Tracción o compresión paralela al eje de la soldadura	Base	0,9	F_y	A_{BM}	Se permite usar metal de aporte con un nivel de resistencia igual o menor que el del metal de aporte compatible con el metal base.
	La tracción o compresión en las partes unidas, paralela al eje de la soldadura, no necesita ser considerada en el dimensionado de la unión soldada				
Corte en el área efectiva	Base	0,90	$0,60 F_y$	A_{BM}	Se debe usar metal de aporte compatible con el metal base. ^(e)
	Electrodo	0,60	$0,60 F_{EXX}$	A_w	
SOLDADURAS A TOPE DE PENETRACIÓN PARCIAL Y SOLDADURAS A TOPE ACAMPANADAS					
Tracción perpendicular al área efectiva	Base	0,75	F_u	Ver J.4	Se permite usar metal de aporte con un nivel de resistencia igual o menor que el del metal de aporte compatible con el metal base.
	Electrodo	0,60	$0,60 F_{EXX}$	Ver J.2.1a	
Compresión Columna a base de apoyo y empalmes de columnas proyectadas por la Sección J.1.4(a)	No se necesita considerar la tensión de compresión en el proyecto de las soldaduras que unen las partes				
Compresión Uniones de miembros portantes que no sean columnas, proyectados por la Sección J.1.4(b)	Base	0,90	F_y	Ver J.4.	
	Electrodo	0,65	$0,60 F_{EXX}$	Ver J.2.1a	
Compresión Uniones de miembros no portantes	Base	0,90	F_y	Ver J.4.	
	Electrodo	0,65	$0,90 F_{EXX}$	Ver J.2.1a	
Tracción o compresión paralelos al eje de la soldadura	La tracción o compresión en las partes unidas, paralela al eje de la soldadura, no necesita ser considerada en el dimensionado de la unión soldada				
Corte en el área efectiva	Base	Gobernado por la Sección J.4.			
	Electrodo	0,60	$0,60 F_{EXX}$	J.2.1a	

Tabla J.2.5. (continuación), Resistencia de diseño de uniones soldadas según el tipo de soldadura

Tipo de fuerza y dirección ^(a)	Material crítico	Factor de resistencia ϕ	Resistencia nominal F_{nBM} o F_{nw}	Área efectiva A_{BM} o A_{we}	Nivel de resistencia requerida del material de aporte ^{(b) (c)}
SOLDADURAS DE FILETE					
Corte en el área efectiva	Base	Gobernado por la Sección J.4			Se permite usar metal de aporte con un nivel de resistencia igual o menor que el del metal de aporte compatible.
	Electrodo	0,60	0,6 F_{EXX}	Ver J.2.2a	
Tracción o compresión paralela al eje de la soldadura	La tracción o compresión en las partes unidas, paralela al eje de la soldadura, no necesita ser considerada en el dimensionado de la unión soldada.				
SOLDADURAS DE TAPÓN Y DE MUESCA					
Corte paralelo a la superficie de emplame (en el área efectiva)	Base	Gobernado por la Sección J.4.			Se permite usar metal de aporte con un nivel de resistencia igual o menor que el del metal de aporte compatible.
	Electrodo	0,60	0,60 F_{EXX}	Ver J.2.1a	
<p>(a) Para la definición del área efectiva, ver la Sección J.2.</p> <p>(b) Para el material de aporte compatible con el metal base ver la Tabla 3.1. del Reglamento CIRSOC 304-2007.</p> <p>(c) Se permite un material de aporte con un nivel de resistencia un nivel mayor al compatible con el metal base.</p> <p>(d) Para juntas en <i>T</i> o en ángulo sin retiro de chapas de respaldo en servicio se deberá usar material de aporte con una mínima tenacidad Charpy de 27J a 4°C. Ver la Sección J.2.6. Si el material de aporte no cumple la citada exigencia y la chapa de respaldo no es retirada la soldadura será dimensionada usando el factor de resistencia y la resistencia nominal de la soldadura a tope de penetración parcial.</p> <p>(e) Se puede usar material de aporte con un nivel de resistencia menor al compatible con el metal base para soldaduras a tope entrealas y alma que transmiten fuerza rasante en secciones armadas. En esos casos la unión soldada debe ser detallada y será dimensionada con el espesor del material como garganta efectiva, con $\phi = 0,65$ y $F_{nw} = 0,60 F_{EXX}$</p>					

J.2.5. Combinación de soldaduras

Si dos o más de los tipos generales de soldadura (a tope, filete, tapón, muesca) se combinan en una unión simple, la resistencia de diseño de cada una de éstas será calculada separadamente, con referencia al eje del grupo, con el objeto de determinar la Resistencia de diseño de la combinación.

J.2.6. Material de aporte

La elección del electrodo para usar en soldaduras a tope de penetración completa, sometidas a tracción en dirección perpendicular al área efectiva será determinada por los requerimientos para materiales de aporte dados en el **Reglamento CIRSOC 304-2007**.

Se utilizará material de aporte con una tenacidad Charpy de 27J a 4°C en los siguientes casos:

- (a) Uniones soldadas a tope de penetración completa en juntas en *T* o en ángulo sin retiro de chapas de respaldo, sometidas a tracción perpendicular a la sección

efectiva, a menos que ellas sean dimensionadas de acuerdo con la Tabla **J.2.5.** (ver la nota al pie **(d)**).

- (b)** Empalmes soldados a tope con penetración completa de perfiles pesados definidos en la Sección **A.3.1.b** (tanto perfiles laminados como secciones armadas soldadas) sometidas a tracción normal al área efectiva.

Para garantizar el cumplimiento de lo especificado bastará la presentación del certificado del Fabricante.

J.2.7. Mezcla de material de soldadura

Cuando se especifique una determinada tenacidad Charpy de la soldadura, los consumibles con que se ejecuten todas las soldaduras, punteados, pasadas de raíz y pasadas posteriores depositadas en una unión, deberán ser compatibles con el fin de asegurar la tenacidad del material compuesto.

J.3. BULONES Y BARRAS ROSCADAS

Hasta tanto estén redactadas las normas IRAM específicas se aplicarán las siguientes normas:

Bulones: ASTM A307, ASTM A325, ASTM A325M, ASTM A449, ASTM A490, ASTM A490M, ISO 7412

Tuercas: ASTM A194/A194M, ASTM A563, ASTM A563M, ISO 4775

Arandelas: ASTM F436, ASTM F436M, ISO 7415, ISO 7416

Indicadores directos de tensión: ASTM F959, ASTM F959M

Bulones de anclaje y barras roscadas: ASTM A36/36M, ASTM A193/193M, ASTM A354, ASTM A572/572M, ASTM 709/709M.

J.3.1. Bulones de alta resistencia

J.3.1.(a) Tipos de uniones

Este Reglamento contempla **tres tipos de uniones con bulones de alta resistencia** cuyo uso y ejecución deberán satisfacer los requisitos de la **Recomendación CIRSOC 305-2007 Recomendación para Uniones Estructurales con Bulones de Alta Resistencia:**

- (1) Unión con ajuste sin juego:** son uniones tipo aplastamiento con bulones apretados con ajuste sin juego.
- (2) Unión pretensada:** son uniones tipo aplastamiento con bulones totalmente pretensados según la Tabla **J.3.1.**
- (3) Unión de deslizamiento crítico:** son uniones tipo deslizamiento crítico con bulones totalmente pretensados según la Tabla **J.3.1.** y **tratamiento de las superficies de contacto.**

Las uniones (1) y (2) tipo **aplastamiento** se proyectan para trabajar por corte del bulón y aplastamiento de la chapa.

La unión (3) **tipo deslizamiento crítico** se proyecta para transmitir las fuerzas de corte por rozamiento entre las chapas sin permitir el deslizamiento.

Se utilizarán **uniones pretensadas** en los siguientes casos:

- (a) Uniones sometidas a efectos de fatiga sin inversión del sentido de las cargas,
- (b) Uniones sometidas a vibraciones o efectos dinámicos,
- (c) Uniones tipo aplastamiento con bulones A490 (ISO 10.9; A490M) sometidas a fuerzas de tracción o combinación de tracción y corte,
- (d) Toda unión donde las especificaciones de este Reglamento exijan el pretensado de los bulones.

Se utilizarán **uniones de deslizamiento crítico** en los siguientes casos:

- (a) Uniones en las que el deslizamiento de las superficies de contacto pueda afectar alguna condición de servicio o reducir la resistencia o la estabilidad de la estructura o del elemento estructural (por ejemplo uniones extremas de barras armadas),
- (b) Uniones sometidas a efectos de fatiga con inversión del sentido de las cargas,
- (c) Uniones con agujeros holgados,
- (d) Uniones con agujeros ovalados cuando su mayor dimensión no es perpendicular a la dirección de la fuerza,
- (e) Cualquier otra unión establecida en los planos de proyecto o donde las especificaciones de esta Reglamento lo exijan.

Tabla J.3.1. Tracción mínima de los bulones, (kN)^(a)

Bulones milimétricos . Rosca Gruesa			Bulones – Rosca UNC			
Diámetro nominal del bulón	Bulones ISO 8.8 A325M	Bulones ISO10.9 A490M	Diámetro nominal del bulón		Bulones A325	Bulones A490
(mm)	(kN)	(kN)	Pulg.	mm	(kN)	(kN)
12	48	61	7/16	11,11	40	-
14	67	84	1/2	12,70	53	66
16	91	114	9/16	14,28	68	85
18	111	140	5/8	15,87	84	105
20	142	178	3/4	19,05	125	156
22	176	220	7/8	22,22	172	215
24	205	257	1	25,40	226	283
27	267	334	1 1/8	28,57	249	356
30	326	408	1 1/4	31,75	317	453
33	403	504	1 3/8	34,92	377	539
36	475	594	1 1/2	38,10	459	656

(a) Igual a **0,70** de la resistencia mínima a la tracción del bulón, redondeado a la unidad más cercana.

J.3.1.(b). Requisitos de instalación

Si se requiere apretar a más del **50%** de su resistencia mínima especificada a la tracción, los bulones **A449 en tracción** y en las **uniones de corte tipo aplastamiento**, tendrán una arandela endurecida según la norma IRAM 5457, instalada bajo la cabeza del bulón, y las tuercas deberán cumplir los requerimientos de la norma IRAM 5456.

Durante el armado, todas las superficies a unir, incluyendo aquellas adyacentes a las arandelas, estarán libres de escamas, excepto las fuertemente adheridas por laminación.

Todos los **bulones A325** (A325M, ISO 8.8) y **A490** (A490M, ISO 10.9) serán apretados hasta una **tracción del bulón no menor** que la dada en la Tabla **J.3.1.**, excepto en los casos que se indican más abajo. El apriete será ejecutado mediante uno de los procedimientos siguientes: el método del giro de la tuerca, mediante un indicador directo de tracción, por una llave calibrada o por un bulón calibrado.

Los bulones sólo necesitan ser apretados con un **ajuste sin juego** en: (a) uniones del tipo aplastamiento sometidas a corte donde se permite el deslizamiento o (b) uniones tipo aplastamiento sujetas a tracción o tracción combinada con corte ejecutadas solamente con bulones **A325** (A325M, ISO 8.8) y donde el aflojamiento o fatiga debido a vibraciones o cargas pulsantes no son la condición de proyecto.

La **condición de ajuste sin juego** se define como el ajuste obtenido por unos cuantos golpes con una llave de impacto o por el esfuerzo máximo de un trabajador con una llave de tuerca ordinaria, hasta obtener un contacto firme entre las piezas unidas.

Cuando se empleen bulones **A490, A490M o ISO 10.9** de **más de 25 mm** de diámetro, en chapas externas con agujeros holgados u ovalados, se deberá usar una arandela endurecida de acuerdo con la norma ASTM F436 (o ASTM F436M), (con un espesor mínimo de 8 mm) en lugar de arandelas comunes.

J.3.1.(c). Resistencia

Para uniones con **ajuste sin juego del tipo aplastamiento** se deberá emplear la resistencia nominal dada en las Tablas **J.3.2.** y **J.3.5.** Los bulones a ser apretados solamente bajo la condición de **ajuste sin juego** serán claramente identificados en los planos de proyecto y montaje.

En uniones de **deslizamiento crítico**, cuando la dirección de la fuerza se oriente hacia un borde de la parte unida, se deberá proveer una resistencia al aplastamiento suficiente para cargas mayoradas de acuerdo con las especificaciones de la Sección **J.3.10.**

J.3.2. Tamaño y uso de agujeros

El **tamaño máximo** de los agujeros para bulones está dado en la Tabla **J.3.3.** En los planos se podrán indicar agujeros mayores, para las bases de las columnas, por requerimientos de tolerancia en la ubicación de los anclajes de las fundaciones de hormigón.

Se deberán ejecutar **agujeros normales** en las uniones de miembro con miembro, a menos que el Proyectista Estructural o el Director Técnico apruebe agujeros holgados, ovalados cortos u ovalados largos en uniones abulonadas. Se pueden introducir chapas de relleno de hasta **6 mm**, dentro de uniones de deslizamiento crítico calculadas sobre la base de agujeros normales, sin hacer la reducción de la resistencia nominal al corte especificada del bulón correspondiente a agujeros ovalados.

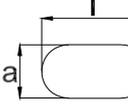
Se podrán usar **agujeros holgados** en cualquiera o todas las chapas de uniones de deslizamiento crítico, pero no podrán ser usadas en uniones tipo aplastamiento. Se deberán instalar arandelas endurecidas sobre los agujeros holgados de una chapa externa.

Tabla J.3.2. Resistencia de diseño de bulones

Descripción de los bulones	Resistencia a la tracción		Resistencia al corte en uniones del tipo aplastamiento	
	Factor de resistencia ϕ	Resistencia nominal, F_{nt} (MPa)	Factor de resistencia ϕ	Resistencia nominal, F_{nv} (MPa)
Bulones comunes Tipos A307, ISO 4.6	0,75	260 ^(a)	0,75	140 ^(b,e)
Bulones A325, A325M ó ISO 8.8 cuando la rosca no está excluida de los planos de corte		620 ^(d)		330 ^(e)
Bulones A325, A325M ó ISO 8.8 con la rosca excluida de los planos de corte		620 ^(d)		415 ^(e)
Bulones A490, A490M ó ISO 10.9 cuando la rosca no está excluida de los planos de corte		778 ^(d)		414 ^(e)
Bulones A490, A490M ó ISO 10.9 con la rosca excluida de los planos de corte		778 ^(d)		517 ^(e)
Partes roscadas que cumplen con los requerimientos de la Sección A.3. , y la rosca no está excluida de los planos de corte		$0,75 F_u$ ^(a,c)		$0,40 F_u$
Partes roscadas que cumplen con los requerimientos de la Sección A.3. , y la rosca está excluida de los planos de corte		$0,75 F_u$ ^(a,c)		$0,50 F_u$ ^(a,c)
<p>(a) Cargas estáticas solamente. (b) Se permite la rosca en los planos de corte. (c) La resistencia nominal a la tracción de la parte roscada de una varilla recalcada, basada en el área de la sección en el diámetro mayor de la rosca A_D, será mayor que el área nominal del cuerpo A_b de la varilla antes del recalado multiplicada por F_y. (d) Para bulones A325, A325M, ISO 8.8 y A490, A490M, ISO 10.9 solicitados a tracción con fatiga, ver el Apéndice 3. (e) Cuando se empleen uniones del tipo aplastamiento para empalmar barras traccionadas o comprimidas con bulones separados en dirección paralela a la fuerza a más de 1000 mm, los valores tabulados deberán ser reducidos en un 20%.</p>				

Se podrán usar **agujeros ovalados cortos** en cualquiera o todas las chapas de uniones de deslizamiento crítico o del tipo aplastamiento. Los agujeros ovalados cortos se podrán usar independientemente de la dirección de la carga en uniones del tipo deslizamiento crítico, pero su longitud mayor deberá ser normal a la dirección de la fuerza en el caso de uniones tipo aplastamiento. Se deberán instalar arandelas sobre los agujeros ovalados cortos en una chapa externa. Cuando se usen bulones de alta resistencia, estas arandelas deberán ser endurecidas.

Tabla J.3.3. Dimensión nominal de los agujeros

Diámetro de los bulones (mm)	Dimensiones de los agujeros (mm)			
	Normales (Diámetro)	Holgados (Diámetro)	Ovalados cortos (Ancho x Largo)	Ovalados largos (Ancho x Largo)
				
6	8	9	-	-
7	9	10	-	-
8	10	11	-	-
10	12	13	-	-
12	14	16	14 x 18	14 x 30
14	16	18	16 x 20	16 x 35
16	18	20	18 x 22	18 x 40
20	22	24	22 x 26	22 x 50
22	24	28	24 x 30	24 x 55
24	27	30	27 x 32	27 x 60
27	30	35	30 x 37	30 x 67
>28	d+3	d+8	(d+3) x (d+10)	(d+3)x(2,5 xd)
Diámetro de los bulones (pulgadas)	Dimensiones de los agujeros (pulgadas)			
¼	5/16	3/8	-	-
5/16	3/8	7/16	-	-
3/8	7/16	1/2	-	-
7/16	1/2	9/16	-	-
1/2	9/16	5/8	9/16 x 11/16	9/16 x 1 1/4
5/8	11/16	13/16	11/16 x 7/8	11/16 x 1 9/16
3/4	13/16	15/16	13/16 x 1	13/16 x 1 7/8
7/8	15/16	1 1/16	15/16 x 1 1/8	15/16 x 2 3/16
1	1 1/16	1 1/4	1 1/16 x 1 5/16	1 1/16 x 2 1/2
≥1 1/8	d+1/16	d+5/16	(d+1/16)x(d+3/8)	(d+1/16)x(2,5xd)

Tanto en uniones tipo deslizamiento crítico como tipo aplastamiento, los **agujeros ovalados largos** sólo podrán ser usados en una de las partes unidas en cada superficie individual de empalme. Se podrán usar **agujeros ovalados largos** independientemente de la dirección de la fuerza en uniones tipo deslizamiento crítico, pero su mayor dimensión deberá ser normal a la dirección de la fuerza en el caso de uniones tipo aplastamiento. En donde se usen **agujeros ovalados largos** en una chapa externa, deberán colocarse arandelas planas o una barra continua con agujeros normales, que tengan el tamaño suficiente como para cubrir completamente el óvalo después del montaje. En uniones con bulones de alta resistencia, tales arandelas planas o barras continuas tendrán un espesor mayor o igual a **8 mm** y deberán ser de material de grado estructural, pero no necesitan ser endurecidas. Si se requieren arandelas endurecidas para el uso de bulones de alta resistencia, estas arandelas endurecidas deberán ser colocadas sobre la superficie externa de la arandela plana o de la barra continua.

J.3.3. Separación mínima

La distancia mínima **s** entre los centros de los agujeros normales u holgados será **3 veces** el diámetro nominal del bulón. Para agujeros ovalados la distancia mínima **s** entre centros

de circunferencias extremas adyacentes será **3 veces** el diámetro nominal del bulón. Para el cálculo de la resistencia al aplastamiento, ver la Sección **J.3.10.** (Ver la Figura **J.3.1.**).

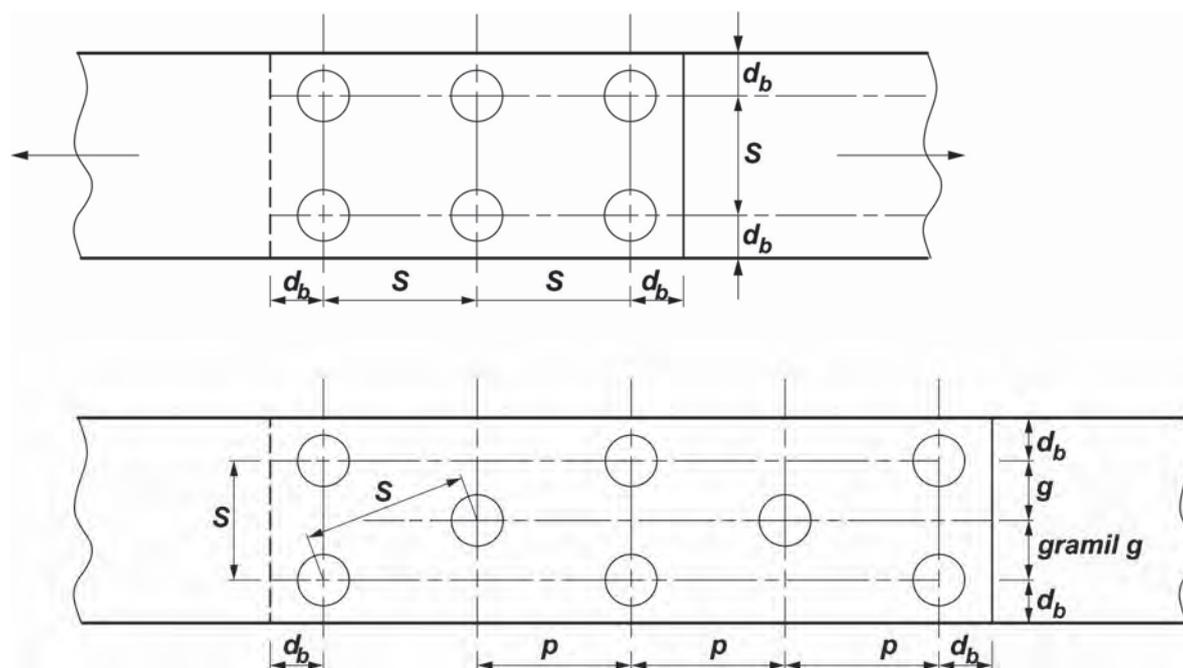


Figura J.3.1. Separación entre centros de agujeros.

J.3.4. Distancia mínima al borde

La distancia d_b , desde el centro de un agujero normal a un borde de un elemento unido, será mayor o igual que el valor aplicable indicado en la Tabla **J.3.4.** o mayor o igual que la requerida en la Sección **J.3.10.** (ver la Figura **J.3.1.**). La distancia desde el centro de un agujero holgado u ovalado a un borde de un elemento unido será mayor o igual que la requerida para un agujero normal a un borde, más el incremento C_2 de la Tabla **J.3.5.** Para los requerimientos de resistencia al aplastamiento se cumplirá lo especificado en la Sección **J.3.10.**

J.3.5. Máxima separación y distancia al borde

La distancia máxima desde el centro de cualquier remache o bulón al borde más próximo de las partes en contacto, será igual a **12 veces** el espesor de la parte unida en consideración, pero no excederá de **150 mm**. La separación longitudinal entre los bulones o remaches que vinculan elementos en contacto continuo como dos chapas o una chapa y un perfil será como sigue:

- (a) Para **barras pintadas o no pintadas sin peligro de corrosión**, la separación no superará **24 veces** el espesor de la chapa más fina ni **300 mm**.
- (b) Para **barras no pintadas de acero resistente a la corrosión** sometidas a la corrosión atmosférica, la separación no superará **14 veces** el espesor de la chapa más fina ni **180 mm**.

Tabla J.3.4. Distancia mínima al borde, ^(a) (mm) (Centro del agujero normal ^(b) al borde de la parte conectada)

Diámetro nominal del bulón (mm)	A bordes cizallados, matrizados o punzonados	A bordes de chapas, perfiles o barras laminadas, o a bordes cortados a soplete ^(c)
ISO - A325/A490		
6 6,35 (1/4")	12	10
7	14	11
8 7,96 (5/16")	15	12
10 9,52 (3/8")	18	14
12 11,11 (7/16")	22	16
14 12,7 (1/2")	25	18
16 15,9 (5/8")	28	22
20 19,05 (3/4")	34	26
22 22,22 (7/8")	38 ^(d)	28
24 25,4 (1")	42 ^(d)	30
27	48	34
30 28,58(1 1/8")	52	38
> 30 > 28,58(>1 1/8")	1.75 x Diámetro	1.25 x Diámetro

(a) Se permite utilizar una distancia al borde menor siempre que se satisfagan las expresiones de la Sección **J.3.10.**
 (b) Para agujeros holgados u ovalados, ver la Tabla **J.3.5.**
 (c) Se permite reducir todas las distancias en esta columna en **3 mm** cuando el agujero está en un punto en donde la tensión no excede el **25%** de la resistencia de diseño máxima del elemento.
 (d) Se permite que la distancia sea **32 mm** en el extremo de los ángulos de unión de vigas y chapas extremas de corte.

Tabla J.3.5. Valores del adicional de distancia al borde C₂, (mm) ^(a)

Diámetro nominal del bulón, mm	Agujeros holgados	Agujeros ovalados		
		Eje mayor perpendicular al borde		Eje mayor paralelo al borde
		Cortos	Largos ^(a)	
≤ 22	2	3	0,75 d	0
24	3	3		
≥ 27	3	5		

(a) Cuando la longitud del agujero sea menor que el máximo admisible (ver la Tabla **J.3.5.**), se permite reducir **C₂** en la mitad de la diferencia entre el valor máximo de la longitud y el valor real.

J.3.6. Resistencia de diseño a la tracción o al corte en uniones tipo aplastamiento

La resistencia de diseño a la tracción o al corte (ϕR_n) de los bulones de alta resistencia y de elementos roscados en uniones tipo aplastamiento será (para **un bulón**):

$$\phi R_n = \phi F_n A_b (10^{-1}) \quad (\text{J.3.1})$$

siendo:

ϕ el factor de resistencia indicado en la Tabla **J.3.2.**

F_n la resistencia nominal a la tracción F_{nt} , o al corte F_{nv} , indicadas en la Tabla **J.3.2.**,

en MPa.

A_b el área nominal del cuerpo no roscado del bulón o de la parte roscada (para varillas recalcadas, ver la nota (c) al pie de la Tabla **J.3.2.**), en cm^2 .

La fuerza aplicada será la suma de la fuerza requerida resultante de las acciones mayoradas y de cualquier tracción resultante del efecto de la acción de palanca producida por la deformación de las partes unidas (ver la Figura **J.3.2.**).

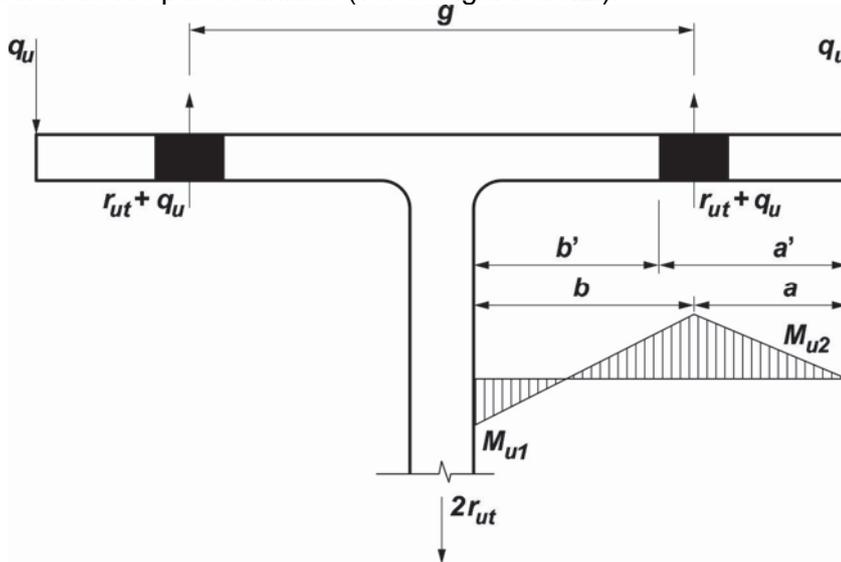


Figura J.3.2. Acción de palanca.

J.3.7. Combinación de tracción y corte en uniones tipo aplastamiento

La **resistencia de diseño a tracción**, (ϕR_n), de un **bulón** sometido a corte y a tracción combinados será:

$$\phi R_n = \phi F'_{nt} A_b (10^{-1}) \quad (\text{J.3.2})$$

siendo:

$$\phi = 0,75$$

F'_{nt} la resistencia nominal a tracción en términos de tensión calculada con las expresiones de la Tabla **J.3.6.** como una función de la tensión de corte requerida f_v producida por las cargas mayoradas, en MPa. La tensión de corte requerida f_v será menor o igual que la resistencia de diseño al corte, ϕF_v , indicada en la Tabla **J.3.2.**

Tabla J.3.6. Resistencia nominal a la tracción (F'_{nt}), (MPa). Uniones de tipo aplastamiento

Descripción de los bulones	Rosca incluida en el plano de corte	Rosca excluida del plano de corte
Bulones comunes (A307/ISO 4.6)	$338 - 2,5 f_v \leq 260$	
Bulones A325, A325M, ISO 8.8	$806 - 2,5 f_v \leq 620$	$806 - 2,0 f_v \leq 620$
Bulones A490, A490M, ISO 10.9	$1012 - 2,5 f_v \leq 778$	$1012 - 2,0 f_v \leq 778$
Partes roscadas de bulones A449 de diámetro mayor que 38,1 mm	$0,98 F_u - 2,5 f_v \leq 0,75 F_u$	$0,98 F_u - 2,0 f_v \leq 0,75 F_u$

Las expresiones para F'_{nt} de la Tabla **J.3.6. resultan** de la siguiente expresión general:

$$F'_{nt} = 1,3 F_{nt} - (F_{nt}/\phi F_{nv}) f_v \leq F_{nt} \quad (\text{J.3.3})$$

siendo:

F_{nt} la tensión nominal resistente a la tracción según la Tabla **J.3.2.**, en MPa.

F_{nv} la tensión nominal resistente al corte según la Tabla **J.3.2.**, en MPa.

f_v la tensión de corte requerida por las cargas mayoradas, en MPa.

J.3.8. Bulones de alta resistencia en uniones de deslizamiento crítico

Las **uniones de deslizamiento crítico podrán** ser proyectadas para:

(a) **no permitir el deslizamiento** para **cargas de servicio** (Estados límite de servicio) o para **cargas mayoradas** (Estados límite últimos).

(b) **satisfacer** los estados límite último **como uniones tipo aplastamiento para cargas mayoradas**

Cuando los bulones de uniones de deslizamiento crítico atraviesen láminas de reglaje, todas las superficies sujetas a deslizamiento deberán estar preparadas para desarrollar el coeficiente de rozamiento aplicable.

La **resistencia de diseño al deslizamiento** (corte) de bulones de alta resistencia en **uniones de deslizamiento crítico**, $R_d = \phi R_{str}$ (kN), deberá ser **mayor o igual** que la fuerza de corte requerida debida **a las cargas de servicio** o **a las cargas mayoradas** según corresponda, donde (**para un bulón**):

$$R_{str} = D_u \mu h_f T_b N_s \quad (\text{J.3.4})$$

siendo:

R_{str} la resistencia nominal al deslizamiento, en kN.

$D_u = 1,13$; el factor que refleja la relación entre la pretensión media del bulón instalado y la pretensión mínima especificada para el bulón. El uso de otros valores solo podrá ser aprobado por el Proyectista Estructural en base a ensayos debidamente calificados.

T_b la fuerza de tracción mínima del bulón dada en la Tabla **J.3.1.**, en kN.

N_s la cantidad de superficies de rozamiento

μ el coeficiente medio de rozamiento para las **Clases A** o **B**, según corresponda, o el que surja de ensayos.

(a) Para superficies **Clase A** (superficies de acero sin pintar, limpiadas con cepillo metálico y libres de polvo, óxido o cascarillas de laminación, o superficies con **recubrimiento Clase A** en acero limpiado con chorro de arena, o superficies galvanizadas por inmersión en caliente y con superficies ásperas) $\mu = 0,30$

(b) Para superficies **Clase B** (superficies de acero sin pintar, limpiadas con chorro de arena o superficies con **recubrimiento Clase B** en acero limpiado con chorro de arena) $\mu = 0,50$

ϕ el factor de resistencia

(a) Para agujeros normales y ovalados cortos con su eje mayor perpendicular a la dirección de la fuerza, $\phi = 1,0$

(b) Para agujeros holgados y ovalados cortos con su eje mayor paralelo a la dirección de la fuerza, $\phi = 0,85$

(c) Para agujeros ovalados largos con eje mayor perpendicular a la dirección de la fuerza, $\phi = 0,70$

(d) Para agujeros ovalados largos con eje mayor paralelo a la dirección de la fuerza, $\phi = 0,60$.

h_f el factor por chapas de relleno determinado según lo siguiente:

(1) Cuando no hay chapas de relleno o los bulones han sido agregados para distribuir carga en las chapas de relleno: $h_f = 1,0$

(2) Cuando los bulones no han sido agregados para distribuir carga en las chapas de relleno:

• para una sola chapa de relleno entre las piezas unidas $h_f = 1,0$

• para dos o **más** chapas de relleno entre las piezas unidas $h_f = 0,85$

Los **bulones así dimensionados** serán verificados para el **estado límite último de corte** (con las cargas mayoradas) trabajando **en uniones tipo aplastamiento** con las Secciones **J.3.6.** y **J.3.7.** y será verificado el **aplastamiento de la chapa** de acuerdo con las Secciones **J.3.1.** y **J.3.10.**

Se permite introducir láminas de reglaje digitiformes dentro de uniones de deslizamiento crítico proyectadas para agujeros normales sin reducir su resistencia de diseño al corte a la especificada para agujeros ovalados.

J.3.9. Tracción y corte combinados en uniones de deslizamiento crítico

Cuando las uniones de deslizamiento crítico estén solicitadas por una fuerza de tracción T_u , que reduzca la fuerza de apriete entre las superficies en contacto, la **resistencia de diseño al deslizamiento ϕR_{str}** , de la Sección **J.3.8.** deberá ser **multiplicada por el factor K_{SC}** , obtenido de la expresión **J.3.5**, siendo T_u (kN) la resistencia a tracción requerida **bajo cargas mayoradas**:

$$K_{SC} = [1 - T_u / (D_u T_b N_b)] \quad (\text{J.3.5})$$

siendo:

- T_b la fuerza de tracción mínima del bulón dada en la Tabla **J.3.1.**, en kN.
- N_b la cantidad de bulones cargados con la fuerza de tracción T_u .
- T_u la resistencia a tracción requerida **bajo cargas mayoradas**, en kN.
- D_u el factor según la Sección **J.3.8.**

J.3.10. Resistencia al aplastamiento de la chapa en los agujeros

El estado límite de aplastamiento de la chapa en los agujeros será verificado tanto para las uniones tipo aplastamiento como para las tipo deslizamiento crítico. El uso de agujeros holgados y ovalados cortos y largos con eje mayor paralelo a la dirección de la fuerza está restringido para las uniones de deslizamiento crítico mediante la Sección **J.3.2.**

La **resistencia de diseño al aplastamiento de la chapa en los agujeros** será ϕR_n , donde

$$\phi = 0,75.$$

- R_n la resistencia nominal al aplastamiento de la chapa, en kN.

La **resistencia nominal, R_n** , será determinada de la siguiente manera:

- (a) Para **un bulón** en una unión con **agujeros normales, holgados u ovalados cortos independientemente de la dirección de la fuerza**, o con agujeros **ovalados largos con eje mayor paralelo a la dirección de la fuerza**:

- Cuando la **deformación alrededor del agujero para cargas de servicio sea una consideración de proyecto (deformación no permitida):**

$$R_n = 1,2 L_c t F_u (10^{-1}) \leq 2,4 d t F_u (10^{-1}) \quad (\text{J.3.6a})$$

- Cuando la **deformación alrededor del agujero para cargas de servicio NO sea una consideración de proyecto (deformación permitida):**

$$R_n = 1,5 L_c t F_u (10^{-1}) \leq 3,0 d t F_u (10^{-1}) \quad (\text{J.3.6b})$$

(b) Para **un bulón en una unión con agujeros ovalados largos con eje mayor perpendicular a la dirección de la fuerza:**

$$R_n = 1,0 L_c t F_u (10^{-1}) \leq 2,0 d t F_u (10^{-1}) \quad (\text{J.3.6c})$$

Siendo para todas las expresiones anteriores:

- F_u la resistencia a la tracción mínima especificada del acero de la chapa, en MPa.
- d el diámetro del bulón, en cm.
- t el espesor de la parte conectada crítica, en cm.
- L_c la distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o el borde del material, en cm.
- La **resistencia efectiva de un bulón** será la **menor** entre la resistencia al corte dada por la Sección **J.3.6.** o la resistencia al aplastamiento de la chapa en el agujero del bulón, dada por la Sección **J.3.10.**
- Para la **unión**, la **resistencia efectiva del grupo de bulones** será tomada como **la suma de las resistencias efectivas de los bulones individuales** que pertenecen a la unión.

J.3.11. Pasadores especiales

La **resistencia nominal de pasadores especiales** distintos a los bulones indicados en la Tabla **J.3.2.** deberá ser verificada mediante ensayos debidamente calificados.

J.3.12. Pasadores traccionados

Cuando bulones u otros **pasadores traccionados** se unan a las paredes no rigidizadas de secciones cajón o de secciones tubulares se deberá determinar la resistencia de la pared mediante análisis racional.

J.3.13. Espesor del paquete de chapas

La resistencia de diseño de los bulones **Tipo A307 (ISO 4.6)** cuando el espesor del paquete de chapas a unir exceda de **cinco diámetros**, será disminuida en un **1,0%** por cada **2 mm**

de **espesor adicional** que supere los cinco diámetros.

J.4. ELEMENTOS AFECTADOS DE LOS MIEMBROS UNIDOS Y ELEMENTOS AUXILIARES DE LA UNIÓN

Las especificaciones de esta Sección se aplicarán a las **partes afectadas de los miembros vinculados** (por ejemplo las almas de las vigas) y a los **elementos auxiliares de la unión** (por ejemplo chapas de nudo, cartelas y angulares).

J.4.1. Resistencia de diseño de elementos sometidos a tracción

La **resistencia de diseño**, ϕR_n (kN), de elementos afectados y de elementos auxiliares, sometidos a tracción, será el menor valor de los resultantes para los estados límite de fluencia por tracción y de rotura por tracción a lo largo de una línea de rotura.

(a) Para el **estado límite de fluencia por tracción**:

$$R_n = F_y A_g (10^{-1}) \quad \phi = 0,90 \quad (\text{J.4.1})$$

(b) Para el **estado límite de rotura por tracción**:

$$R_n = F_u A_e (10^{-1}) \quad \phi = 0,75 \quad (\text{J.4.2})$$

siendo:

A_g el área bruta de la parte afectada o del elemento auxiliar, en cm².

A_e el área neta efectiva de la parte afectada o del elemento auxiliar, en cm².
Para elementos planos auxiliares de una unión abulonados:

$$A_e = A_n \leq 0,85 A_g$$

F_y la tensión de fluencia mínima especificada, en MPa.

F_u la tensión de rotura a tracción, en MPa.

J.4.2. Resistencia de diseño de elementos sometidos a corte

La **resistencia de diseño**, ϕR_n (kN), de elementos afectados y de elementos auxiliares, sometidos a corte, será el menor valor de los resultantes para los estados límite de fluencia por corte y de rotura por corte.

(a) Para el **estado límite de fluencia por corte**:

$$R_n = 0,60 F_y A_{gv} (10^{-1}) \quad \phi = 0,90 \quad (\text{J.4.3})$$

(b) Para el **estado límite de rotura por corte**:

$$R_n = 0,60 F_u A_{nv} (10^{-1}) \quad \phi = 0,75 \quad (\text{J.4.4})$$

siendo:

A_{gv} el área bruta de la parte afectada o del elemento auxiliar sometida a corte, en cm^2 .

A_{nv} el área neta de la parte afectada o del elemento auxiliar sometida a corte, en cm^2 .

J.4.3. Resistencia de diseño a la rotura de bloque de corte

La **resistencia de diseño**, ϕR_n (**kN**), para el estado límite de rotura de bloque de corte a lo largo de una o varias líneas de falla por corte y una línea perpendicular de falla por tracción será:

$$R_n = (0,60 F_u A_{nv} + U_{bs} F_u A_{nt})(10)^{-1} \leq (0,60 F_y A_{gv} + U_{bs} F_u A_{nt})(10)^{-1} \quad (\text{J.4.5})$$

siendo:

$$\phi = 0,75$$

A_{nv} el área neta sometida a corte, en cm^2 .

A_{nt} el área neta sometida a tracción, en cm^2 .

A_{gv} el área bruta sometida a corte, en cm^2 .

$U_{bs} = 1,0$ si la tensión de tracción es uniforme
 $= 0,5$ si la tensión de tracción **no** es uniforme

J.4.4. Resistencia de diseño de elementos sometidos a compresión

La **resistencia de diseño a compresión**, ϕP_n (**kN**), de elementos afectados y de elementos auxiliares para los estados límite de fluencia y pandeo se determinará de la siguiente forma:

(a) Para $(kL/r) \leq 25$

$$P_n = F_y A_g (10)^{-1} \quad \phi = 0,85 \quad (\text{J.4.6})$$

(b) Para $(kL/r) > 25$ se aplican las especificaciones del Capítulo E.

J.4.5. Resistencia de diseño de elementos sometidos a flexión

La resistencia de diseño a flexión de elementos afectados y de elementos auxiliares será el menor valor obtenido para los estados límite de fluencia, pandeo local, pandeo lateral-torsional y rotura por flexión.

J.5. CHAPAS DE RELLENO

J.5.1. Chapas de relleno en uniones soldadas

En aquellos lugares donde resulte necesario utilizar chapas de relleno en juntas que deban transmitir fuerzas, las chapas de relleno y las soldaduras de unión deberán cumplir las especificaciones de las Secciones **J.5.1a** o **J.5.1b** según corresponda.

J.5.1a. Chapas de relleno delgadas

Las chapas de relleno de espesor menor que **6 mm** no deberán ser usadas para transmitir tensiones. Cuando el espesor de la chapa de relleno sea menor que **6 mm** o cuando sea de **6 mm** o mayor, pero no adecuada para transferir las fuerzas aplicadas entre las partes unidas, la chapa de relleno tendrá sus bordes al rás con los bordes del cubrejunta, y la dimensión de la soldadura será la suma de la dimensión necesaria para soportar la carga en el cubrejunta más el espesor de la chapa de relleno, (ver la Figura **J.5.1**).

J.5.1b. Chapas de relleno gruesas

Cuando el espesor de la chapa de relleno sea adecuado para transferir las fuerzas aplicadas, la chapa de relleno de espesor mayor o igual que **6 mm** se extenderá más allá de los bordes externos del cubrejunta o partes metálicas que sirvan de base y será soldada al elemento sobre la cual aquella se ajusta, con soldadura suficiente como para transmitir la carga del cubrejunta, aplicada en la superficie de la chapa de relleno. Las soldaduras que unen el cubrejunta con la chapa de relleno serán suficientes para transmitir la carga del cubrejunta y serán de longitud suficiente para evitar sobrecargar la chapa de relleno a lo largo del pie del cordón de soldadura, (ver la Figura **J.5.2**).

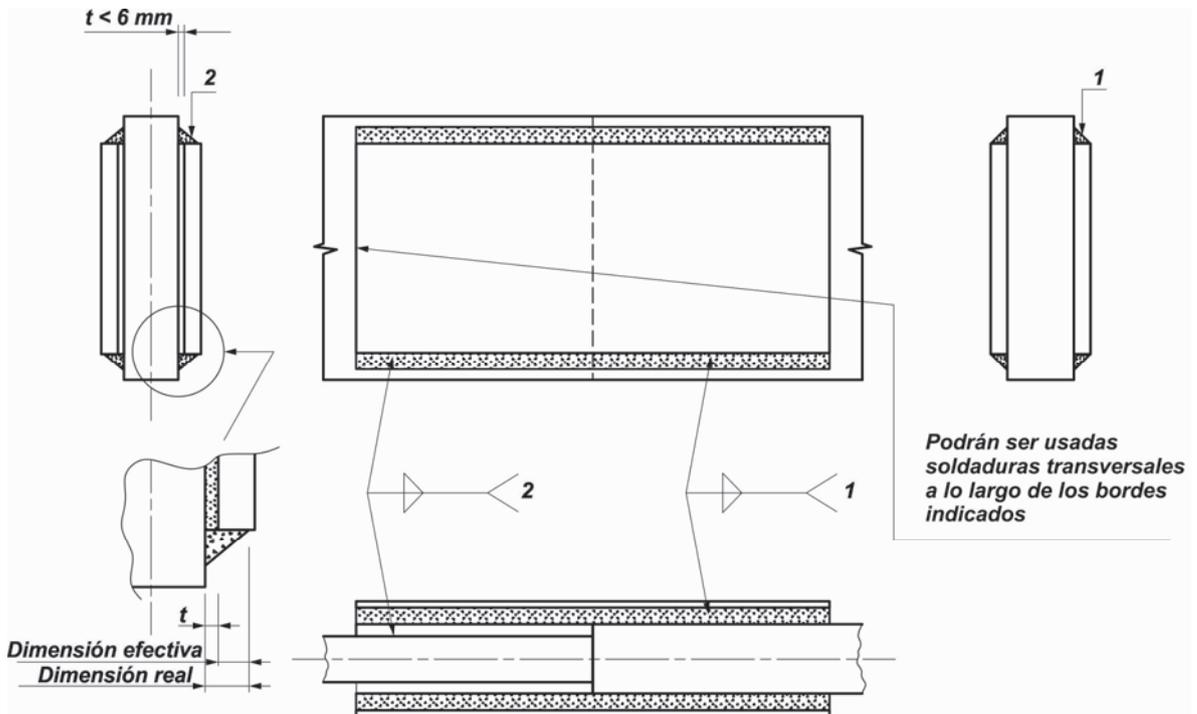


Figura J.5.1. Chapa de relleno con espesor menor que 6 mm.

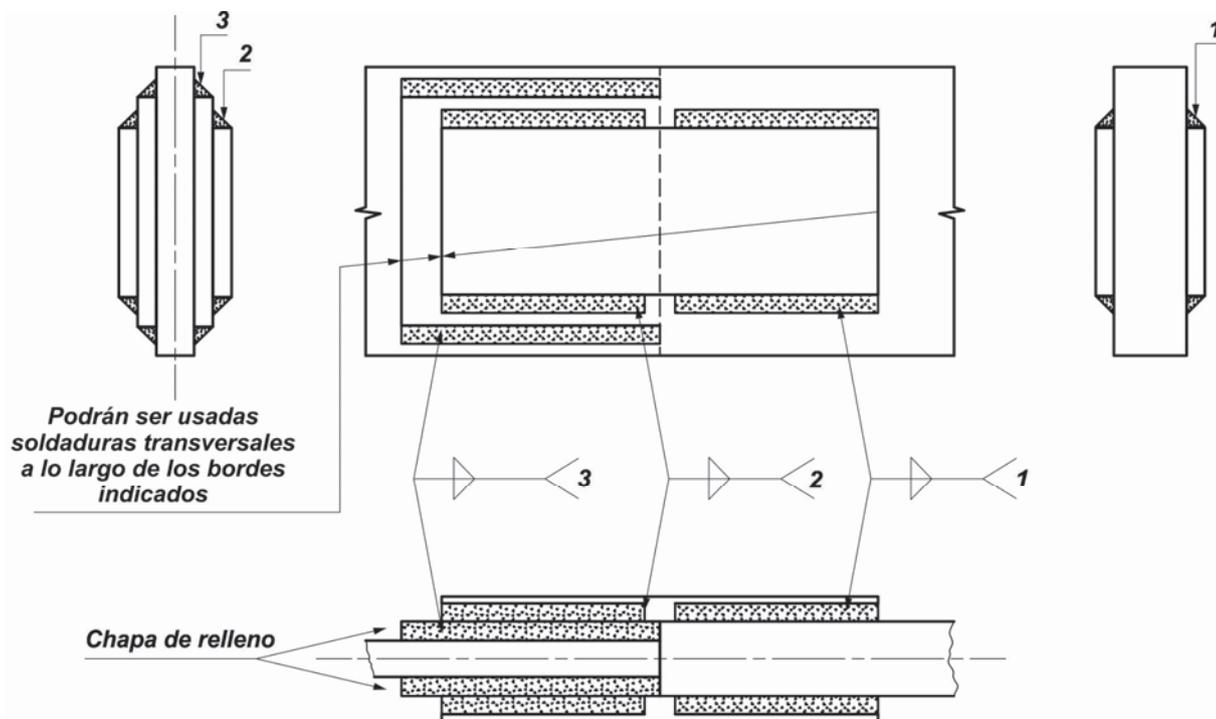


Figura J.5.2. Chapa de relleno con espesor mayor o igual que 6 mm.

J.5.2. Chapas de relleno en uniones abulonadas

Cuando los bulones que soportan cargas pasen a través de chapas de relleno de espesor menor o igual que **6 mm**, se utilizará la resistencia de diseño al corte sin reducción.

Cuando los bulones que soportan cargas pasen a través de chapas de relleno de espesor **mayor que 6 mm** será aplicado uno de los siguientes requerimientos:

- (1) La resistencia de diseño al corte de los bulones será multiplicada por el factor $[1 - 0,154 (t - 0,6)]$, pero no menor que **0,85**, donde t (cm) será el espesor total de las chapas de relleno; (ver la Figura **J.5.3**).
- (2) Las chapas de relleno se extenderán más allá de la junta y la prolongación de la chapa de relleno será asegurada con suficientes bulones para distribuir el esfuerzo total en la barra de manera uniforme en la sección combinada de la barra y la chapa de relleno;
- (3) El tamaño de la junta será aumentado para incluir en la unión un número de bulones equivalente al número total requerido en el punto anterior (2) ó
- (4) La unión será proyectada como de deslizamiento crítico con las especificaciones de la Sección **J.3.8** utilizando ya sea superficie **Clase A** o **Clase B** realizando el apriete con el método del giro de la tuerca.

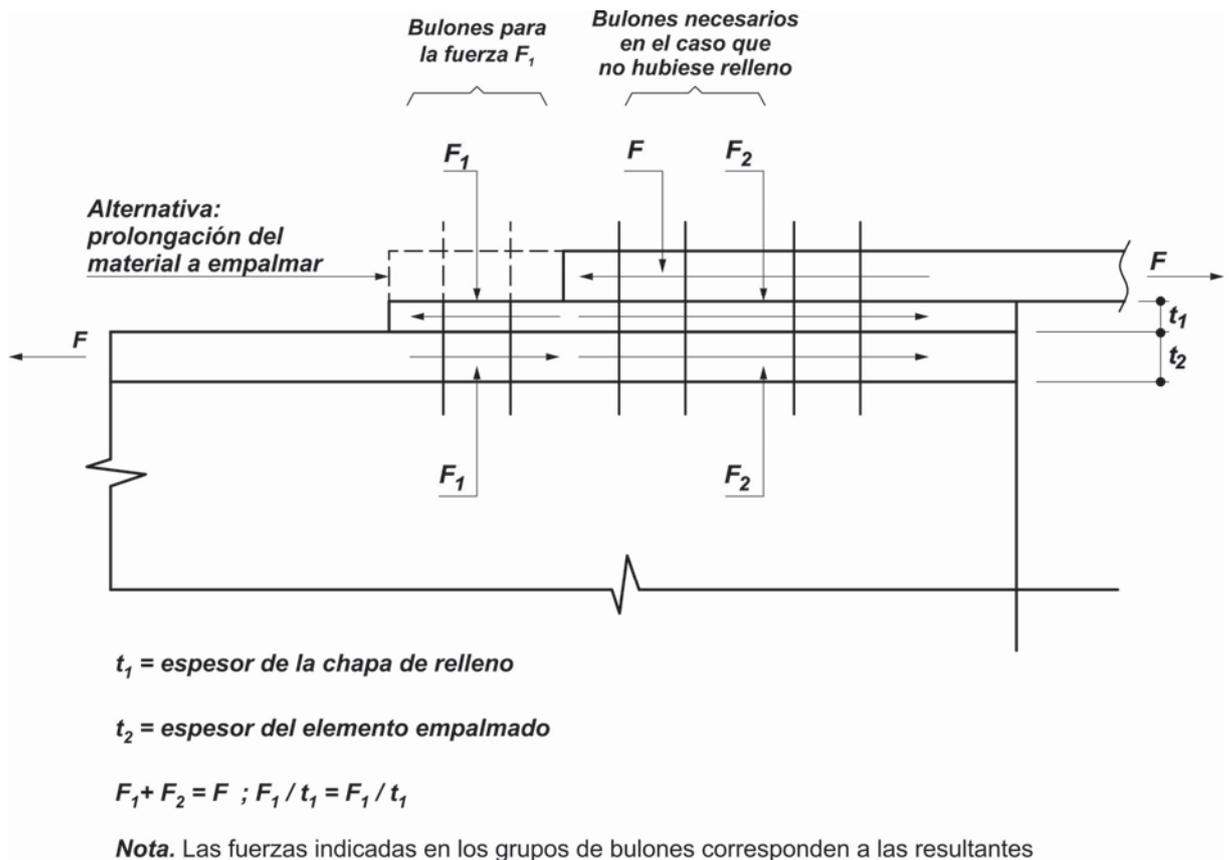


Figura J.5.3. Chapas de relleno en uniones abulonadas.

J.6. EMPALMES

Los **empalmes en vigas y vigas armadas en flexión** realizados con **soldadura a tope** desarrollarán las **resistencias de diseño totales de la menor de las secciones empalmadas**.

Otros tipos de empalme de secciones de **vigas y vigas armadas en flexión** deberán desarrollar la resistencia requerida por las solicitaciones actuantes en la sección de empalme, pero no menos del **50%** de las resistencias requeridas a flexión y a corte del miembro que se empalma. Los **cubrejuntas del empalme** se dispondrán de manera que las fuerzas que transmitan tengan una **distribución similar a la de las fuerzas** internas en las secciones que se empalman.

Los **empalmes de miembros comprimidos axilmente** deberán asegurar la **continuidad de rigidez con respecto a ambos ejes**. Para ello se deberá mantener el momento de inercia de la sección.

Los cubrejuntas, demás elementos auxiliares de la unión y los medios de unión serán dimensionados para transmitir una fuerza no menor que el **2,5%** de la resistencia axil requerida del miembro actuando en cualquier dirección perpendicular al eje del miembro.

Los cubrejuntas del empalme se dispondrán de manera que las fuerzas que transmiten tengan una distribución similar a la de la fuerza axial en las secciones que se empalman.

Si los extremos de los miembros comprimidos están mecanizados para transmitir las fuerzas por contacto, los elementos auxiliares de la unión y los medios de unión se deberán disponer para mantener alineadas las partes componentes y serán dimensionados para transmitir el **50%** de la fuerza axial requerida del miembro que se empalma. También deberán transmitir el **100%** de cualquier fuerza de tracción u otra sollicitación requerida que pueda sollicitar al miembro en alguna de las combinaciones de acciones mayoradas especificadas en la Sección **B.2.**

Si los extremos de los miembros no están mecanizados, los elementos auxiliares de la unión y los medios de unión se deberán dimensionar para transmitir el **100%** de la resistencia axial requerida del miembro que se empalma.

En empalmes de **miembros sollicitados a tracción** los elementos auxiliares de la unión y los medios de unión se dimensionarán para transmitir el **100%** de la fuerza axial requerida. Los cubrejuntas se dispondrán de manera que las fuerzas que transmitan tengan una distribución similar a la de la fuerza axial en las secciones que se empalman.

J.7. RESISTENCIA AL APLASTAMIENTO

La resistencia de diseño al aplastamiento, ϕR_n (kN), de superficies en contacto será determinada para el estado límite de aplastamiento (fluencia local por compresión) de la siguiente manera:

$$\phi = 0,75$$

R_n se define más adelante para varios tipos de aplastamiento, en kN.

(a) Para **superficies mecanizadas, pernos pasantes** en agujeros escariados, taladrados o punzonados y en los extremos de **rigidizadores ajustados** trabajando a aplastamiento,

$$R_n = 1,8 F_y A_{pb} (10^{-1}) \quad (\text{J.7.1})$$

siendo:

R_n la resistencia nominal al aplastamiento, en kN.

F_y la tensión de fluencia mínima especificada, en MPa.

A_{pb} la proyección del área de aplastamiento, en cm².

(b) Para **rodillos de dilatación** y en **balancines**,

Si $d \leq 635$ mm:

$$R_n = \frac{1,2}{20} (F_y - 90) L D (10^{-1}) \quad (\text{J.7.2})$$

Si $d > 635 \text{ mm}$:

$$R_n = \frac{9,6}{20} (F_y - 90) L \sqrt{D} (10^{-1}) \quad (\text{J.7.3})$$

siendo:

R_n la resistencia nominal al aplastamiento, en kN.

D el diámetro, en cm.

L la longitud de aplastamiento, en cm.

J.8. BASES DE COLUMNAS Y COMPRESION SOBRE EL HORMIGÓN

Se tomarán las medidas adecuadas para transferir las cargas y los momentos de las columnas a las zapatas y fundaciones.

Para casos no contemplados por los Reglamentos específicos vigentes, la resistencia de diseño a compresión sobre el hormigón puede considerarse como $\phi_c P_p$:

(a) Si la placa de apoyo cubre toda el área del hormigón

$$P_p = 0,85 f'_c A_1 (10^{-1}) \quad (\text{J.8.1})$$

(b) Si la placa de apoyo cubre un área menor que el área total de apoyo de hormigón

$$P_p = 0,85 f'_c A_1 \sqrt{A_2 / A_1} (10^{-1}) \quad (\text{J.8.2})$$

siendo:

$$\phi_c = 0,60$$

A_1 el área de acero que apoya en forma concéntrica con el apoyo de hormigón, en cm^2 .

A_2 el área máxima de la porción de la superficie de apoyo que es geoméricamente similar y concéntrica con el área cargada, en cm^2 . Ver la Figura **J.8.1**.

$$\sqrt{A_2 / A_1} \leq 2$$

f'_c la resistencia especificada a compresión del hormigón según el **Reglamento CIRSOC 201-2005**, en MPa.

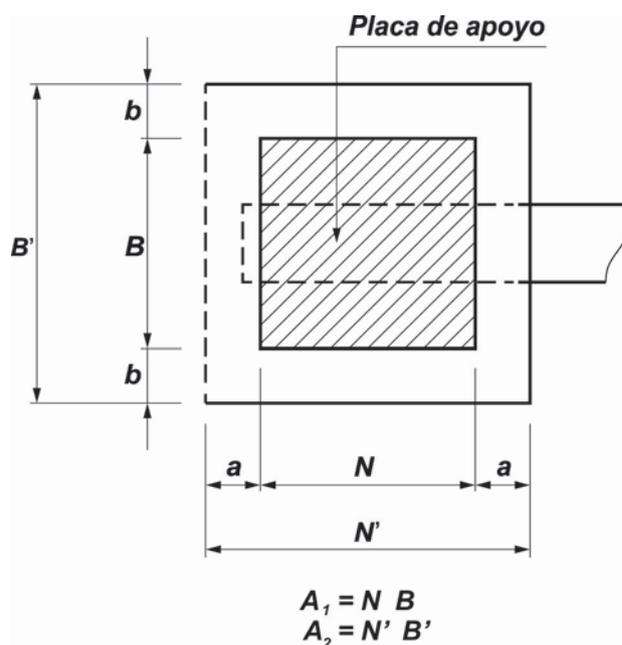


Figura J.9.1. Áreas de apoyo.

J.9. ANCLAJE DE INSERTOS, BARRAS, PERNOS Y BULONES DE ANCLAJE

Las **barras, pernos y bulones de anclaje** deberán tener una resistencia de diseño igual o superior que las resistencias requeridas resultantes de las fuerzas y momentos transmitidas por las columnas de la estructura a las bases metálicas por la acción de las cargas mayoradas. Las barras de anclaje serán proyectadas con las especificaciones para partes roscadas dadas en la Tabla **J.3.2**.

Las **bases metálicas** que transfieran las fuerzas requeridas a las bases de hormigón serán proyectadas por análisis estructural y las especificaciones de este Reglamento.

El **anclaje de insertos, pernos y bulones de anclaje** será proyectado de acuerdo con las especificaciones del **Reglamento CIRSOC 201-2005** incluyendo el aplastamiento sobre el hormigón producido por fuerzas verticales y horizontales.

Se permiten agujeros de mayor tamaño y ranuras en las placas base siempre que se provea un adecuado apoyo de las tuercas sobre la placa con arandelas o perfiles de transición.

J.10. ALAS Y ALMAS SOMETIDAS A FUERZAS CONCENTRADAS

Esta Sección se aplica cuando actúen **fuerzas concentradas simples y/o fuerzas concentradas dobles**, según se indica en cada subsección.

Una **fuerza concentrada simple** es de tracción o compresión. fuerzas concentradas dobles son las que forman una cupla actuando sobre el mismo lado del miembro, siendo una de tracción y la otra de compresión. (Figura **J.10.1**).

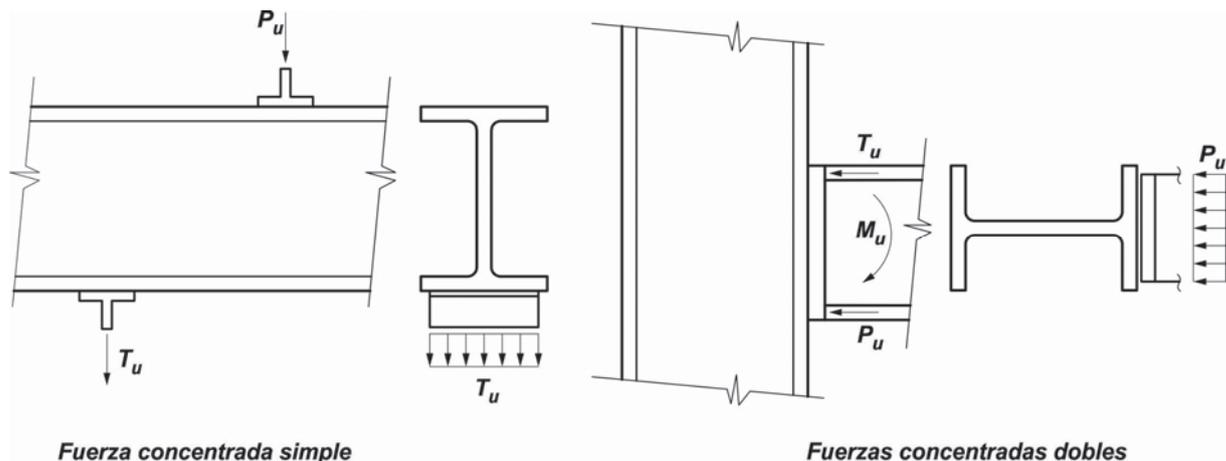


Figura J.10.1. Alas y almas sometidas a fuerzas concentradas

Se colocarán rigidizadores transversales en las secciones donde se apliquen las fuerzas concentradas de tracción para el estado límite de flexión local del ala, según lo especificado en la Sección **J.10.1.**, y en los extremos no rigidizados de vigas y vigas armadas según lo especificado en la Sección **J.10.7.**

Se colocarán rigidizadores transversales o chapas de refuerzo en las secciones donde se aplican las fuerzas concentradas para los estados límite de aplastamiento del alma, pandeo local del alma, pandeo lateral del alma y pandeo por compresión del alma, de acuerdo con lo especificado en las Secciones **J.10.2. a J.10.5.**

Se colocarán chapas de refuerzo o rigidizadores diagonales para el estado límite de fluencia por corte en alma de panel nodal de acuerdo con lo especificado en la Sección **J.10.6.**

Los rigidizadores transversales y diagonales requeridos en las Secciones **J.10.1. a J.10.7.** deberán también satisfacer las especificaciones de la Sección **J.10.8.**

Las chapas de refuerzo requeridas en las Secciones **J.10.2. a J.10.5.** deberán también satisfacer las especificaciones de la Sección **J.10.9.**

J.10.1. Flexión local del ala

Esta Sección se aplica para **fuerzas concentradas simples de tracción** y para **la componente de tracción** de una fuerza concentrada **doble**.

La **resistencia de diseño, ϕR_n , para el estado límite de flexión local del ala** se determinará con la siguiente expresión:

$$\phi = 0,90$$

$$R_n = 0,625 t_f^2 F_{yf} \quad (\text{J.10.1})$$

siendo:

R_n la resistencia nominal, en kN.

t_f el espesor del ala cargada, en cm.

F_{yf} la tensión de fluencia mínima especificada del acero del ala, en MPa.

Cuando la resistencia requerida sea mayor que ϕR_n , en la sección de aplicación de la fuerza concentrada que actúe en el ala, centrada con respecto al eje del miembro, se colocará un par de rigidizadores transversales.

Los rigidizadores transversales se extenderán desde el ala cargada hasta por lo menos la mitad de la altura del alma.

Si la longitud de carga medida transversalmente al ala, resulta menor que $0,15 b$, siendo b el ancho del ala, no será necesario verificar este estado límite con la expresión (J.10.1).

Cuando la sección de aplicación de la fuerza concentrada se encuentra a una distancia del apoyo del miembro menor que $10 t_f$, la resistencia nominal dada por la expresión (J.10.1) será reducida al **50%**.

Cuando sea necesario colocar rigidizadores transversales, los mismos se soldarán al ala cargada y la unión soldada transmitirá la parte de fuerza que corresponde al rigidizador. La unión soldada entre los rigidizadores y el alma será dimensionada para transmitir la parte de fuerza que corresponda al rigidizador de la porción de la carga aplicada que no sea transmitida directamente al alma.

Además se deberán satisfacer las especificaciones de la Sección J.10.8.

J.10.2. Fluencia local del alma

Esta Sección se aplica para **fuerzas concentradas simples** y para **ambas componentes** de fuerzas concentradas **dobles**.

La **resistencia de diseño**, ϕR_n , para el estado límite de fluencia local del alma se determinará con:

$$\phi = 1$$

La resistencia nominal R_n (kN) será determinada según lo siguiente (ver la Figura J.10.2):

- (a) Cuando la fuerza concentrada se aplique a una distancia del extremo del miembro **mayor** que la altura d del miembro:

$$R_n = (5 \cdot k + N) F_{yw} t_w (10^{-1}) \quad (\text{J.10.2})$$

- (b) Cuando la fuerza concentrada se aplique a una distancia del extremo del miembro **menor** o igual que la altura d del miembro:

$$R_n = (2,5 k + N) F_{yw} t_w (10^{-1}) \quad (\text{J.10.3})$$

En las expresiones (J.10.2) y (J.10.3) se definen los términos de la siguiente manera:

F_{yw} la tensión de fluencia mínima especificada del acero del alma, en MPa.

N la longitud de carga de la fuerza concentrada, (mayor o igual que k para la reacción de apoyo de la viga), en cm.

k la distancia desde la cara externa del ala al inicio del alma, (ver la Figura J.10.2.), en cm.

t_w el espesor del alma, en cm.

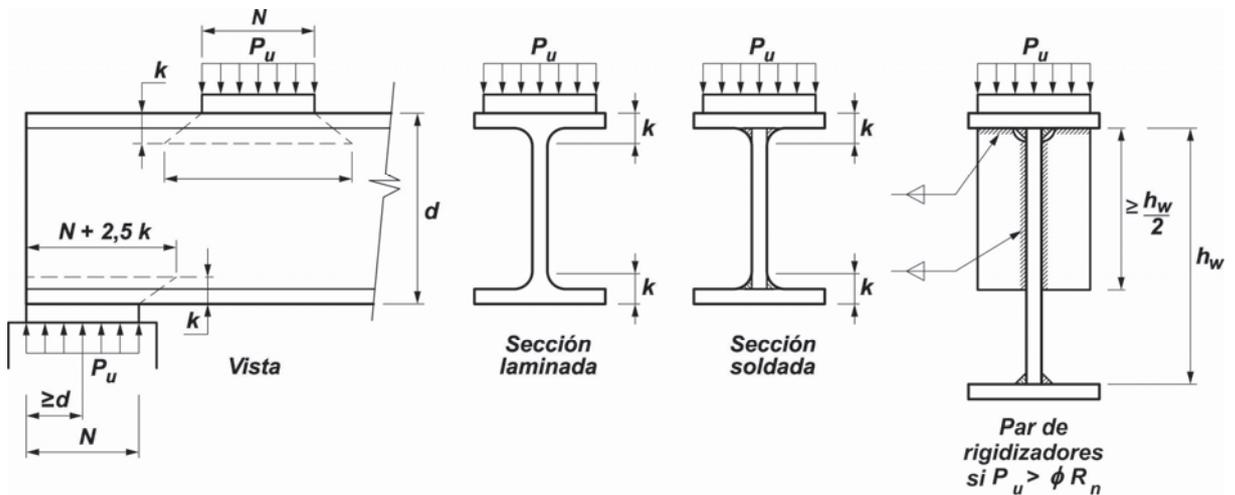


Figura J.10.2. Fluencia local del alma.

Cuando la resistencia requerida en la sección del alma en el pie de la soldadura de unión de ala y alma, sea mayor a ϕR_n , en la sección de aplicación de la fuerza concentrada de tracción o compresión, se colocará un par de rigidizadores transversales o una chapa de refuerzo.

Los rigidizadores transversales o la chapa de refuerzo se extenderán desde el ala cargada hasta por lo menos la mitad de la altura del alma.

Cuando sea necesario colocar rigidizadores transversales para una fuerza de tracción normal al ala, los mismos se soldarán al ala cargada y la unión soldada transmitirá la parte de fuerza que corresponda al rigidizador.

Cuando sea necesario colocar rigidizadores transversales para una fuerza de compresión normal al ala, los mismos apoyarán en, o serán soldados, al ala cargada de manera de transmitir la parte de fuerza que le corresponda al rigidizador.

La unión soldada entre los rigidizadores transversales y el alma será dimensionada para transmitir la parte de fuerza que corresponda al rigidizador de la porción de la carga aplicada que no sea transmitida directamente al alma.

Los rigidizadores transversales deberán también satisfacer las especificaciones de la Sección J.10.8..

Cuando se coloquen chapas de refuerzo. éstas deberán satisfacer las especificaciones de la Sección **J.10.9.**

J.10.3. Pandeo localizado del alma

Esta Sección se aplica para **fuerzas concentradas simples de compresión** y para **la componente de compresión** de fuerzas concentradas **dobles**.

La resistencia de diseño ϕR_n para el estado límite de pandeo localizado del alma se determina con el valor:

$$\phi = 0,75$$

La resistencia nominal, R_n (kN), será determinada según lo siguiente:

- (a) Cuando la fuerza concentrada de compresión se aplique a una distancia del extremo del miembro mayor o igual que $d/2$, siendo d la altura del miembro:

$$R_n = 0,08 t_w^2 \left[1 + 3 \left(\frac{N}{d} \right) \left(\frac{t_w}{t_f} \right)^{1,5} \right] \sqrt{\frac{F_{yw} t_f E}{t_w}} \quad (\text{J.10.4})$$

- (b) Cuando la fuerza concentrada de compresión se aplique a una distancia del extremo del miembro menor que $d/2$:

Para $N/d \leq 0,2$

$$R_n = 0,04 t_w^2 \left[1 + 3 \left(\frac{N}{d} \right) \left(\frac{t_w}{t_f} \right)^{1,5} \right] \sqrt{\frac{F_{yw} t_f E}{t_w}} \quad (\text{J.10.5a})$$

Para $N/d > 0,2$

$$R_n = 0,04 t_w^2 \left[1 + \left(\frac{4N}{d} - 0,2 \right) \left(\frac{t_w}{t_f} \right)^{1,5} \right] \sqrt{\frac{F_{yw} t_f E}{t_w}} \quad (\text{J.10.5b})$$

En las expresiones (J.10.4), (J.10.5a) y (J.10.5b) valen las siguientes definiciones:

- N la longitud de carga de la fuerza concentrada, en cm.
- d la altura total del miembro, en cm.
- t_f el espesor del ala, en cm.
- t_w el espesor del alma, en cm.

F_{yw} la tensión de fluencia mínima especificada del acero del alma, en MPa.

Cuando la resistencia requerida en el alma sea mayor que ϕR_n , en la sección de aplicación de la fuerza concentrada de compresión se colocará un sólo rigidizador transversal, un par de rigidizadores transversales o una chapa de refuerzo. Los rigidizadores transversales o chapas de refuerzo se extenderán desde el ala cargada hasta por lo menos la mitad de la altura del alma.

Cuando sea necesario colocar rigidizadores transversales, éstos se apoyarán en, o serán soldados, al ala cargada, de manera de transmitir la parte de la fuerza que le corresponde al rigidizador.

La unión soldada entre los rigidizadores transversales y el alma será dimensionada para transmitir la parte de fuerza que le corresponda al rigidizador de la porción de la fuerza aplicada que no sea transmitida directamente al alma.

Los rigidizadores transversales deberán también satisfacer las especificaciones de la Sección **J.10.8**.

Cuando se coloquen chapas de refuerzo, éstas deberán satisfacer las especificaciones de la Sección **J.10.9**.

J.10.4. Pandeo lateral del alma

Esta Sección se aplica **solamente a fuerzas concentradas simples de compresión** aplicadas a miembros donde el movimiento lateral relativo entre el ala comprimida cargada y el ala traccionada no está restringido en la sección de aplicación de la fuerza concentrada.

La resistencia de diseño del alma será ϕR_n con:

$$\phi = 0,85$$

La resistencia nominal R_n (kN) será determinada según lo siguiente:

(a) Cuando el ala comprimida tenga impedida su rotación :

Para $(h/t_w)/(L/b_f) \leq 2,3$

$$R_n = \frac{C_r t_w^3 t_f}{h^2} \left[1 + 0,4 \left(\frac{h/t_w}{L/b_f} \right)^3 \right] (10^{-1}) \quad (\text{J.10.6})$$

Para $(h/t_w)/(L/b_f) > 2,3$ el estado límite de pandeo lateral del alma no es aplicable.

Cuando la resistencia requerida en el alma sea mayor que ϕR_n se deberá adoptar alguna de las siguientes disposiciones: (ver la Figura **J.10.3**.)

- Disponer un apoyo lateral local en el ala traccionada en la sección de aplicación de la fuerza.

- Colocar un par de rigidizadores transversales o una chapa de refuerzo en la sección de aplicación de la fuerza, que deberán extenderse desde el ala comprimida cargada hasta por lo menos la mitad de la altura del alma.

Cuando sea necesario colocar rigidizadores transversales estos apoyarán en, o serán soldados, al ala cargada, de manera de transmitir la parte de fuerza que le corresponde al rigidizador. La unión soldada entre los rigidizadores transversales y el alma será dimensionada para transmitir la fuerza que corresponde al rigidizador.

Los rigidizadores transversales deberán también satisfacer las especificaciones de la Sección **J.10.8.**

Cuando se coloquen chapas de refuerzo éstas serán dimensionadas para tomar la totalidad de la fuerza concentrada aplicada.

Las chapas de refuerzo deberán satisfacer las especificaciones de la Sección **J.10.9.**

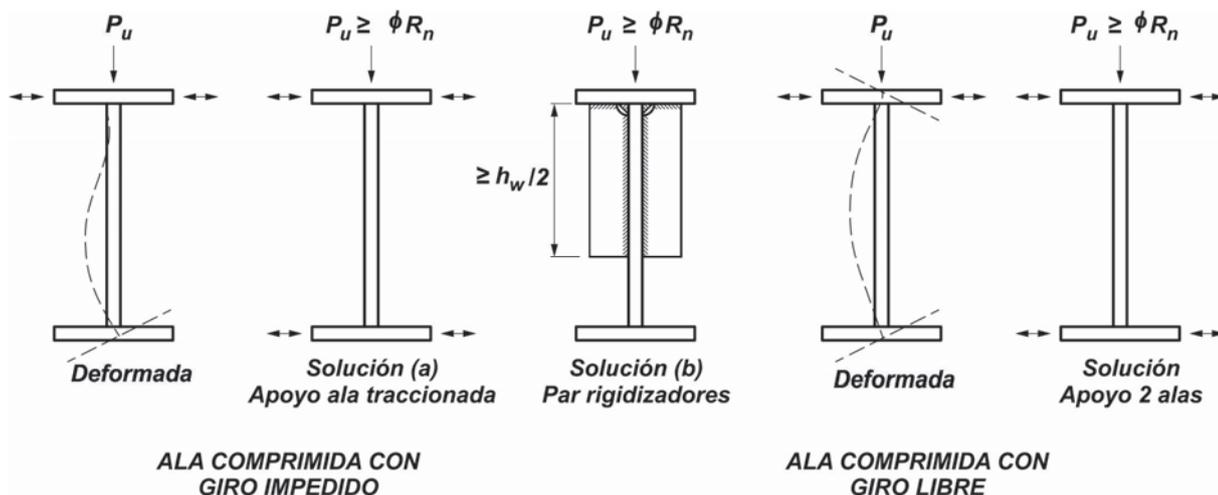


Figura J.10.3. Pandeo lateral del alma.

(b) Cuando el ala comprimida gire libremente (no hay restricción al giro):

Para $(h/t_w)/(L/b_f) \leq 1,7$

$$R_n = \frac{C_r t_w^3 t_f}{h^2} \left[0,4 \left(\frac{h/t_w}{L/b_f} \right)^3 \right] (10^{-1}) \quad (\text{J.10.7})$$

Para $(h/t_w)/(L/b_f) > 1,7$ el estado límite de pandeo lateral del alma no es aplicable.

Cuando la resistencia requerida en el alma sea mayor que ϕR_n se deberá disponer en ambas alas una rigidización lateral en la sección de aplicación de la fuerza concentrada, (ver la Figura **J.10.3.**).

En las expresiones (J.10.6) y (J.10.7) valen las siguientes definiciones:

- L la longitud lateralmente no arriostrada mas larga, medida a lo largo de cualquiera de las alas, adyacente a la sección de aplicación de la fuerza concentrada, en cm.
- b_f el ancho del ala, en cm.
- t_w el espesor del alma, en cm.
- t_f el espesor del ala, en cm.
- h - para las secciones laminadas, será la distancia libre entre alas menos los radios de acuerdo entre alas y alma;
- para secciones armadas abulonadas, será la distancia entre líneas de bulones;
- para secciones armadas soldadas, será la distancia libre entre alas.
- $C_r = 6,62 \times 10^6$, cuando $M_u < M_y$ en la sección de aplicación de la fuerza concentrada, en MPa.
 $= 3,31 \times 10^6$, cuando $M_u \geq M_y$ en la sección de aplicación de la fuerza concentrada, en MPa.
- M_u el momento flector requerido en la sección de aplicación de la carga, en kNm.
- M_y el momento elástico de la sección correspondiente a la aplicación de la carga, en kNm.

J.10.5. Pandeo por compresión del alma

Esta Sección se aplica a **un par de fuerzas concentradas simples de compresión**, o a **las componentes de compresión de un par** de fuerzas concentradas **dobles**, aplicadas en ambas alas de un miembro y actuando en la misma sección, (ver la Figura J.10.4.)

La resistencia de diseño para el estado límite de pandeo por compresión del alma será ϕR_n con:

$$\phi = 0,90$$

La resistencia nominal, R_n (kN) será:

$$R_n = \frac{2,4 t_w^3 \sqrt{F_{yw} E}}{h} \quad (\text{J.10.8})$$

Cuando el par de fuerzas de compresión sean aplicadas en una sección ubicada a una distancia del extremo del miembro menor que $d/2$, la resistencia nominal, R_n será reducida en un **50%**.

Cuando la resistencia requerida sea mayor que ϕR_n , en la sección de aplicación de las fuerzas de compresión, se deberá colocar un rigidizador transversal simple, un par de rigidizadores transversales o una chapa de refuerzo extendidas en toda la altura del alma.

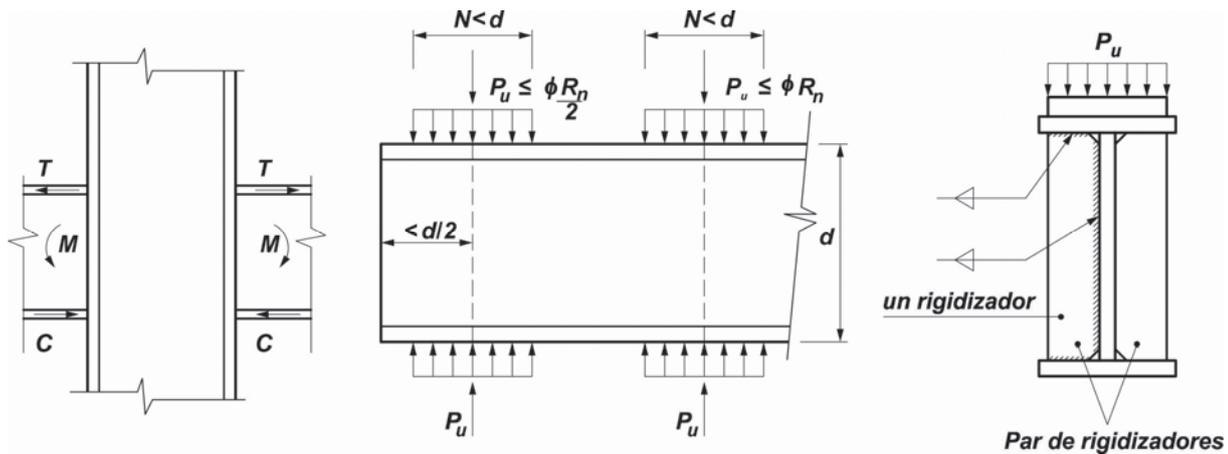


Figura J.10.4. Pandeo por compresión del alma.

Cuando sean necesarios rigidizadores transversales éstos se apoyarán en, o serán soldados a, las alas cargadas de manera de transmitir la parte de fuerza que le corresponde al rigidizador.

La unión soldada entre los rigidizadores transversales y el alma será dimensionada para transmitir la parte de fuerza que le corresponde al rigidizador de la porción de la carga aplicada que no sea transmitida directamente al alma.

Los rigidizadores transversales deberán también satisfacer las especificaciones de la Sección **J.10.8.**

Cuando se coloquen chapas de refuerzo, éstas deberán satisfacer las especificaciones de la Sección **J.10.9.**

J.10.6. Fluencia por corte en alma de panel nodal

Esta Sección se aplica para **cargas concentradas dobles actuando en una o ambas alas** del miembro y en una misma sección.

La **resistencia de diseño** en el panel nodal de una unión rígida de barras cuyas almas se encuentran en el mismo plano ϕR_n , será determinada con:

$$\phi = 0,90$$

R_n la resistencia nominal al corte del alma, en kN.

La resistencia nominal, R_n , será determinada de la siguiente manera:

(a) Cuando los efectos de la deformación del panel nodal no son considerados en el análisis de estabilidad del pórtico:

Para $P_u \leq 0,4 P_y$

$$R_n = 0,6 F_y d_c t_w (10^{-1}) \quad (\text{J.10.9})$$

Para $P_u > 0,4 P_y$

$$R_n = 0,6 F_y d_c t_w \left(1,4 - \frac{P_u}{P_y} \right) (10^{-1}) \quad (\text{J.10.10})$$

(b) Cuando la deformación del panel nodal, incluyendo su deformación plástica, es considerada en el análisis de estabilidad del pórtico:

Para $P_u \leq 0,75 P_y$

$$R_n = 0,6 F_y d_c t_w \left(1 + \frac{3 b_{cf} t_{cf}^2}{d_b t_w d_c} \right) (10^{-1}) \quad (\text{J.10.11})$$

Para $P_u > 0,75 P_y$

$$R_n = 0,6 F_y d_c t_w \left(1 + \frac{3 b_{cf} t_{cf}^2}{d_b t_w d_c} \right) \left(1,9 - \frac{1,2 P_u}{P_y} \right) (10^{-1}) \quad (\text{J.10.12})$$

En las expresiones (J.10.9) a (J.10.12) valen las siguientes definiciones:

t_w el espesor del alma de la columna, en cm.

b_{cf} el ancho del ala de la columna, en cm.

t_{cf} el espesor del ala de la columna, en cm.

d_b la altura de la viga, en cm.

d_c la altura de la columna, en cm.

F_y la tensión de fluencia mínima especificada del acero del alma de la columna, en MPa

$P_y = F_y A_g (10^{-1})$ la resistencia nominal axial de fluencia de la columna, en kN.

A_g el área bruta de la sección transversal de la columna, en cm².

En el panel nodal de una unión rígida de barras cuyas almas se encuentran en el mismo plano, y dentro de sus límites, deberán colocarse chapas de refuerzo o rigidizadores diagonales cuando la resistencia a corte requerida sea mayor que ϕR_n .

Cuando sean necesarias chapas de refuerzo, las mismas deberán cumplir las especificaciones del Capítulo G y su unión soldada al panel nodal deberá transmitir la parte de fuerza de corte que corresponda a las chapas de refuerzo.

Cuando, como alternativa, sean necesarios rigidizadores diagonales, la unión soldada entre los rigidizadores y el alma del panel nodal deberá transmitir la fuerza correspondiente al rigidizador necesaria para equilibrar el sistema. También deberán satisfacer las especificaciones de la Sección **J.10.8.**

J.10.7. Extremos no rigidizados de vigas y vigas armadas

En los extremos de vigas y vigas armadas que **no tengan restringida de otra manera la rotación** alrededor de su eje longitudinal, se deberá **colocar un par de rigidizadores transversales extendidos** en toda la altura del alma.

Dichos rigidizadores deberán también satisfacer las especificaciones de la Sección **J.10.8.**

J.10.8. Especificaciones adicionales para rigidizadores para fuerzas concentradas (rigidizadores de fuerza)

Los rigidizadores transversales y diagonales deberán también cumplir las siguientes especificaciones:

- (1) El ancho de cada rigidizador más la mitad del espesor de la faja vertical del alma será mayor o igual que **1/3** del ancho del ala o del ancho de la chapa de unión que transmite la fuerza concentrada.
- (2) El espesor de un rigidizador será mayor o igual que la mitad del espesor del ala o del espesor de la chapa de unión que transmite la fuerza concentrada.
Asimismo la relación ancho-espesor del rigidizador será menor o igual que:

$$0,56 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (F_y \text{ en MPa})$$

Los rigidizadores transversales de vigas y vigas armadas extendidos en toda la altura del alma y que reciban fuerzas de compresión aplicadas en las alas, deberán ser dimensionados como miembros axialmente cargados (columnas) de acuerdo con las especificaciones de la Sección **E.2.**

Se considerará una longitud efectiva de **0,75 h** y una sección transversal formada por la de los rigidizadores más una franja del alma de ancho igual que **25 t_w** para rigidizadores transversales interiores y **12 t_w** para rigidizadores transversales ubicados en el extremo del miembro.

La unión soldada entre estos rigidizadores de apoyo y el alma será dimensionada para transmitir la fuerza que toma el rigidizador.

Para rigidizadores que apoyan en el ala por contacto directo ajustado (mecanizado) ver la Sección **J.7.(a).**

J.10.9. Especificaciones adicionales para chapas de refuerzo para fuerzas concentradas

Las chapas de refuerzo que sean necesarias según las especificaciones de las Secciones **J.10.2.** a **J.10.5.** deberán también cumplir las siguientes especificaciones:

- (1) El espesor y el largo de la chapa de refuerzo serán los necesarios para proveer el material adicional que haga falta para igualar o superar la resistencia requerida.
- (2) La unión soldada de la chapa de refuerzo al alma deberá transmitir la parte de la fuerza total que tome la chapa de refuerzo.

Las chapas de refuerzo sometidas a compresión serán proyectadas con las especificaciones del Capítulo **E**.

Las chapas de refuerzo sometidas a tracción serán proyectadas con las especificaciones del Capítulo **D**.

Las chapas de refuerzo sometidas a corte (ver la Sección **J.10.6.**) serán proyectadas con las especificaciones del Capítulo **G**.

CAPÍTULO K. REQUISITOS ADICIONALES PARA CONEXIONES DE PERFILES TUBULARES Y SECCIONES CAJÓN

Este Capítulo no se ha desarrollado dado que parte de su contenido se puede consultar en el ***Reglamento CIRSOC 302-05 Reglamento Argentino de Elementos Estructurales de Tubos de Acero para Edificios.***

CAPÍTULO L. PROYECTO POR CONDICIONES DE SERVICIO

Las especificaciones de este Capítulo son aplicables al **Proyecto por condiciones de servicio**.

Su contenido está organizado de la siguiente manera:

- L.1. Especificaciones generales
- L.2. Contraflechas
- L.3. Deformaciones
- L.4. Desplazamientos laterales
- L.5. Vibraciones
- L.6. Movimiento y vibración inducidos por el viento
- L.7. Dilatación y contracción
- L.8. Deslizamiento de uniones.

L.1. ESPECIFICACIONES GENERALES

La estructura en su conjunto, sus elementos estructurales y sus uniones deberán ser verificados para **condiciones de servicio** según lo especificado en la Sección **B.3.7.** y en este Capítulo.

Una condición de servicio es un estado en el cual la función de un edificio, su aspecto y mantenimiento, durabilidad y el confort de sus ocupantes están preservados para un uso normal.

Los requerimientos generales del Proyecto por condiciones de servicio están especificados en el Capítulo **B**, Sección **B.3.7.**. Ningún estado límite de servicio podrá ser superado bajo los efectos de la combinación mas desfavorable de las acciones de servicio.

Son **estados límite de servicio**:

- Deformaciones, desplazamientos o flechas que afectan la apariencia o el uso eficaz de la estructura (incluyendo el mal funcionamiento de máquinas o servicios).
- Vibraciones, oscilaciones o inclinaciones que causan incomodidad a los ocupantes de un edificio o daño a sus contenidos.
- Daños a revestimientos o elementos no estructurales debidos a deformaciones, flechas, desplazamientos, vibraciones, oscilaciones o inclinaciones de la estructura o de alguno de sus elementos estructurales.

Cuando sea necesario, la **condición de servicio** deberá ser verificada utilizando la apropiada combinación de las **acciones nominales** que correspondan para el estado límite de servicio analizado.

Excepto en los casos en que, por acuerdo con el Comitente o por exigencias de reglamentos

específicos, sean necesarias combinaciones más rigurosas, las combinaciones de acciones a utilizar para verificar los estados límite de servicio serán las especificadas en la Sección **B.2.3.** del Capítulo **B.**

Los valores límites para asegurar la **condición de servicio** (por ejemplo deformaciones máximas, aceleraciones, etc.) deberán ser elegidos teniendo en cuenta la función para la cual es proyectada la estructura y los materiales de los elementos vinculados a ella.

Cuando se utilice **análisis global plástico** para la verificación de los estados límite últimos, según lo especificado en el **Apéndice 1**, se deberá investigar la posibilidad de que se produzca una redistribución plástica de fuerzas y momentos en estado de servicio. Esto no será permitido excepto que se pueda demostrar que dicha redistribución se producirá una sola vez y que no se repetirá. La redistribución se deberá tener en cuenta para el cálculo de las deformaciones máximas.

L.2. CONTRAFLECHAS

Si fueran necesarias **contraflechas** en **vigas, vigas armadas o reticulados** para lograr una posición adecuada del elemento estructural, las mismas deberán **indicarse en los planos del proyecto.**

Las contraflechas pueden ser necesarias para compatibilizar las deformaciones de la estructura con exigencias funcionales de equipos, fijación de aberturas, fijación de revestimientos, para evitar en cubiertas la acumulación de agua de lluvia o deshielo, etc.

Se deberán determinar para cada caso particular considerando como base la flecha debida a la carga permanente incluyendo o no, según el caso, los efectos de larga duración.

Si la contraflecha especificada resulta de la aplicación de una precarga durante el montaje, ello deberá ser indicado en los planos del proyecto.

Las **vigas, vigas armadas y reticulados que no tengan contraflecha especificada**, serán fabricadas de modo que, luego del montaje, quede hacia arriba cualquier deformación vertical debida al laminado o a la fabricación en taller.

L.3. DEFORMACIONES

Las **deformaciones de la estructura y de sus barras componentes debidas a las acciones de servicio no deberán afectar ninguna condición de servicio para lo cual no deberá ser superado el estado límite de servicio correspondiente.**

Las **deformaciones** se deberán calcular considerando los efectos de **segundo orden**, los giros prefijados de las uniones semirígidas y las posibles deformaciones plásticas en estado de servicio.

Los **valores máximos para las deformaciones** bajo la combinación mas desfavorable de acciones de servicio deberán ser menores o iguales a los establecidos en la Tabla **L.3.1.** Por convenio con el Comitente, para situaciones particulares de funcionamiento de equipos (por ejemplo medios de circulación vertical) o por especificaciones particulares (por ejemplo revestimientos especialmente sensibles a fisuración o daño por deformación), podrá ser necesario establecer límites mas rigurosos.

Tabla L.3.1. Valores límites para deformaciones y desplazamientos laterales ^{(a) (b)}

EDIFICIOS INDUSTRIALES				
	Elemento	Flecha total	Flecha por carga variable	
			debida a:	Valor
Deformaciones verticales	Miembros soportando cubiertas rígidas	L/200	Sobrecarga Útil	L/240
	Miembros soportando cubiertas flexibles	L/150	Sobrecarga Útil	L/180
	Miembros soportando pisos	L/250	Sobrecarga Útil	L/300
	Vigas carril para grúas de capacidad $\geq 200 \text{ kN}$		Rueda sin impacto	L/800 ^(c)
	Vigas carril para grúas de capacidad $< 200 \text{ kN}$		Rueda sin impacto	L/600 ^(c)
Desplazamiento lateral ^(d)	Vigas carril		Frenado transversal	L/600 ^(c)
	Desplazamiento de columnas con respecto a la base por acción de viento	H/150	Viento	H/160
	Desplazamiento de columnas con respecto a base por acción de puente grúa		Frenado puente Grúa	H/400 ^(c)
PARA OTROS EDIFICIOS				
Deformaciones verticales	Cubiertas y techos en general	L/200	Sobrecarga Útil	L/250
	Cubiertas y techos con carga frecuente de personas (no mantenimiento)	L/250	Sobrecarga Útil	L/300
	Pisos en general	L/250	Sobrecarga Útil	L/300
	Miembros de pisos o techos que soporten elementos y revestimientos susceptibles de fisuración	L/300	Sobrecarga Útil	L/350
	Pisos que soporten columnas	L/400	Sobrecarga Útil	L/500
	Donde la deformación puede afectar el aspecto	L/250		
Desplazamiento lateral ^(d)	Desplazamiento total del edificio referido a su altura total		Viento	H _T /300
	Desplazamiento relativo de pisos cuando cerramientos y divisiones no tienen provisiones especiales para independizarse de las deformaciones de la estructura		Viento	H _P /400
	Desplazamiento relativo de pisos cuando cerramientos y divisiones tienen provisiones especiales para independizarse de las deformaciones de la estructura		Viento	H _P /300
OBSERVACIONES				
<p>(a) La deformación vertical debida a acciones de servicio f (máx) a comparar con los valores límites de la Tabla será: f (máx) = $f - f_o$ f la deformación total calculada con la combinación de acciones más desfavorable incluyendo eventuales deformaciones por efectos de larga duración (fluencia lenta). f_o la contraflecha adoptada.</p> <p>(b) L la distancia entre apoyos. Para ménsulas $L = 2$ veces la longitud del voladizo. H la altura de la columna. H_T la altura total del edificio. H_P la altura del piso.</p> <p>(c) Los valores para grúas son orientativos. Para operación de grúa sensible a deformaciones verticales o desplazamientos laterales deberán fijarse límites más rigurosos.</p> <p>(d) Para combinaciones con acciones sísmicas ver el Reglamento INPRES-CIRSOC 103-2005, Parte IV</p>				

L.4. DESPLAZAMIENTOS LATERALES

Los **desplazamientos laterales de la estructura** y los **desplazamientos horizontales relativos de pisos**, debidos a la acción nominal del viento u otras acciones horizontales especificadas, no deberán producir el choque con estructuras adyacentes ni exceder los valores límites aceptables para la estabilidad o funcionamiento de la construcción.

Los desplazamientos laterales deberán ser evaluados con las combinaciones de acciones de servicio. Los valores máximos bajo la combinación mas desfavorable de acciones de servicio deberán ser menores o iguales a los establecidos en la Tabla **L.3.1.** Por convenio con el comitente, para situaciones particulares de funcionamiento de equipos o por especificaciones particulares, podrá ser necesario establecer límites más rigurosos.

L.5. VIBRACIONES DE PISOS

En el **dimensionamiento de vigas, vigas armadas y vigas de reticulado** que forman la estructura de soporte de pisos se deberá considerar el efecto de la vibración debida a la circulación de personas, salto o baile de personas en forma rítmica, funcionamiento de maquinarias o equipos, o a otras causas, para evitar que produzca incomodidad en los ocupantes, daños en los revestimientos y/o equipamientos, o resonancia. Ello será especialmente considerado cuando los pisos son de grandes superficies sin tabiques divisorios u otras medios de amortiguamiento.

Los **equipamientos mecánicos** que puedan producir vibraciones continuas inaceptables, deberán ser aislados de manera de reducir o eliminar la transmisión de esas vibraciones a la estructura.

L.6. MOVIMIENTO Y VIBRACIÓN INDUCIDOS POR EL VIENTO

En estructuras muy flexibles tales como edificios altos muy esbeltos o cubiertas muy grandes y en elementos estructurales muy flexibles como tensores ligeros se deberá investigar su comportamiento bajo la acción dinámica del viento en condiciones de servicio, a los efectos que no afecten la comodidad de las personas o produzcan daños en revestimientos o equipamientos.

L.7. DILATACIÓN Y CONTRACCIÓN

Se deberán adoptar provisiones adecuadas para considerar las dilataciones y contracciones de la estructura y de sus elementos estructurales por variaciones de temperatura. Las mismas deberán asegurar las condiciones de servicio, pues, por ejemplo, los daños en los revestimientos pueden ocasionar la penetración de agua y la consecuente corrosión.

L.8. DESLIZAMIENTO DE UNIONES

Se deberán incluir en el Proyecto los efectos del deslizamiento en uniones abulonadas cuando los mismos puedan causar deformaciones que afecten alguna condición de servicio.

Cuando sea necesario, la unión deberá ser proyectada como de deslizamiento crítico según lo especificado en las Secciones **J.3.8.** y **J.3.9.** del Capítulo **J.**

CAPÍTULO M. FABRICACIÓN Y MONTAJE

Las especificaciones de este Capítulo son aplicables a los requerimientos de los **planos de taller y de montaje, al proceso de fabricación, a la pintura en taller y al montaje propiamente dicho.**

Su contenido está organizado de la siguiente manera:

- M.1.** Planos de Taller y de Montaje
- M.2.** Fabricación
- M.3.** Pintura en taller
- M.4.** Montaje.

M.1. PLANOS DE TALLER Y DE MONTAJE

El Fabricante o Constructor de las estructuras de acero deberá preparar los **planos de taller** que considere necesarios antes de comenzar la fabricación. La Dirección de Obra podrá requerir la presentación de los planos de taller para su aprobación y podrá exigir la ampliación de la información suministrada tanto en el contenido como en la extensión de los planos presentados. Es obligación del Fabricante o Constructor **presentar planos de taller cuando se modifiquen criterios de unión establecidos en los documentos del Proyecto, cuando se modifiquen las posiciones relativas de las piezas y cuando se alteren sistemas resistentes.** En esos casos será obligatoria la aprobación de la Dirección de Obra previa al inicio de la fabricación o montaje, según corresponda.

Los **planos de taller** deberán contener toda la información necesaria para la fabricación de las partes componentes de la estructura, incluyendo la ubicación de las mismas, el tipo y tamaño de todas las soldaduras y bulones. En estos planos se distinguirá claramente entre las soldaduras y bulones de taller y las de obra y se deberán identificar igualmente las uniones con bulones de alta resistencia que sean del tipo pretensada o de deslizamiento crítico.

Los **planos de montaje** deberán ser preparados por el Contratista responsable del montaje con anterioridad al mismo y deberán contener toda la información necesaria para el montaje de la estructura. Se indicará el **plan de montaje** con la secuencia de montaje de las distintas partes de la estructura. También se indicarán en dichos planos, con claridad, las soldaduras y bulones a realizar en obra y se deberán identificar igualmente las uniones con bulones de alta resistencia que sean del tipo pretensado o de deslizamiento crítico. La Dirección de Obra podrá exigir la presentación del plan de montaje para su previa aprobación.

Los **planos de taller y de montaje** se harán de acuerdo con las reglas del arte y buscando obtener la mayor velocidad y economía de fabricación y de montaje.

M.2. FABRICACIÓN

M.2.1. Contraflecha, curvado y enderezado

Para introducir ó corregir **contraflechas, curvaturas y falta de linealidad**, se permitirá la aplicación local de calor o el uso de medios mecánicos.

La temperatura de las zonas calentadas, medida con métodos aprobados, no excederá de **590°C** para los aceros templados y revenidos, ni de **650°C** para los otros aceros.

M.2.2. Corte térmico

Los bordes cortados térmicamente cumplirán con los requerimientos del **Reglamento CIRSOC 304-2007**, artículos **5.15.4.3.** y **5.15.4.4.** con excepción de los bordes libres cortados térmicamente que estarán solicitados a tensiones estáticas de tracción, los que deberán estar libres de estrías con fondo redondeado de profundidad mayor que **5 mm**. Las estrías con profundidades mayores que **5 mm**, que subsistan después del corte, serán eliminadas por amolado ó reparadas por soldadura.

Todas las esquinas reentrantes, excepto las correspondientes a los extremos rebajados de vigas y a los agujeros de acceso para soldar, estarán de acuerdo con el **Reglamento CIRSOC 304-2007**, artículo **5.16.** Las esquinas reentrantes deberán tener una transición curva. Si se requieren otras condiciones para los contornos, éstas se deberán indicar en los documentos del Proyecto.

Los rebajes extremos de vigas y los agujeros de acceso se harán de acuerdo con los requerimientos geométricos de la Sección **J.1.6.** y las especificaciones de la Sección **5.17.** del **Reglamento CIRSOC 304-2007**. Para ejecutar los rebajes de vigas y los agujeros de acceso en perfiles pesados, se deberá aplicar un precalentamiento a temperatura mayor o igual que **65°C**, antes del corte térmico.

M.2.3. Aplanado de bordes

No se requerirá el aplanado ó terminación de los bordes cizallados o cortados térmicamente de chapas y perfiles, a menos que sea específicamente señalado en los planos ó esté incluido en una especificación para la preparación de los bordes a soldar.

M.2.4. Construcciones soldadas

La técnica de soldadura, la mano de obra, el aspecto y la calidad de las soldaduras realizadas, y los métodos utilizados para corregir trabajos no aceptados, estarán de acuerdo con las especificaciones del **Reglamento CIRSOC 304-2007**, excepto lo modificado en la Sección **J.2.**

M.2.5. Construcciones abulonadas

Todas las partes de los elementos abulonados deberán ser fijadas con pernos o bulones de montaje, y se deberán mantener rígidamente unidas mientras se ensamblan. El uso de un perno o bulón de montaje en los agujeros de bulones durante el armado no deberá distorsionar al metal ó agrandar los agujeros. Será causa de rechazo una deficiente coincidencia de los agujeros.

Este Reglamento permite el punzonado de los agujeros cuando el espesor del material sea menor o igual que el diámetro nominal del bulón más **3,2 mm**. Si el espesor del material es mayor que el diámetro nominal del bulón más **3,2 mm**, los agujeros se deberán taladrar o punzonar con un diámetro menor y luego serán escariados. El diámetro del punzón para todos los agujeros prepunzonados, y el diámetro de la mecha para todos los agujeros pretaladrados, deberá ser por lo menos **1,6 mm** menor que el diámetro nominal del bulón.

En chapas de aceros templados y revenidos de más de **12,7 mm** de espesor, los agujeros deberán ser taladrados.

Se permite colocar láminas de reglaje digitiformes completamente insertadas en la junta con un espesor total no mayor que **6 mm**, sin modificar la resistencia de diseño basada en el tipo de agujero. La orientación de estas láminas será independiente de la dirección de aplicación de la carga.

El uso de bulones de alta resistencia se deberá realizar de acuerdo con los requerimientos de la Sección **J.3.** y de la **Recomendación CIRSOC 305-2007 - Recomendación para Uniones Estructurales con Bulones de Alta Resistencia.**

M.2.6. Uniones por contacto de miembros comprimidos

En uniones por contacto de miembros comprimidos, en las cuales la resistencia del empalme dependa del contacto de las superficies de apoyo de las piezas individuales, las mismas serán amoladas, aserradas o mecanizadas por otros medios apropiados.

M.2.7. Tolerancias dimensionales

Las tolerancias dimensionales estarán de acuerdo con lo permitido por la **Guía CIRSOC 307-2018 Guía para la Construcción de Estructuras de Acero para Edificios**, y las normas IRAM-IAS correspondientes a cada tipo de perfil con **excepción** de lo indicado a continuación:

- a) Para barras sometidas a compresión axil o a compresión axil combinada con flexión y/o torsión, **las tolerancias para falta de rectitud y alabeo de la barra** serán:
 - Para secciones simples o armadas de los **Grupos I, II y III**: **L/1000**
 - Para secciones armadas de **Grupos IV y V**: **L/500**
- b) Para barras sometidas solo a flexión, la **tolerancia para alabeo de la barra** será: **L/500**, siendo **L** la distancia entre puntos lateralmente arriostrados medida según el eje de la barra.

M.2.8. Terminación de bases de columnas

Las bases de columnas y placas bases se terminarán de acuerdo con los siguientes requerimientos:

- (1) Las placas de apoyo de acero de espesor menor o igual que **50 mm** podrán no mecanizarse, siempre que se obtenga una superficie de contacto satisfactoria. Las chapas de apoyo de acero de espesor mayor que **50 mm**, pero no mayor que **100 mm**, podrán ser enderezadas por prensado o, si el prensado no es posible, se deberá mecanizar toda la superficie de apoyo (excepto en los casos indicados en los párrafos (2) y (3) de esta Sección), para obtener una superficie de contacto satisfactoria. Las chapas de apoyo de

acero de espesor mayor que **100 mm** deberán ser mecanizadas en toda la superficie de apoyo (excepto en los casos indicados en los párrafos **(2)** y **(3)** de esta Sección).

- (2)** No necesitan ser mecanizadas las superficies inferiores de las placas de apoyo y las bases de columnas que serán rellenadas con mortero para garantizar una superficie total de contacto sobre las fundaciones.
- (3)** Las superficies superiores de las placas de apoyo no necesitan ser mecanizadas cuando se utilizan cordones de soldadura a tope de penetración completa entre las columna y la placa de apoyo.

M.2.9. Agujeros para barras de anclaje

Este Reglamento permite realizar los agujeros para barras de anclaje por corte térmico con las especificaciones de la Sección **M.2.2.**

M.2.10. Agujeros de drenaje

Cuando sea posible que se produzca acumulación de agua dentro de miembros de sección cajón o tubulares, ya sea durante la construcción o en servicio, se deberá sellar el miembro y realizar un agujero de drenaje en la base, o protegerlo de la oxidación por otros medios apropiados.

M.3. PINTURA DE TALLER

M.3.1. Requerimientos generales

La pintura de taller y la preparación de la superficie se hará de acuerdo con lo indicado en la **Guía CIRSOC 307-2018 Guía para la Construcción de Estructuras de Acero para Edificios**.

No se requerirá pintura de taller solo si así está especificado en los documentos del Proyecto.

M.3.2. Superficies inaccesibles

Excepto para las superficies de apoyo por contacto, las superficies inaccesibles después del armado de taller, se deberán limpiar y pintar antes del armado, siempre que lo requieran las especificaciones del Proyecto.

M.3.3. Superficies en contacto

La pintura está permitida incondicionalmente en uniones tipo aplastamiento.

Para uniones de deslizamiento crítico, las superficies de contacto cumplirán con las especificaciones de la Sección **3.(b)** de la **Recomendación CIRSOC 305 – 2007**.

M.3.4. Superficies mecanizadas

Las superficies mecanizadas serán protegidas contra la corrosión mediante un revestimiento inhibidor de la corrosión que pueda ser removido antes del montaje ó pinturas cuyas características hagan innecesaria su remoción previa al montaje.

M.3.5. Superficies adyacentes a las soldaduras de obra

A menos que se especifique de otro modo en los documentos del Proyecto, la superficie alrededor de cualquier soldadura ejecutada en obra en por lo menos **50 mm**, deberá estar libre de materiales que pudieran impedir el correcto proceso de soldado ó produzcan humos inaceptables durante la ejecución de la soldadura.

M.4. MONTAJE

M.4.1. Alineado de bases de columnas

Las bases de las columnas deberán ser puestas a nivel y correctamente alineadas con un apoyo completo sobre el hormigón ó mampostería.

M.4.2. Arriostramiento

La estructura de acero y sus elementos estructurales se montarán y se aplomarán, dentro de las tolerancias definidas en la **Guía CIRSOC 307-2018 Guía para la Construcción de Estructuras de Acero para Edificios**.

Cuando sea necesario se proveerán arriostramientos provisorios, de acuerdo con los requerimientos de la citada **Guía CIRSOC 307-2018**. Tales arriostramientos se proyectarán para soportar todas las cargas a las cuales la estructura pueda ser sometida durante el montaje y la construcción, incluyendo equipo y la operación del mismo.

Estos arriostramientos deberán ser mantenidos todo el tiempo que sea necesario para garantizar la seguridad.

M.4.3. Alineación

No se ejecutará ningún abulonado ó soldadura permanente hasta que las partes adyacentes afectadas de la estructura hayan sido correctamente alineadas.

M.4.4. Ajuste de uniones de columnas comprimidas y placas base

Independientemente del tipo de empalme empleado (abulonado, soldadura a tope de penetración parcial) se permite una falta de contacto cuya luz no exceda de **1,5 mm**.

Cuando la abertura supere **1,5 mm**, pero sea menor que **6 mm**, y una investigación estructural muestre que no existe suficiente área de contacto, la abertura será rellenada con láminas de reglaje de acero de espesor constante. Las láminas de reglaje podrán ser de acero común, independientemente del tipo de acero principal.

M.4.5. Soldaduras de obra

La Dirección de Obra podrá ordenar la limpieza de la pintura de taller que se encuentre en superficies adyacentes a las uniones a ser soldadas en obra, si lo estima necesario para asegurar la calidad de la soldadura de obra. La pintura será eliminada con cepillo de acero.

Las soldaduras de obra que unan elementos de la estructura a insertos empotrados en hormigón deberán ser ejecutadas en forma tal que se evite una excesiva expansión térmica del inserto que pueda provocar el agrietamiento o fisuración del hormigón o tensiones excesivas en el inserto.

M.4.6. Pintura de obra

La responsabilidad por los retoques de pintura, limpieza y pintado de obra se deberán adecuar a las prácticas locales aceptadas, y ésta asignación será explícitamente indicada en los documentos del Proyecto. En ausencia de especificación queda obligado a hacerlo el Contratista responsable del montaje.

M.4.7. Uniones de obra

A medida que el montaje avance, la estructura y sus elementos estructurales serán abulonados o soldados para soportar en forma segura todas las acciones permanentes, viento, sismo y sobrecargas de montaje, de acuerdo con lo especificado en los planos y en el plan de montaje.

CAPÍTULO N. CONTROL DE CALIDAD Y ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD

Este Capítulo presenta los requisitos mínimos para el control de calidad (**QC**), el aseguramiento de la calidad (**QA**), y ensayos no destructivos (**END**), para sistemas estructurales de acero de edificios y de otras estructuras.

Este Reglamento no contempla la inspección de elementos estructurales con barras de acero de sección circular (de alma abierta), tanques, recipientes sometidos a presión, cables, productos de acero conformados en frío, o productos de acero calibrados.

Su contenido está organizado de la siguiente manera:

- N.1. Campo de validez
- N.2. Programa de control de calidad del Fabricante y del responsable del Montaje (montador)
- N.3. Documentos del Fabricante y del Montador
- N.4. Personal de inspección y ensayos no destructivos
- N.5. Requisitos mínimos para la inspección de edificios con estructuras de Acero
- N.6. Fabricantes y Montadores aprobados
- N.7. Materiales y trabajos rechazados.

N.1. CAMPO DE VALIDEZ

El **control de calidad (QC)**, tal como se especifica en este Capítulo, será realizado por el Fabricante y/o Montador. El **aseguramiento de la calidad (QA)**, tal como se especifica en este Capítulo, será realizado por terceras partes cuando ello sea requerido por la Autoridad Fiscalizadora (AF), el Reglamento de construcción aplicable (**RCA**), el Comprador, el Propietario, el Comitente, o el Profesional responsable. Los ensayos no destructivos (**END**) deberán ser realizados por agencias, organismos o empresas responsables del aseguramiento de la calidad, excepto lo permitido en la Sección **N.6.**

Los requisitos de **QA/QC** establecidos en este Capítulo serán considerados adecuados y efectivos para la mayoría de las estructuras de acero y deberán ser cumplimentados sin modificaciones. Cuando **RCA** y **AF** requieran el uso de un plan de aseguramiento de la calidad, este Capítulo fija los requisitos mínimos considerados efectivos para la obtención de resultados satisfactorios en la construcción de edificios en acero. Puede haber casos donde sean recomendables inspecciones adicionales.

Los productores y proveedores de materiales fabricados de acuerdo con las especificaciones y normas referidas en la Sección **A.3.** del Reglamento, y las acerías y proveedores de chapas y otros productos de acero, no están considerados dentro de la definición de Fabricantes o Montadores.

N.2. PROGRAMA DE CONTROL DE CALIDAD DEL FABRICANTE Y DEL MONTADOR

El **Fabricante y/o el Montador** deberán establecer y mantener **procedimientos de control de la calidad (QC)** y **procedimientos de inspección**, con el fin de asegurar que su trabajo sea desarrollado de acuerdo con las especificaciones correspondientes de este Reglamento y de la documentación técnica para la construcción.

Los procedimientos de identificación de los materiales deberán cumplir con los requisitos de este Reglamento y deberán ser verificados por el inspector de control de calidad (**QCI**) del Fabricante y/o el Montador.

- El **QCI del Fabricante** deberá inspeccionar como mínimo, según sea aplicable, lo siguiente:
 - (1) Soldaduras, fijación de bulones de alta resistencia y detalles de acuerdo con lo especificado en la Sección **N.5.**
 - (2) Cortes y terminación de superficies, de acuerdo con la Sección **M.2.**
 - (3) Calentamiento para enderezar, contraflechar y curvar, de acuerdo con la Sección **M.2.1.**
 - (4) Tolerancias de fabricación.
- El **QCI del Montador** deberá inspeccionar como mínimo, según sea aplicable, lo siguiente:
 - (1) Soldadura en obra, fijación de bulones de alta resistencia, y detalles de acuerdo con lo especificado en la Sección **N.5.**
 - (2) Superficies cortadas en obra, de acuerdo con la Sección **M.2.2.**
 - (3) Calentamiento en obra para enderezar, de acuerdo con la Sección **M.2.1.**
 - (5) Tolerancias para montaje en obra.

N.3. DOCUMENTOS DEL FABRICANTE Y DEL MONTADOR

N.3.1. Requerimientos para la construcción en acero

El **Fabricante y/o Montador** deberán presentar, antes de la fabricación o del montaje, según corresponda, para su revisión por el Profesional responsable, o quien él haya designado, los siguientes documentos:

- (1) Planos de taller, a menos que los planos de taller hayan sido proporcionados por otros.
- (2) Planos de montaje, a menos que los planos de montaje hayan sido proporcionados por otros.

N.3.2. Documentos disponibles para la construcción en acero

Los siguientes documentos deberán estar disponibles en forma electrónica o impresa para revisión del Profesional responsable antes de la fabricación o del montaje, según corresponda, a menos que sean requeridos de otra forma en los documentos contractuales:

- (1) Para elementos estructurales principales de acero, copias de los certificados de ensayos de acuerdo con la Sección **A.3.1.**
- (2) Para bulones, arandelas y tuercas, copias de los certificados del fabricante de acuerdo con la Sección **A.3.2.**
- (3) Para conectores a planchas de soporte o apoyo, copias de los datos de los catálogos técnicos del fabricante. Estos catálogos deben describir el producto, limitaciones de uso y recomendaciones o instrucciones típicas de instalación.
- (4) Para barras de anclaje, copias de los certificados de ensayos de materiales de acuerdo con la Sección **A.3.3.**
- (5) Para los consumibles de soldadura, copias de los certificados del fabricante de acuerdo con la Sección **A.3.4.**
- (6) Para pernos de anclaje, copias de los certificados del fabricante de acuerdo con la Sección **A.3.3.**
- (7) Los catálogos del Fabricante y proveedores de materiales de aporte y fundentes para soldadura a ser empleados. Los catálogos deben describir el producto, limitaciones de uso, recomendaciones de parámetros típicos para la soldadura y requisitos de almacenaje y de exposición, incluyendo calentamiento, si es aplicado.
- (8) Especificación de procedimientos de soldadura (**EPS**).
- (9) Registros de **calificación de procedimientos de soldadura (RCP)** de acuerdo con las **EPS**, no precalificadas, de acuerdo con el **Reglamento CIRSOC 304-2007**, según sea aplicable.
- (10) Registros de calificación de habilidad en soldadura de soldadores y operadores de soldadura (**RCHS**), y registros de continuidad.
- (11) Manual o plan de control de calidad del Fabricante y/o Montador según sea aplicable, con el siguiente contenido mínimo:
 - (i) Procedimientos de control de materiales
 - (ii) Procedimientos de inspección
 - (iii) Procedimientos para rechazos de materiales o trabajos
- (12) Calificación o certificación del Inspector de **QC** del Fabricante y/o Montador, según sea aplicable.

N.4. PERSONAL DE INSPECCIÓN Y ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

N.4.1. Calificación del Inspector de control de calidad

El personal de inspección de soldaduras del control de calidad (**QC**) deberá estar certificado con nivel 2 o 3 de acuerdo con la última revisión de la norma IRAM-IAS U500-169 en un todo de acuerdo con los requerimientos del Capítulo 6 del **Reglamento CIRSOC 304-2007**.

El personal de inspección del **QC** para bulones deberá ser calificado en base al entrenamiento documentado y la experiencia en la inspección de fijación de bulones para uso estructural así como en los requerimientos de la **Recomendación CIRSOC 305-2007**.

N.4.2. Calificación del Inspector de aseguramiento de calidad

El personal de inspección de soldaduras del aseguramiento de la calidad (**QA**) deberá ser calificado según se establece en la Sección **N.4.1.** o su equivalente cuando la agencia de **QA** es un Registro Naval o una agencia internacional de **QA**, de forma que satisfaga las prácticas escritas de **QA** de la agencia.

N.4.3. Calificación del personal para Ensayos No Destructivos (END)

El personal de ensayos no destructivos, debe ser calificado y certificado de acuerdo con la última edición de las normas IRAM-ISO 9712 y la norma IRAM-EN 45013, en un todo de acuerdo con el Capítulo 6 del **Reglamento CIRSOC 304-2007**.

N.5. REQUISITOS MÍNIMOS PARA LA INSPECCIÓN DE EDIFICIOS CON ESTRUCTURAS DE ACERO

N.5.1. Control de calidad

Las tareas de inspección de **QC** deberán ser efectuadas por el **Inspector de control de calidad (QCI)** del Fabricante o Montador según corresponda, de acuerdo con lo indicado en las Secciones **N.5.4.**, **N.5.6.** y **N.5.7.**

Las tareas enumeradas en las **Tablas N.5.4.1. a N.5.4.3.** y en las Tablas **N.5.6.1. a N.5.6.3.** para **QC** son aquellas inspecciones efectuadas por el **QCI** para asegurar que el trabajo es realizado de acuerdo con los documentos de la construcción.

Para una inspección **QC**, los documentos de la construcción aplicables son los planos de taller y los planos de montaje así como las respectivas especificaciones, Reglamentos y estándares específicos.

Es necesario el traspaso preciso y completo de la información de los planos y de las especificaciones del proyecto a los planos de taller y de montaje, a fin de que el **QCI** no necesite referirse a dichos documentos contractuales para realizar el **QC**.

N.5.2. Aseguramiento de la calidad

La inspección de aseguramiento de la calidad (**QA**) de partes fabricadas, deberá ser realizada en un establecimiento o planta fabril del Fabricante. El Inspector de

aseguramiento de la calidad (**QAI**) deberá fijar el horario de este trabajo minimizando las interrupciones al trabajo del Fabricante.

La inspección **QA** de estructuras de acero que se encuentren montadas, deberá ser realizada en el sitio del Proyecto (en la obra). Se deberán planificar los horarios de manera tal de minimizar las interrupciones en el trabajo del Montador.

El **QAI** debe revisar los certificados e informes de los ensayos de los materiales y las certificaciones según se enumera en la Sección **N.3.2.**, así como verificar la conformidad con los documentos constructivos.

Las tareas de inspección de **QA** deben ser desarrolladas por el **QAI**, de acuerdo con lo especificado en las Secciones **N.5.4.**, **N.5.6.** y **N.5.7.**

Las tareas enumeradas en las Tablas **N.5.4.1.** a **N.5.4.3.** y en las Tablas **N.5.6.1.** a **N.5.6.3.** para **QA** son aquellas inspecciones efectuadas por el **QAI** para asegurar que el trabajo es realizado de acuerdo con los documentos constructivos.

Adicionalmente al cumplimiento de dichos informes, la agencia de **QA** deberá entregar al Fabricante y al Montador la siguiente información:

- (1) Informes de las inspecciones realizadas
- (2) Informes de ensayos no destructivos

N.5.3. Inspecciones coordinadas

Cuando se encuentra que una tarea debe ser efectuada tanto por el **QC** como por el **QA**, estará permitido coordinar las inspecciones entre el **QCI** y el **QAI**, de forma tal que las inspecciones sean realizadas por un solo grupo. Cuando **QA** dependa de las inspecciones realizadas por **QC**, será necesaria la aprobación del Profesional responsable y de la **AF**.

N.5.4. Inspección de soldaduras

La observación de las operaciones de soldado y la inspección visual de soldaduras en proceso o completas, deberá ser el método primario para confirmar que los materiales, procedimientos y trabajos realizados sean de conformidad con lo establecido en los documentos constructivos. En todos los casos deberán cumplirse las especificaciones del **Reglamento CIRSOC 304-2007**.

Se debe considerar que la Sección **J.2.** del Capítulo **J** de este Reglamento establece excepciones a algunas especificaciones del **Reglamento CIRSOC 304-2007**, las que deberán ser satisfechas.

Como mínimo, las inspecciones a las soldaduras deben ser realizadas de acuerdo con las Tablas **N.5.4.1.**, **N.5.4.2.** y **N.5.4.3.**. En estas Tablas, las tareas a realizar son las siguientes:

- O** – Observar de forma aleatoria. Las operaciones no deben ser retrasadas en espera de estas inspecciones.
- P** – Desarrollar estas tareas para cada junta soldada.

Tabla N.5.4.1. Tareas de inspección previas a la soldadura

Tareas de inspección previas a la soldadura	QC	QA
Especificaciones de procedimientos de soldadura (EPS) disponibles	<i>P</i>	<i>P</i>
Certificación del Fabricante para consumibles de soldadura disponibles	<i>P</i>	<i>P</i>
Identificación de materiales (tipo /grado)	<i>O</i>	<i>O</i>
Sistema de identificación del soldador ⁽¹⁾	<i>O</i>	<i>O</i>
Preparación de juntas (incluyendo geometría de biseles) <ul style="list-style-type: none"> • Preparación de juntas • Dimensiones (alineación, abertura de raíz, cara de la raíz, bisel) • Limpieza (condiciones de la superficie del acero) • Punteado (calidad de soldaduras de punteado y ubicación) • Respaldo y ajuste del mismo (si es aplicado) 	<i>O</i>	<i>O</i>
Configuración y acabado para agujeros de acceso	<i>O</i>	<i>O</i>
<ul style="list-style-type: none"> • Preparación de juntas de filete • Dimensiones (alineación, luz en la raíz) • Limpieza (condición de la superficie del acero) • Punteado (calidad de soldaduras de punteado y ubicación) 	<i>O</i>	<i>O</i>
Verificación del equipamiento de soldadura	<i>O</i>	-
(1) El Fabricante o instalador, deberá ser aplicable, debe mantener un sistema con el cual un soldador que ha soldado una junta determinada pueda ser identificado.		

Tabla N.5.4.2. Tareas de inspección durante la soldadura

Tareas de inspección durante la soldadura	QC	QA
(1) Utilizar soldadores calificados	O	O
(2) Control y manipulación de los materiales de la soldadura <ul style="list-style-type: none"> • Embalaje • Control de exposición 	O	O
(3) No soldar sobre soldadura de punteado con fisuras	O	O
(4) Condiciones ambientales <ul style="list-style-type: none"> • Velocidad del viento dentro del límite • Mínima temperatura ambiente 	O	O
EPS aplicado <ul style="list-style-type: none"> • Configuración del equipamiento de soldadura • Velocidad de soldadura • Materiales de soldadura seleccionados • Tipo de gas de protección/caudal • Pre calentamiento aplicado • Mantenimiento de la temperatura entre pasadas (mín./máx.) • Posición apropiada (F, V, H, OH) 	O	O
Técnicas de soldadura <ul style="list-style-type: none"> • Entre pasadas y limpieza final • Cada pasada dentro de las limitaciones del perfil de la soldadura • Cada pasada cumple con los requisitos de calidad Técnicas de soldadura • Entre pasadas y limpieza final 	O	O

Tabla N.5.4.3. Tareas de inspección después de la soldadura

Tareas de inspección después de la soldadura	QC	QA
Limpieza de las soldaduras	O	O
Tamaño, largo y ubicación de las soldaduras	P	P
Criterios de aceptación visual para las soldaduras <ul style="list-style-type: none"> • Prohibición de fisuras • Fusión soldadura/metal base • Cráter en la sección transversal • Perfiles de soldadura • Tamaño de soldadura • Socavación • Porosidad 	P	P
Corte de arco	P	P
Area $k^{(1)}$	P	P
Eliminación de respaldo y prolongadores de soldaduras (de requerirse)	P	P
Actividades de reparación	P	P
Documentos de aceptación o de rechazo de las soldaduras	P	P
<p>(1) Cuando se suelden chapas o placas dobles, chapas continuas, o los tensores hayan sido desarrollados en el área k, la inspección visual del alma del área k por fisuras se hará sobre 75 mm dentro de la soldadura.</p>		

N.5.5. Ensayos No Destructivos de juntas soldadas

N.5.5(a). Procedimientos

Los *ensayos por ultrasonido (US)*, *ensayos por partículas magnetizables (PM)*, *ensayos de tintas penetrantes (LP)* y *ensayos radiográficos (RI)*, cuando sean requeridos, deberán ser realizados por **QA**, de acuerdo con el criterio de aplicación de **END** y aceptación del **Reglamento CIRSOC 304-2007**.

N.5.5(b). END para soldaduras con juntas de penetración completa (JPC)

Para estructuras con **una categoría de riesgo III o IV**, de la Tabla **N.5.5.**, los ensayos **US** deberán ser realizados por **QA**, en todas las soldaduras con **JPC** sujetas a acciones o cargas de tracción, aplicadas transversalmente, en juntas a tope, en **T** y de esquina, para aceros con espesores iguales o mayores que **8 mm**. Para estructuras con una categoría de **riesgo II**, ensayos **US** deberán ser realizados por **QA** en un **10%** de las soldaduras con **JPC** en juntas a tope, en **T** y de esquina, sujetas a cargas de tracción aplicadas transversalmente, para aceros de espesores iguales o mayores que **8 mm**.

Para estructuras con una **categoría de riesgo I**, la aplicación de **END** en soldaduras con **JPC** no es necesaria. Para todas las estructuras en cualquier categoría de riesgo, la aplicación de **END** en soldaduras con **JPC** para aceros de espesores menores que **8 mm** no será requerida.

N.5.5(c). END en agujeros de acceso

Las superficies cortadas térmicamente de los agujeros de acceso deberán ser ensayadas por **QA**, usando **PM** o **LP**, cuando el espesor del ala resulte mayor que **50 mm** para perfiles laminados, o cuando el espesor del alma sea mayor que **50 mm** para perfiles armados. **Cualquier fisura ha de ser considerada inaceptable no importando su tamaño o ubicación.**

Ver al respecto la Sección **M.2.2.**

N.5.5(d). Juntas soldadas sometidas a fatiga

Cuando sea requerido por el **Apéndice 3**, Tabla **A.3.1.**, las juntas soldadas deberán ser inspeccionadas mediante **RI** o **US**, las que deberán ser ensayadas por **QA** según se indica. Se prohíbe la reducción del porcentaje de inspección de las soldaduras por **US**.

N.5.5(e). Reducción del porcentaje de ensayos por US

Se permite la reducción del porcentaje de inspección con **US** si ello es aprobado por el Profesional responsable o por la **AF**. Cuando el porcentaje inicial para **US** sea de **100%** de las soldaduras para un soldador individual u operador de soldadura, se permite una reducción a un **25%**, siempre que la tasa de rechazo, determinada como el cociente entre:

$$\frac{\text{el número de soldaduras que contengan defectos inaceptables}}{\text{el número de soldaduras completas}}$$

sea igual o menor que el 5% del total de las soldaduras ensayadas por el soldador u operador de soldadura. Deberá ser realizada una muestra de al menos **40 soldaduras**

completas, por trabajo ejecutado, para poder aplicar dicha reducción en las evaluaciones. Para evaluar la tasa de rechazo de soldaduras continuas se toman **1000 mm** de largo, donde el tamaño efectivo será igual o menor que **25 mm**, y cada incremento de **300 mm** o fracción de ello, deberá ser considerado como una soldadura. Para evaluar la tasa de rechazo para soldaduras continuas de **1000 mm** de largo, donde el tamaño efectivo sea mayor que **25 mm**, cada incremento de **150 mm** o fracción de ello, deberá ser considerado como una soldadura.

N.5.5(f). Aumento en porcentaje de ensayos por US

Para estructuras con una categoría de **riesgo II**, (ver la Tabla N.5.5) donde el porcentaje inicial de **US** sea de un **10%**, el porcentaje de inspección para un soldador individual u operador de soldadura deberá ser aumentado a un **100%**, si la tasa de rechazo es mayor que el **5%** de las soldaduras ensayadas por soldador u operador de soldadura. Una muestra de al menos **20 soldaduras completas** por trabajo deberá ser realizada antes de implementar dicho incremento. Cuando la tasa de rechazo del soldador o del operador de soldadura, después de implementar dicho muestreo, ha caído a un valor igual o menor que **5%**, el porcentaje de inspección **US** puede retornar a un **10%**. Para evaluar la tasa de rechazo de soldaduras continuas con largos mayores a **1000 mm**, donde el tamaño efectivo sea igual o menor que **25 mm**, cada incremento de **300 mm** o fracción de ello deberá ser considerado como una soldadura. Para evaluar la tasa de rechazo de soldaduras continuas de **1000 mm** de largo, con un tamaño efectivo mayor que **25 mm**, cada incremento de **150 mm** o fracción de ello, deberá ser considerado como una soldadura.

N.5.5(g). Documentación

Todos los **END** realizados deberán ser documentados. Para la fabricación en el taller, el informe de **END** debe identificar las soldaduras ensayadas con marcaciones adecuadas y su ubicación en el elemento o parte estructural. Para soldaduras en obra, el informe de **NDT** deberá identificar la soldadura ensayada de la misma manera antes descrita.

Cuando una soldadura sea rechazada de acuerdo con un **END**, el registro del **END** deberá indicar la ubicación de la discontinuidad y la causa del rechazo.

N.5.6. Inspección de instalación de bulones de alta resistencia

La observación de las operaciones de fijación de bulones debe ser el método primario usado para confirmar que los materiales, procedimientos y trabajos incorporados en la construcción sean de conformidad con los documentos constructivos y con los requerimientos de la **Recomendación CIRSOC 305-2007**.

- (1) Para bulones instalados con ajuste sin juego, la verificación antes de la instalación, según se especifica en la Tabla **N.5.6.1.**, y el monitoreo de los procedimientos de instalación, según se especifica en la Tabla **N.5.6.2.**, no son aplicables. En este caso, **QCI** y **QAI** no necesitan estar presentes durante la instalación de los bulones en las juntas.
- (2) Para juntas pretensadas y de deslizamiento crítico, cuando el montador emplea el método de giro de la tuerca con técnicas de marcaje, el método del indicador directo de tracción, o el método de giro de tracción controlado, el monitoreo del procedimiento de trabajo debe ser realizado según se especifica en la Tabla **N.5.6.2.** **QCI** y **QAI** no necesitan estar presentes durante la instalación de los bulones cuando estos métodos sean empleados por el montador.

Tabla N.5.5. Clasificación de edificios en categorías de riesgo

Naturaleza de la ocupación	Categoría
<p>Edificios y otras estructuras que presentan un bajo riesgo para la vida humana en caso de falla incluyendo, pero no limitado a:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Instalaciones agrícolas • Ciertas instalaciones temporarias • Instalaciones menores para almacenamiento 	I
<p>Todos los edificios y otras estructuras excepto aquellos incluidos en Categorías I, III y IV</p>	II
<p>Edificios y otras estructuras que presentan un peligro sustancial para la vida humana en caso de falla incluyendo, pero no limitado a:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Edificios y otras estructuras donde se reúnen más de 300 personas en un área • Edificios y otras estructuras para guarderías, escuelas primarias y secundarias con capacidad mayor que 150 personas • Edificios y otras estructuras con instalaciones para el cuidado diurno con capacidad mayor que 150 personas • Edificios y otras estructuras con una capacidad mayor que 500 personas para universidades o instalaciones para educación de adultos • Instalaciones para el cuidado de la salud con una capacidad de 50 o más pacientes residentes, pero sin instalaciones para cirugía o tratamientos de emergencia • Instalaciones para cárceles y detenciones • Estaciones de generación de energía y otras instalaciones de utilidad pública no incluidas en la Categoría IV <p>Edificios y otras estructuras que contienen suficientes cantidades de sustancias tóxicas o explosivas como para ser peligrosas al público si se liberan incluyendo, pero no limitado a:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Instalaciones petroquímicas • Instalaciones para almacenamiento de combustibles • Plantas de fabricación o almacenamiento de productos químicos peligrosos • Plantas de fabricación o almacenamiento de explosivos <p>Edificios y otras estructuras equipados con contención secundaria de sustancias tóxicas, explosivas u otras peligrosas (incluyendo, pero no limitado a: tanques de doble pared, receptáculos de tamaño suficiente para contener un derrame u otros medios de contención de derrames o explosiones dentro de los límites de la instalación y prevenir la liberación de cantidades de contaminantes nocivos para el aire, el suelo, el agua freática o superficial) deben clasificarse como estructuras de Categoría II</p>	III
<p>Edificios y otras estructuras proyectadas como instalaciones esenciales incluyendo, pero no limitados a :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Hospitales y otras instalaciones para el cuidado de la salud que tienen instalaciones para cirugía o tratamientos de emergencia • Cuarteles de bomberos, centros de rescate, estaciones de policía y fuerzas de seguridad, y garages para vehículos de emergencia • Refugios proyectados contra sismos, huracanes y otras emergencias • Centros de comunicaciones y otras instalaciones necesarias para respuestas a emergencias • Estructuras auxiliares necesarias para la operación de aquellas de Categoría IV durante una emergencia (incluyendo, pero no limitado a: torres de comunicación, tanques de almacenamiento de combustible, torres de refrigeración, estructuras de sub-estaciones de electricidad, tanques de agua para incendio, u otras estructuras de alojamiento o soporte de agua, otros materiales o equipamientos para combatir al fuego) • Torres de control de aviación, centros de control de tráfico aéreo y hangares de emergencia. Edificios y otras estructuras con funciones críticas de defensa nacional. • Instalaciones de almacenamiento de agua y estructuras de bombeo requeridas para mantener la presión de agua para combatir incendios 	IV

- (3) Para juntas pretensadas y de deslizamiento crítico, cuando el montador emplea el método de la llave calibrada o el método de giro de la tuerca sin marcaje, el monitoreo del procedimiento debe estar de acuerdo con lo especificado en la Tabla **N.5.6.2. QCI** y **QAI** deberán estar presentes y realizar las inspecciones asignadas según corresponda durante la instalación de los bulones cuando estos métodos son usados por el montador.

Como mínimo, la inspección de las tareas de instalación de bulones deberá estar en concordancia con lo indicado en las Tablas **N.5.6.1.**, **N.5.6.2.** y **N.5.6.3.**. En estas Tablas, las tareas de inspección son las siguientes:

- O** – Observar de forma aleatoria. Las operaciones no deben ser retrasadas en espera de estas inspecciones.
- P** – Desarrollar estas tareas para juntas con bulones.

Tabla N.5.6.1. Tareas de inspección previas

Tareas de inspección previas a la instalación de bulones	QC	QA
Certificados del proveedor disponibles para materiales de unión	O	P
Bulones marcados de acuerdo con los requisitos de la Recomendación CIRSOC 305-2007 (IRAM o ASTM)	O	O
Bulones seleccionados adecuadamente para el detalle de la junta (grado, tipo, largo del bulón; si filetes de la rosca son o no excluidos del plano de	O	O
Procedimientos de instalación adecuados a los seleccionados para el detalle de la junta	O	O
Los elementos de instalación, incluyendo la adecuada condición de la superficie de apriete y la preparación de agujeros, si son especificadas, que cumplan los requisitos aplicables.	O	O
Ensayo de verificación anterior a la instalación mediante inspección visual documentada para la instalación de bulones y los métodos usados.	P	O
Disponer de un almacenaje adecuado para los bulones, tuercas, arandelas y otros componentes de la instalación.	O	O

Tabla N.5.6.2. Tareas de inspección durante la instalación

Tareas de inspección durante la instalación de bulones	QC	QA
Montaje de los bulones en un estado apropiado, ubicación en todos los agujeros y si las arandelas (si son requeridas) son posicionadas según lo requerido.	O	O
Junta llevada a la condición de contacto firme antes de la operación de pretensado	O	O
Los componentes de los bulones no girados por la llave impedidos de rotar	O	O
Los bulones son pretensados de acuerdo con la Recomendación CIRSOC 305-2007 , avanzando sistemáticamente desde el punto más rígido hacia los bordes libres.	O	O

Tabla N.5.6.3. Tareas de inspección después de la instalación

Tareas de inspección después de la instalación de los bulones	QC	QA
Procedimiento de arbitraje de ser necesario. Documentos de aceptación o de rechazo de las uniones con bulones	P	P

N.5.7. Otras tareas de inspección

El **QCI** del Fabricante debe inspeccionar la estructura o parte de acero suministrado para verificar la conformidad de la misma con los detalles mostrados en los planos de taller, tales como la correcta ejecución de los detalles de juntas de cada unión. El **QCI** del montador debe inspeccionar la estructura de acero para verificar la conformidad con los detalles mostrados en los planos de montaje, tales como riostras, rigidizadores, tensores, ubicación de los elementos estructurales y ejecución correcta de los detalles de las juntas de cada unión.

El **QAI** deberá estar en el lugar para realizar la inspección durante la ubicación de las barras de anclaje y otros elementos resistentes de acero estructural embebidos en hormigón para verificar su conformidad con los documentos constructivos. **Como mínimo, debe ser verificado, antes del colado o vaciado con hormigón, el diámetro, grado, tipo y largo de la barra de anclaje o elemento embebido, y la extensión o profundidad del embebido en el hormigón.**

El **QAI** debe inspeccionar la estructura de acero instalada, según sea apropiado, para verificar la conformidad con los detalles mostrados en los documentos constructivos, tales como riostras, tensores, rigidizadores, ubicación de los elementos estructurales y ejecución correcta de los detalles de juntas de cada unión.

N.6. FABRICANTES Y MONTADORES APROBADOS

Las inspecciones de aseguramiento de la calidad (**QA**), excepto los ensayos no destructivos (**END**), pueden ser evitadas cuando el trabajo es realizado en un **taller de fabricación o por un montador aprobado** por el Propietario, Comitente o la Autoridad Fiscalizadora (**AF**) para realizar el trabajo sin inspecciones de **QA**, cuando ellos existan. Los **END** de soldaduras completadas en un taller de fabricación aprobado las puede realizar dicho fabricante, cuando se cuenta con la aprobación del Profesional responsable o la **AF**. Cuando el Fabricante realiza los **END**, la agencia de **QA** debe revisar los informes de **END**.

Al completarse la fabricación, el Fabricante aprobado, debe presentar un certificado de conformidad al Profesional responsable o a la **AF** que señale que los materiales entregados y el trabajo realizado por el fabricante están de acuerdo con los documentos constructivos. Al completarse el montaje, el montador aprobado deberá presentar un certificado de cumplimiento al Profesional responsable o a la **AF** indicando que los materiales entregados y el trabajo realizado por el montador están de acuerdo con los documentos constructivos.

N.7. MATERIALES Y TRABAJOS RECHAZADOS

La identificación y el rechazo de materiales o trabajos que no estén de conformidad con los documentos constructivos serán efectuados en cualquier etapa durante el avance del cronograma de la obra. Sin embargo, esta disposición no libera al Propietario o al Inspector de la obligación de realizar breves inspecciones periódicas. El material y el trabajo rechazado deben ser inmediatamente informados al Fabricante o al montador, según corresponda.

Materiales o trabajos rechazados deben ser reemplazados o realizados de conformidad, o corregidos de manera apropiada para el propósito propuesto, según lo determine el Profesional responsable.

Simultáneamente con la presentación de dichos informes a la **AF**, al Profesional responsable o al propietario, la agencia de **QA** debe presentar al Fabricante y al montador:

- (1)** Informes de los rechazos efectuados.
- (2)** Informes de la reparación, reubicación, o de la aceptación de los elementos o partes.

APÉNDICE 1. PROYECTO POR ANÁLISIS INELÁSTICO

Este Apéndice contiene las especificaciones para el Proyecto de Estructuras por análisis global inelástico. En él se permite la consideración de redistribuciones de fuerzas y momentos flectores en miembros y uniones como resultado de fluencias localizadas.

Su contenido se organiza de la siguiente forma:

- 1.1. Especificaciones generales
- 1.2. Requerimientos de ductilidad
- 1.3. Requerimientos para el análisis estructural.

1.1. ESPECIFICACIONES GENERALES

- Las resistencias de diseño de la estructura, sus miembros componentes y sus uniones serán mayores o iguales que las resistencias requeridas determinadas por análisis estructural inelástico para la combinación crítica de las acciones mayoradas especificada en la Sección **B.2.2.**

Para el Proyecto de Estructuras sometidas a acciones sísmicas se deberán aplicar además las especificaciones del **Reglamento INPRES-CIRSOC 103 - Parte I y del Reglamento INPRES-CIRSOC 103- Parte IV - Construcciones de Acero.**

- El análisis global inelástico deberá tener en cuenta:
 - (1) Las deformaciones por flexión, por corte, y por fuerza axial de los miembros de la estructura, y toda otra deformación de otro componente o unión que pueda contribuir al desplazamiento de la estructura.
 - (2) Los efectos de Segundo Orden (**$P-\Delta$ y $P-\delta$**).
 - (3) Las imperfecciones geométricas iniciales.
 - (4) Las reducciones de rigidez por inelasticidad, incluyendo el efecto de las tensiones residuales y la fluencia parcial de las secciones transversales.
 - (5) Incertidumbres en la resistencia y rigidez de la estructura, sus miembros y sus uniones.
- Los estados límite últimos (de resistencia) detectados por un análisis global inelástico que satisfaga todos los requisitos indicados más arriba, no están sometidos a las especificaciones del Reglamento cuando el análisis proporcione un nivel de confiabilidad similar o más elevado. Los estados límite últimos no detectados por el análisis inelástico serán evaluados con las especificaciones correspondientes de los Capítulos **D, E, F, G, H y J.**
- Las **uniones deberán satisfacer** las especificaciones de la Sección **B.3.4.**
- Los miembros y uniones sometidos a deformaciones inelásticas deben tener una **ductilidad adecuada**, que sea consistente con el comportamiento supuesto del sistema

estructural. **No se permite** ninguna redistribución de fuerzas resultante **de la rotura** de un miembro o unión.

- Para dimensionar los miembros y uniones de una estructura se permite el uso de cualquier método que utilice un análisis global inelástico que satisfaga las especificaciones generales contenidas en esta Sección. Cualquier método de proyecto basado en un análisis inelástico que satisfaga los requerimientos de resistencia arriba enunciados, las especificaciones sobre ductilidad contenidas en la Sección 1.2., y las especificaciones sobre el análisis dadas en la Sección 1.3., satisface las especificaciones generales contenidas en esta Sección.
- Se deberá proveer un **arriostramiento lateral en toda ubicación de una rótula plástica que ocurra bajo cualquier combinación de carga**. La distancia máxima entre el arriostramiento y la ubicación teórica de la rótula, medida a lo largo del eje, será menor o igual a la mitad de la altura del miembro.
- **No se deberá usar el análisis inelástico en estructuras sometidas a efectos de cargas cíclicas (fatiga).**

1.2. REQUERIMIENTOS DE DUCTILIDAD

Los miembros y uniones con elementos sometidos a la tensión de fluencia deberán ser dimensionados de manera que toda deformación inelástica requerida en ellos sea menor o igual a su capacidad de deformación inelástica. En vez de asegurar explícitamente el cumplimiento de lo anterior, podrá considerarse que los miembros de acero donde se ubiquen rótulas plásticas deberán satisfacer las siguientes especificaciones:

1.2.1. Material

El acero de miembros de la estructura donde se ubiquen rótulas plásticas deberá cumplir:

$$F_y \leq 450 \text{ MPa}$$

$$F_u / F_y \geq 1,25$$

$$\epsilon_u / \epsilon_y \geq 20$$

siendo:

F_u la tensión de rotura especificada del acero, en MPa.

F_y la tensión de fluencia mínima especificada del acero, en MPa.

ϵ_u la deformación específica correspondiente a F_u (%).

ϵ_y la deformación específica correspondiente a F_y (%).

1.2.2. Sección transversal del miembro. Relación ancho-espesor de elementos comprimidos

La sección transversal de aquellos miembros donde se ubiquen rótulas plásticas deberá verificar lo siguiente:

- (1) ser **de doble simetría**
 (2) la relación ancho-espesor de sus elementos comprimidos deberá ser menor o igual que λ_{pp} . Ello supone una capacidad de rotación inelástica de **7 veces** la rotación elástica.

La relación ancho-espesor λ_{pp} será:

- (a) **Alas comprimidas** de perfiles doble T laminados y armados, y alas salientes de secciones armadas de doble simetría

$$\lambda = b/t \leq \lambda_{pp} \quad \lambda_{pp} = 0,30 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (1.1)$$

siendo:

b y t el ancho y el espesor del ala según los Casos **11** y **12**, Tabla **B.4.1b**, en cm.

- (b) **Almas** de secciones doble T laminadas y armadas, de cajón armadas de doble simetría y de tubos RHS sin costura sometidas a **flexión** y **compresión**:

$$\lambda = h/t_w \leq \lambda_{pp}$$

$$(b.1) \text{ Para } P_u / \phi_c P_y \leq 0,125 \quad \lambda_{pp} = 3,06 \sqrt{\frac{E}{F_y} \left(1 - \frac{1,54 P_u}{\phi_c P_y} \right)} \quad (1.2)$$

$$(b.2) \text{ Para } P_u / \phi_c P_y > 0,125 \quad \lambda_{pp} = 4,78 \sqrt{\frac{E}{F_y} \left(0,64 - \frac{P_u}{\phi_c P_y} \right)} \geq 1,49 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (1.3)$$

siendo:

h y t_w la altura y espesor del alma según los Casos **16**, **20** y **21**, Tabla **B.4.1b.**, en cm.

P_u la resistencia requerida a compresión axial, en kN.

P_y la resistencia axial a fluencia = $F_y A_g (10)^{-1}$, en kN.

ϕ_c el factor de resistencia a compresión axial.

- (c) **Alas comprimidas** de secciones cajón soldadas y de tubos RHS sin costura, platabandas y placas diafragmas entre líneas de pasadores o cordones de soldadura:

$$\lambda = b/t \leq \lambda_{pp} \quad \lambda_{pp} = 0,939 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (1.4)$$

siendo:

b y **t** el ancho y el espesor del ala según los Casos **18**, **19** y **22**, Tabla **B.4.1b**, en cm.

(d) Tubos circulares en flexión

$$\lambda = D/t \leq \lambda_{pp} \qquad \lambda_{pp} = 0,045 E / F_y \qquad (1.5)$$

siendo:

D y **t** el diámetro y el espesor de pared del tubo, Caso **23**, Tabla **B.4.1b.**, en cm.

(e) En aquellos miembros donde la **sección transversal sea variable** a lo largo de su longitud, se deberá satisfacer el siguiente criterio adicional:

- (e.1)** En las adyacencias a la ubicación de la rótula plástica, no se deberá reducir la altura y el espesor del alma en una distancia por lo menos de **2d** desde la posición de la rótula plástica, medida a lo largo de la viga, siendo **d** la altura del alma en la ubicación de la rótula.
- (e.2)** En las adyacencias a la posición de la rótula plástica, la relación ancho/espesor del ala comprimida debe ser menor o igual a λ_{pp} hasta una distancia a lo largo del miembro no menor al mayor de los valores siguientes:
 - **2d**, con **d** como se definió en el ítem (e.1.).
 - el punto donde el momento flector toma el valor de **0,80** del momento plástico en la sección de la rótula.
- (e.3)** En cualquier otra sección del miembro la relación ancho/espesor del ala comprimida deberá ser menor o igual que λ_p , y la relación ancho/espesor del alma deberá ser menor o igual que λ_p .

1.2.3. Longitud lateralmente no arriostrada

En segmentos de miembros prismáticos que contengan rótulas plásticas asociadas al mecanismo de falla la **longitud lateralmente no arriostrada** L_b debe ser menor o igual que L_{pd} .

Para miembros sometidos solo a flexión, o a flexión y tracción axial, L_b será tomada como la distancia entre puntos arriostrados contra el desplazamiento lateral del ala comprimida o entre los puntos arriostrados para prevenir el giro de la sección transversal.

Para miembros sometidos a flexión y compresión axial, L_b se tomará como la distancia entre puntos arriostrados contra los desplazamientos laterales en la dirección **normal** del eje débil y contra el giro de la sección transversal.

(a) para miembros de **sección doble Te** de doble simetría cargados en el plano del alma y flexados alrededor del eje fuerte:

$$L_{pd} = \left[0,12 + 0,076 \left(\frac{M_1'}{M_2} \right) \right] \left(\frac{E}{F_y} \right) r_y \qquad (1.6)$$

siendo:

r_y el radio de giro de la sección transversal respecto del eje principal de menor inercia (eje débil), en cm.

- (1) Cuando la magnitud del momento flector en cualquier punto dentro de la longitud no arriostrada sea mayor que M_2

$$M'_1 / M_2 = 1 \quad (1.7a)$$

- (2) Cuando $M_{mid} \leq (M_1 + M_2) / 2$

$$M'_1 = M_1 \quad (1.7b)$$

- (3) Cuando $M_{mid} > (M_1 + M_2) / 2$

$$M'_1 = 2M_{mid} - M_2 < M_2 \quad (1.7c)$$

siendo:

M_1 el menor momento en el extremo de la longitud no arriostrada, en kNm.

M_2 el mayor momento en el extremo de la longitud no arriostrada, en kNm.
 M_2 será tomado como positivo en todos los casos.

M_{mid} el momento en la mitad de la longitud no arriostrada, en kNm.

M'_1 el momento efectivo en el extremo opuesto a M_2 , en kNm.

Los momentos M_1 y M_{mid} son tomados individualmente como positivos cuando ellos causan compresión en el mismo ala que M_2 . En caso contrario se tomarán como negativos.

- (b) Para miembros de sección rectangular maciza y de sección cajón simétrica flexada alrededor del eje fuerte:

$$L_{pd} = \left[0,17 - 0,10 \left(\frac{M'_1}{M_2} \right) \right] \left(\frac{E}{F_y} \right) r_y \geq 0,10 \left(\frac{E}{F_y} \right) r_y \quad (1.8)$$

- Para todos los tipos de miembros sometidos a compresión axial y que contengan rótulas plásticas, las longitudes no arriostradas para la flexión alrededor del eje fuerte y para la flexión alrededor del eje débil, deberán ser menores o iguales que $4,71r_x \sqrt{E/F_y}$ y $4,71r_y \sqrt{E/F_y}$ respectivamente.
- No hay límite para L_b en segmentos de miembros que contengan rótulas plásticas en los casos siguientes:
 - (1) Miembros con sección transversal circular o cuadrada sometidos solo a flexión o a la combinación de flexión y tracción.

(2) Miembros solicitados solo a flexión alrededor de su eje débil o a la combinación de flexión alrededor del eje débil y tracción.

(3) Miembros solicitados solo a tracción.

1.2.4. Resistencia de diseño a compresión axial

Para asegurar una adecuada ductilidad en miembros comprimidos que contengan rótulas plásticas la resistencia de diseño a compresión axial P_d (kN) deberá ser:

$$P_d \leq 0,75 F_y A_g (10)^{-1}$$

siendo:

F_y la tensión de fluencia mínima especificada del acero, en MPa.

A_g la sección bruta del miembro, en cm^2 .

1.3. REQUERIMIENTOS PARA EL ANÁLISIS ESTRUCTURAL

El análisis estructural deberá satisfacer las especificaciones generales dadas en la Sección 1.1.. Dichas especificaciones se consideran cumplidas si se realiza un análisis inelástico de segundo orden que cumpla las especificaciones de esta Sección.

Como excepción, para **vigas continuas no sometidas a compresión axial**, se permite realizar un **análisis inelástico de primer orden** (análisis plástico tradicional), sin necesidad de cumplir lo especificado en las Secciones 1.3.2. y 1.3.3..

1.3.1. Propiedades de los materiales y criterio de consideración de la fluencia

La tensión de fluencia mínima especificada F_y y la rigidez de todos los miembros de acero y sus uniones, serán reducidos para el análisis por el factor **0,90**, con la excepción indicada en la Sección 1.3.3..

La influencia de la fuerza axial, del momento flector alrededor del eje fuerte y del momento flector alrededor del eje débil deberán ser incluidos en la determinación de la respuesta inelástica.

La resistencia plástica de la sección transversal de los miembros deberá ser representada en el análisis. Ello puede realizarse con un criterio de fluencia elástico-perfectamente plástico expresado en términos de fuerza axial, momento flector alrededor del eje fuerte y momento flector alrededor del eje débil, o mediante un modelo explícito de la curva de respuesta tensión-deformación del material como elástico-perfectamente plástico.

1.3.2. Imperfecciones geométricas iniciales

El análisis deberá incluir la consideración de las imperfecciones geométricas iniciales. Ello podrá ser realizado ya sea con el modelado explícito de las imperfecciones como se especifica en la Sección C.2.2a o por la aplicación de cargas ficticias como se especifica en la Sección C.2.2b..

1.3.3. Efectos de las tensiones residuales y de la fluencia parcial

El análisis deberá incluir los efectos de las tensiones residuales y de la fluencia parcial. Ello podrá realizarse mediante el modelado explícito de dichos efectos en el análisis o por la reducción de la rigidez de todos los componentes de la estructura tal como se especifica en la Sección **C.2.3.**.

Si se aplican las especificaciones de la Sección **C.2.3.** entonces:

- (1) El factor de reducción de la rigidez de **0,9** especificado en la Sección **1.3.1.** será reemplazado por un factor de **0,8** aplicado al módulo de elasticidad longitudinal **E**, tal como se especifica en la Sección **C.2.3.**, y
- (2) El criterio de fluencia elástico-perfectamente plástico expresado en términos de fuerza axial, momento flector alrededor del eje fuerte y momento flector alrededor del eje débil deberá satisfacer el estado límite de resistencia de la sección transversal definido por las expresiones **(H.1.1a)** y **(H.1.1b)** del Capítulo **H**, usando $P_d = 0,9 P_y$, $M_{dx} = 0,9 M_{px}$ y $M_{dy} = 0,9 M_{py}$.

APÉNDICE 2. PROYECTO PARA ACUMULACIÓN DE AGUA

Este Apéndice contiene métodos para determinar si un sistema de cubierta o techo tiene suficiente resistencia y rigidez como para evitar la acumulación de agua.

Su contenido se organiza de la siguiente forma:

2.1. Proyecto simplificado para evitar acumulación de agua

2.2. Proyecto mejorado para evitar acumulación de agua

2.1. PROYECTO SIMPLIFICADO PARA EVITAR ACUMULACIÓN DE AGUA

Según lo especificado en la Sección **B.3.8.** el sistema estructural de cubierta o techo deberá ser investigado por análisis estructural a fin de asegurar una adecuada resistencia y estabilidad bajo condiciones de acumulación de agua, cuando la cubierta no tenga suficiente pendiente hacia los desagües (**< 3%**), o no tenga un adecuado número de descargas, y/o cuando no se prevenga adecuadamente que no exista acumulación de agua de lluvia o de deshielo. En dichos casos se deberá considerar tanto la influencia de la deformación de la estructura de la cubierta o techo como la posibilidad de acumulación de agua hasta la altura de los desbordes libres.

El sistema estructural de cubierta o techo será considerado como estable y no se requerirá ninguna investigación adicional si se verifica que:

$$C_p + 0,9C_s \leq 0,25 \quad (2.1)$$

$$I_d \geq 0,4S^4 (10^{-8}) \quad (2.2)$$

donde:

$$C_p = \frac{5L_s L_p^4}{(10^{12}) I_p} \quad (2.3)$$

$$C_s = \frac{5S L_s^4}{(10^{12}) I_s} \quad (2.4)$$

siendo:

L_p la separación entre columnas en la dirección de la viga principal, (longitud de miembros primarios), en cm.

L_s la separación entre columnas en dirección perpendicular a la viga principal, (longitud de miembros secundarios), en cm.

- S** la separación de miembros secundarios, en cm.
- I_p** el momento de inercia de miembros primarios, (vigas principales), en cm^4 .
- I_s** el momento de inercia de miembros secundarios (correas), en cm^4 .
- I_d** el momento de inercia de la chapa de acero de cubierta apoyada en los miembros secundarios, en cm^4/m .

Para cerchas, vigas reticuladas y en general vigas de alma abierta, el momento de inercia para incluir en las expresiones anteriores, será determinado considerando la deformación por corte del alma. En forma aproximada cuando el momento de inercia se calcule usando solo el área de los cordones, la reducción de momento de inercia por la deformación del alma podrá ser tomada como un **15%**.

Una cubierta de chapa de acero será considerada como un miembro secundario cuando apoye directamente en miembros primarios.

2.2. PROYECTO MEJORADO PARA EVITAR ACUMULACIÓN DE AGUA

Se podrán utilizar las especificaciones de esta Sección cuando sea necesaria una determinación más exacta de la rigidez flexional de una cubierta o techo plano formado por un entramado de vigas principales y secundarias y por chapas de cubierta.

Para cualquier combinación de vigas primarias y secundarias en el entramado, el índice de tensión será calculado por:

$$U_p = \left(\frac{0,8F_y - f_o}{f_o} \right)_p \quad \text{Para el miembro primario} \quad (2.5)$$

$$U_s = \left(\frac{0,8F_y - f_o}{f_o} \right)_s \quad \text{Para el miembro secundario} \quad (2.6)$$

siendo:

- f_o** la tensión debida a la combinación de acciones **D + R** (**D** = carga permanente nominal,
- R** la carga nominal debida al agua de lluvia o al hielo que contribuye exclusivamente a la acumulación de agua ⁽¹⁾, en MPa.

⁽¹⁾ Para algunas ubicaciones geográficas esta carga deberá incluir la carga de la nieve que pudiera estar presente.

Sin embargo las fallas de inestabilidad por acumulación de agua ocurren con mayor frecuencia durante lluvias torrenciales (generalmente no coincidentes con la presencia de nieve en las zonas donde ésta es una acción a considerar) cuando la velocidad de precipitación supera la velocidad de drenaje y se produce una importante acumulación de agua a cierta distancia de los puntos o líneas de drenaje. Se usará un factor de carga de **1,0** para los efectos resultantes de este fenómeno.

El procedimiento de verificación de la rigidez combinada para sistemas de techo con miembros primarios y secundarios se realizará de la siguiente forma:

- Con el índice de tensión U_p calculado para la viga primaria se ingresa al gráfico de la Figura 2.1. Se desplaza horizontalmente hasta encontrar la curva correspondiente al valor de C_s calculado para la viga secundaria. Desde el punto de intersección se baja hasta la escala de abscisas. Si el valor de la constante de flexibilidad C_p encontrado en el gráfico es mayor que el valor de C_p calculado para la viga primaria, la rigidez flexional combinada de las vigas primaria y secundaria es suficiente para prevenir la acumulación de agua. Si fuera menor, será necesario aumentar la rigidez de la viga primaria, de la viga secundaria, o de ambas a la vez.

Utilizando la Figura 2.2. se deberá seguir un procedimiento similar al indicado precedentemente.

- Cuando el entramado del techo esté formado por un conjunto de vigas igualmente espaciadas apoyadas en muros, se considerará como formado por miembros secundarios apoyados sobre una viga primaria infinitamente rígida. Para ese caso se deberá utilizar la Figura 2.2. ingresando con el índice de tensión calculado U_s . Se desplaza horizontalmente hasta interceptar la curva correspondiente a $C_p = 0$, y en la vertical del punto de intersección se determina el valor de C_s límite.

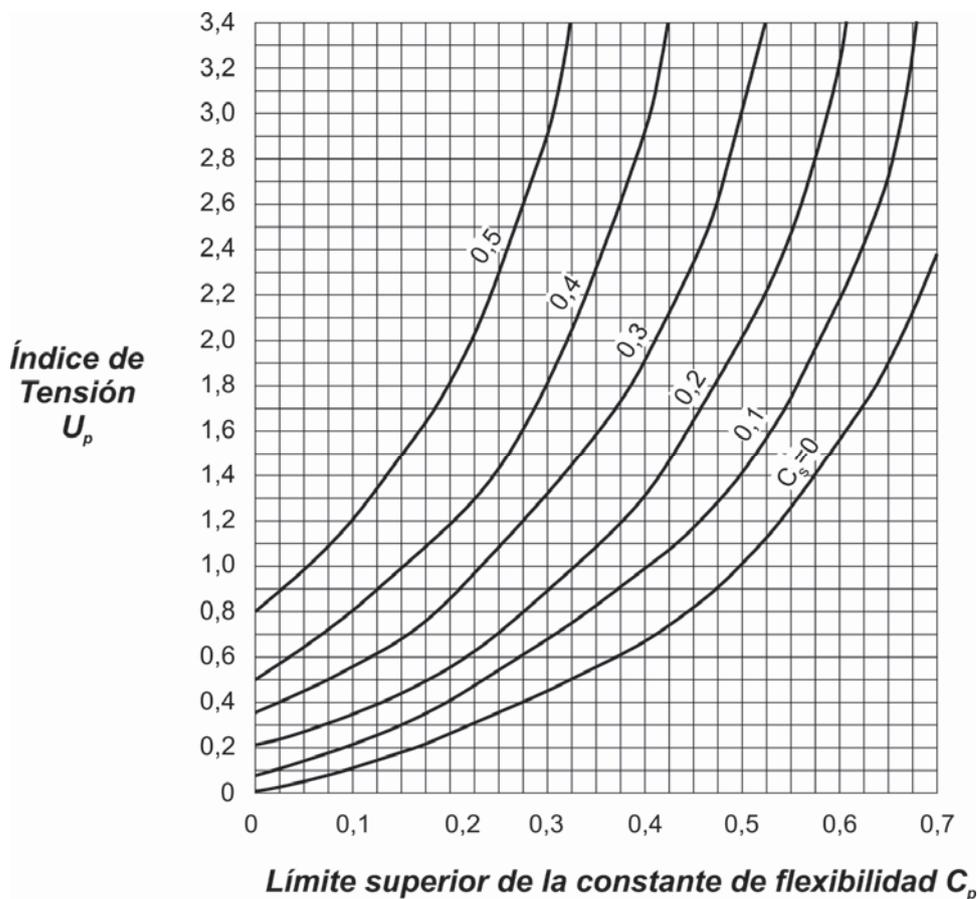


Figura 2.1. Coeficiente de flexibilidad límite para sistemas primarios.

La contribución de la deformación de la chapa de cubierta a la deformación total del panel de techo (en ambos casos a los fines del efecto de acumulación de agua) es generalmente pequeña por lo que en general es suficiente fijar un mínimo para su momento de inercia. Esa limitación se expresa por la expresión (2.2.) que plantea :

$$I_d \geq 0,4 S^4 (10^8)$$

con:

I_d el momento de inercia de la chapa de acero de cubierta apoyada en las vigas secundarias, en cm^4/m .

S la separación de vigas secundarias, en cm.

Sin embargo puede ser necesario verificar la estabilidad contra la acumulación de agua de un techo formado por chapas de cubierta con relación altura-luz relativamente pequeña, y que apoyen sobre vigas apoyadas a su vez directamente sobre columnas. Esta verificación puede realizarse con las Figuras 2.1. o 2.2. utilizando un C_s calculado con $S = 100\text{cm}$; siendo L_s la distancia entre vigas (luz de la chapa) y $I_s = I_d$.

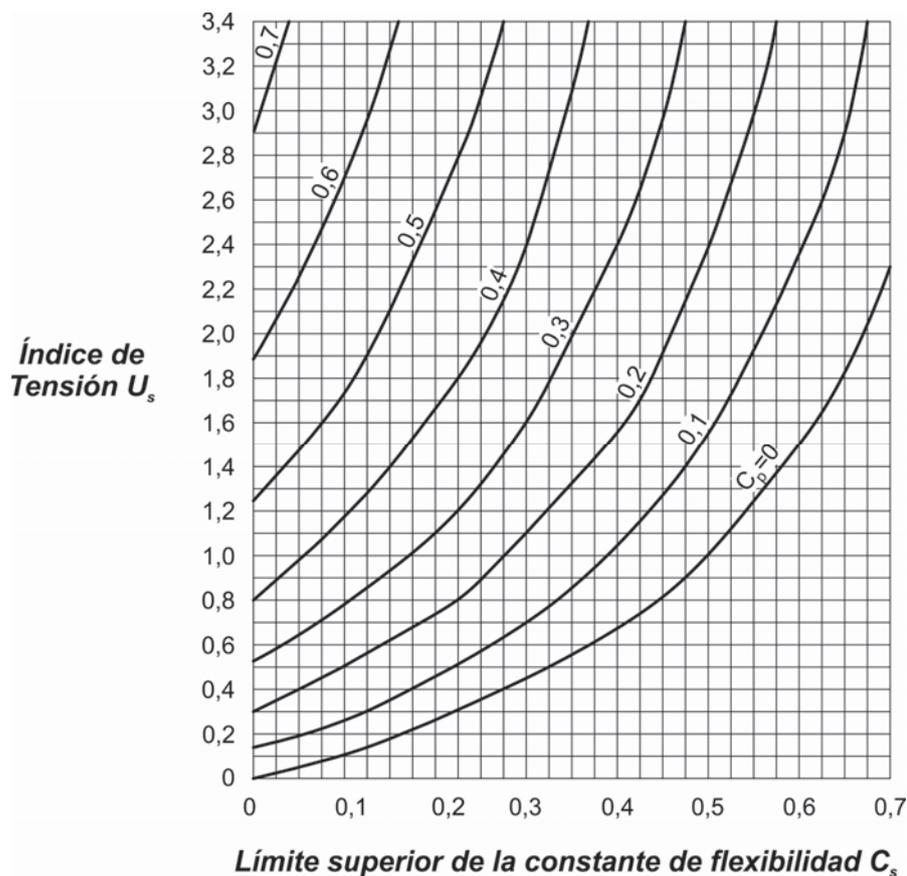


Figura 2.2. Coeficiente de flexibilidad límite para sistemas secundarios.

Para cerchas, vigas reticuladas y en general vigas de alma abierta el momento de inercia para incluir en las expresiones anteriores, será determinado considerando la deformación por corte del alma. En forma aproximada cuando el momento de inercia se calcula usando solo el área de los cordones, la reducción de momento de inercia por la deformación del alma puede ser tomada como un **15%**.

APÉNDICE 3. PROYECTO PARA CARGAS CÍCLICAS (FATIGA)

Este Apéndice es aplicable a miembros y uniones solicitados por cargas cíclicas dentro del rango elástico de tensiones, de frecuencia e intensidad suficiente para iniciar la fisuración y la falla progresiva que definen el estado límite de fatiga.

Su contenido se organiza de la siguiente manera:

- 3.1. Especificaciones generales
- 3.2. Determinación de las tensiones máximas y del rango de tensión
- 3.3. Verificación del estado límite de fatiga para material base y juntas soldadas. Rango de tensión de diseño
- 3.4. Verificación del estado límite de fatiga para bulones y partes roscadas. Rango de tensión de diseño
- 3.5. Requerimientos especiales para fabricación y montaje.

3.1. ESPECIFICACIONES GENERALES

Las especificaciones de este Apéndice son aplicables a tensiones determinadas por la acción de ***cargas de servicio en combinaciones para estados límite de servicio***. La máxima tensión debida a cargas de servicio será menor o igual a ***0,66 F_y***.

El rango de tensión se define como la magnitud del ***cambio de tensión debido a la aplicación y retiro de las sobrecargas útiles no mayoradas***. En el caso de tensiones oscilatorias alternadas el rango de tensión será calculado como la suma de los valores absolutos de la máxima tensión repetida de tracción y de la máxima tensión repetida de compresión o por la suma de los valores absolutos de las máximas tensiones de corte en sentidos opuestos, ***en todos los casos en el punto de probable iniciación de la fisuración***.

En el caso de ***juntas a tope con soldaduras a tope de penetración completa***, el máximo rango de tensión calculado por la expresión (3.1) será de explicación sólo para aquellas soldaduras sin defectos que satisfagan los requerimientos de aceptación dados en las Secciones ***6.12.2. y 6.13.2. del Reglamento CIRSOC 304-2007***.

No se evaluará la ***resistencia a los efectos de fatiga*** si el rango de tensión debido a las sobrecargas útiles es menor que el umbral de rango de tensión, ***F_{TH}***, dado en la Tabla ***3.1.*** de este Apéndice.

No se evaluará la ***resistencia a los efectos de fatiga*** si el número de aplicaciones de las sobrecargas útiles en la vida útil del elemento estructural considerado es menor que ***2x10⁴***.

No se evaluará la ***resistencia a los efectos de fatiga*** en miembros de edificios solicitados por acciones de viento especificadas por el ***Reglamento CIRSOC 102-2005***.

La **resistencia a los efectos de fatiga** determinada por las especificaciones de este Apéndice será aplicable a estructuras con adecuada protección contra la corrosión y sometidas a atmósferas poco corrosivas, tal como las condiciones atmosféricas normales.

La **resistencia a los efectos de fatiga** determinada por las especificaciones de este Apéndice sólo será aplicable a estructuras sometidas a temperaturas menores o iguales que **150°C**.

El Proyectista deberá especificar ya sea los detalles completos incluyendo dimensiones de soldaduras, o bien especificar los ciclos previstos en la vida útil y los rangos máximos de momentos flectores, esfuerzos de corte y reacciones para las uniones.

3.2. CÁLCULO DE LA TENSIÓN MÁXIMA Y DEL RANGO DE TENSIÓN

La determinación de las tensiones se hará por **análisis elástico**. Las tensiones no serán amplificadas por factores de concentración de tensiones resultantes de discontinuidades geométricas.

Para bulones y barras roscadas sometidos a tracción axil, se incluirán en el cálculo de la tensión los **efectos de la acción de palanca**, si ella existiera.

En el caso de tensión axil combinada con flexión, la máxima tensión de cada clase será aquélla determinada por los efectos concurrentes de las cargas aplicadas.

Para miembros con secciones transversales simétricas, los pasadores y soldaduras serán dispuestos simétricamente respecto de los ejes del miembro, o bien las tensiones resultantes de la excentricidad serán incluidas en la determinación del rango de tensión.

Para miembros de ángulo simple donde el centro de gravedad de las soldaduras de unión se ubica entre la línea del centro de gravedad de la sección transversal del ángulo y el eje de gravedad del ala unida, se podrán ignorar los efectos de la excentricidad. Si el centro de gravedad de las soldaduras de unión se ubica fuera de dicha zona, se deberán incluir en el cálculo del rango de tensión las tensiones debidas al efecto de la excentricidad.

3.3. VERIFICACIÓN DEL ESTADO LÍMITE DE FATIGA PARA MATERIAL BASE Y JUNTAS SOLDADAS. RANGO DE TENSIÓN DE DISEÑO

El **rango de tensión bajo la acción de las cargas de servicio será menor o igual que el rango de tensión de diseño**, determinado según las siguientes especificaciones:

(a) **Para Categorías de tensión A, B, B', C, D, E y E'**, el rango de tensión de diseño F_{SR} será determinado por la expresión (3.1).

$$F_{SR} = \left(\frac{327 C_f}{N} \right)^{0,333} \geq F_{TH} \quad (3.1)$$

siendo:

F_{SR} el rango de tensión de diseño, en MPa.

C_f la constante obtenida de la Tabla 3.1. de este Apéndice según la categoría de tensión.

N - el número de variaciones del rango de tensión en la vida útil de la estructura.
- el número de variaciones del rango de tensión por día x 365 x años de vida útil.

F_{TH} el umbral de rango de tensión de fatiga, rango de tensión máximo para vida útil indefinida, obtenido de la Tabla 3.1., en MPa.

(b) Para categoría de tensión F , el rango de tensión de diseño F_{SR} (MPa) será determinado por la expresión (3.2).

$$F_{SR} = \left(\frac{11 \times 10^4 C_f}{N} \right)^{0,167} \geq F_{TH} \quad (3.2)$$

(c) Para chapas traccionadas unidas con juntas en cruz, en Te o en ángulo, con soldaduras transversales a la dirección de la tensión del tipo a tope de penetración completa, a tope de penetración parcial, de filete o combinación de ellas, el rango de tensión de diseño en la sección transversal de la chapa traccionada cercana al pie de la soldadura, será determinado según las siguientes especificaciones:

- Basado en que la iniciación de la fisura se produce en el pie de la soldadura, el rango de tensión de diseño de la chapa traccionada, F_{SR} , deberá ser determinado por la expresión (3.3), para Categoría C , lo que resulta:

$$F_{SR} = \left(\frac{14,4 \times 10^{11}}{N} \right)^{0,333} \geq 68,9 \text{ MPa} \quad (3.3)$$

- Basado en que la iniciación de la fisura se produce en la raíz de la soldadura, cuando se usan soldaduras a tope de penetración parcial transversales, con o sin soldaduras de filete de refuerzo o contorno, el rango de tensión de diseño de la chapa traccionada en la sección transversal cercana al pie de la soldadura deberá ser determinado por la expresión (3.4), correspondiente a la Categoría C' :

$$F_{SR} = R_{JPP} \left(\frac{14,4 \times 10^{11}}{N} \right)^{0,333} \quad (3.4)$$

siendo:

R_{JPP} el factor de reducción para soldaduras transversales de penetración parcial (JPP) reforzadas o no reforzadas. Si $R_{JPP} = 1$ se usará Categoría **C**:

$$= \left(\frac{1,12 - 1,01 \left(\frac{2a}{t_p} \right) + 1,24 \left(\frac{w}{t_p} \right)}{t_p^{0,167}} \right) \times 0,68 \leq 1,0 \quad (3.5)$$

$2a$ la longitud de la cara de la raíz no soldada en la dirección del espesor de la chapa traccionada, en cm.

w el lado de la soldadura de filete de refuerzo o contorno, si existe, en la dirección del espesor de la chapa traccionada, en cm.

t_p el espesor de la chapa traccionada, en cm.

- Basado en que la iniciación de la fisura se produce desde las raíces del par de soldaduras transversales de filete ubicadas en lados opuestos de la chapa traccionada, el rango de tensión de diseño F_{SR} de la sección transversal cercano al pie de las soldaduras deberá ser determinado por la expresión (3.6), correspondiente a la Categoría **C**:

$$F_{SR} = R_{FIL} \left(\frac{14,4 \times 10^{11}}{N} \right)^{0,333} \quad (3.6)$$

siendo:

R_{FIL} el factor de reducción para juntas que sólo usan un par de soldaduras de filete transversales. Si $R_{FIL} = 1$ se usará Categoría **C**.

$$= \left(\frac{0,10 + 1,24 \left(\frac{w}{t_p} \right)}{t_p^{0,167}} \right) \times 0,68 \leq 1,0 \quad (3.7)$$

3.4. VERIFICACIÓN DEL ESTADO LÍMITE DE FATIGA PARA BULONES Y PARTES ROSCADAS . RANGO DE TENSIÓN DE DISEÑO

El rango de tensión para cargas de servicio será menor o igual que el rango de tensión de diseño determinado según las siguientes especificaciones :

- (a) Para pasadores mecánicos en uniones sometidas a fuerzas de corte, el máximo rango de tensión en el material unido para cargas de servicio será menor o igual que el rango de tensión de diseño calculado con la expresión (3.1) donde C_f y F_{TH} serán tomados de la Sección 2 de la Tabla 3.1. de este Apéndice.

(b) Para bulones de alta resistencia, bulones comunes, y varillas de anclaje roscadas con roscas cortadas, laminadas o esmeriladas, el máximo rango de tensión de tracción en el área neta a tracción para fuerzas axiales y momento aplicadas y fuerzas resultantes del efecto de la acción de palanca, será menor o igual que el rango de tensión de diseño determinado con la expresión (3.8), (como para Categoría G). El área neta a tracción A_t , en cm^2 será calculada con la expresión (3.9).

$$F_{SR} = \left(\frac{1,28 \times 10^{11}}{N} \right)^{0,333} \geq 48 \quad (3.8)$$

$$A_t = \frac{\pi}{4} (d_b - 0,9382 P)^2 \quad (3.9)$$

siendo:

P el paso de rosca, en cm / rosca.

d_b el diámetro nominal (diámetro del cuerpo o espiga), en cm.

Para juntas en las cuales el material dentro de la zona de apriete no se limita al acero, o juntas que no son pretensadas con los requerimientos de la Tabla J.3.1., todas las fuerzas axiales y momentos aplicados más los efectos de la acción de palanca (si existe) se **supondrán tomados exclusivamente por los bulones o barras roscadas.**

Para juntas en las cuales el material dentro de la zona de apriete es sólo acero y en las cuales los pasadores son pretensados según lo especificado en la Tabla J.3.1., se permite usar un análisis de la rigidez relativa de las partes unidas y de los bulones a fin de determinar el rango de tensión de tracción en los bulones pretensados debidos a las fuerzas axiales y momentos producidos por la totalidad de las sobrecargas útiles de servicio más los efectos de la acción de palanca (si existe). Alternativamente el rango de tensión en los bulones puede ser tomado como el **20%** del valor absoluto de la tensión en el área neta a tracción debida a la fuerza axial y al momento producidos por la acción de las cargas de servicio permanentes, sobrecargas útiles y otras cargas variables.

3.5. REQUERIMIENTOS ESPECIALES PARA FABRICACIÓN Y MONTAJE

Si se utilizan barras longitudinales de respaldo se permite que permanezcan en su lugar, pero ellas deberán ser continuas. Si es necesario empalmarlas en juntas largas, las barras serán unidas a tope con soldaduras de penetración completa y el refuerzo será pulido antes del armado de la junta. Los respaldos laterales, si son dejados en su lugar deberán estar unidos por soldaduras de filete.

En uniones transversales sometidas a tracción, si se usan barras de respaldo, ellas deberán ser removidas y la junta respaldada escarificada y soldada.

En soldaduras transversales a tope de penetración completa en juntas en ángulo o en Te, en los ángulos entrantes serán agregadas soldaduras de filete de **refuerzo de no menos de 6mm de lado.**

Las superficies rugosas de los bordes cortados a soplete sujetos a rangos de tensión de tracción significativos deberán tener un esmerilado menor o igual que **25 μm (1000 μin)**, donde la referencia estándar será ASME B46.1.

Los ángulos entrantes de cortes, rebajes y agujeros de acceso para soldar serán ejecutados con radios mayores o iguales a 10 mm por taladrado o punzonado y posterior escariado del agujero, o por corte térmico que forme el radio del corte. Si el radio es formado por corte térmico la superficie del corte será esmerilada hasta dejar la superficie brillante.

Para juntas a tope transversales en zonas de alta tensión de tracción, se usarán chapas de respaldo de inicio para permitir la terminación de la soldadura fuera de los extremos de la junta. Las chapas de respaldo de inicio deberán ser removidas y el extremo de la soldadura será nivelado con el borde de las chapas. No se permite el uso de topes extremos alineados con los bordes de las chapas.

Para los requerimientos de retornos extremos de soldaduras de filete sometidas a cargas cíclicas de servicio, ver la Sección **J.2.2.(b)** (Terminaciones de soldaduras de filete).

Tabla 3.1. Parámetros para el proyecto para fatiga

Descripción	Categoría de tensión	Constante C_f	Umbral F_{TH} (MPa)	Punto potencial de inicio de fisura
SECCIÓN 1. MATERIAL PLANO FUERA DE CUALQUIER SOLDADURA				
1.1. Metal base, excepto aceros resistentes a la corrosión no bañados, con superficie laminada o limpia. Bordes cortados a soplete con superficie esmerilada con valor menor o igual a $25\mu m$, con extremos sin ángulos entrantes.	A	250×10^8	165	Fuera de toda soldadura o unión estructural
1.2. Metal base acero resistente a la corrosión no bañado con superficie laminada o limpia. Bordes cortados a soplete con superficie esmerilada con valor menor o igual a $25\mu m$, con extremos sin ángulos entrantes.	B	120×10^8	110	Fuera de toda soldadura o unión estructural
1.3. Elementos con agujeros taladrados o escariados. Elementos con ángulos entrantes en cortes, rebajes, bloques salientes u otra discontinuidad geométrica ejecutada según las especificaciones de la Sección 3.5., excepto agujeros de acceso.	B	120×10^8	110	Cerca de cualquier borde externo o perímetro de agujero
1.4. Secciones transversales laminadas con agujeros de acceso para soldar ejecutados según las especificaciones de la Sección J.1.6. y de la Sección 3.5.. Barras con agujeros taladrados o escariados para bulones de unión de arriostramientos ligeros donde existe una pequeña componente longitudinal de la fuerza de la riostra.	C	44×10^8	69	Cerca de los ángulos entrantes de los agujeros de acceso o de cualquier pequeño agujero (puede contener bulones para uniones menores).
SECCION 2. MATERIAL UNIDO EN UNIONES CON PASADORES MECÁNICOS				
2.1. Área bruta del metal base en juntas traslapadas unidas con bulones de alta resistencia en uniones que cumplen todas las especificaciones de las uniones de deslizamiento crítico.	B	120×10^8	110	A lo largo de la sección bruta cerca del agujero.
2.2. Metal base en la sección neta de la unión con bulones de alta resistencia diseñados en base a resistencia a corte pero fabricados e instalados con los requerimientos de las uniones de deslizamiento crítico.	B	120×10^8	110	En la sección neta originada al lado del agujero
2.3. Metal base en la sección neta de otras uniones con pasadores mecánicos excepto barras de ojo y barras unidas por perno.	D	22×10^8	48	En la sección neta originada al lado del agujero.
2.4. Metal base en la sección neta de barras de ojo y barras unidas por perno.	E	11×10^8	31	En la sección neta originada al lado del agujero.

Tabla 3.1. (continuación) Parámetros para el proyecto para fatiga

Ilustración de ejemplos típicos		
SECCIÓN 1 . MATERIAL PLANO FUERA DE CUALQUIER SOLDADURA		
1.1 y 1.2		
1.3		
1.4		
SECCIÓN 2 . MATERIAL UNIDO EN UNIONES CON PASADORES MECÁNICOS		
2.1	<p>Nota. las figuras son para uniones de deslizamiento crítico</p>	
2.2	<p>Nota. las figuras son para uniones abulonadas proyectadas como tipo aplastamiento satisfaciendo especificaciones de uniones de desplazamiento crítico</p>	
2.3	<p>Nota. las figuras son de bulones con ajuste sin juego, remaches u otros pasadores</p>	
2.4		

Tabla 3.1. (continuación) Parámetros para el proyecto para fatiga

Ilustración de ejemplos típicos	
SECCIÓN 3 . COMPONENTES DE UNIONES SOLDADAS DE BARRAS ARMADAS	
3.1	<p>SPC. Soldadura a tope de penetración completa</p>
3.2	
3.3	
3.4	
3.5	
3.6	
SECCIÓN 4 . SOLDADURAS LONGITUDINALES DE FILETE EN UNIONES EXTREMAS	
4.1	

Tabla 3.1. (continuación) Parámetros para el proyecto para fatiga

Descripción	Categoría de tensión	Constante C_f	Umbral F_{TH} (MPa)	Punto potencial de inicio de fisura
SECCION 3. COMPONENTES DE UNIONES SOLDADAS DE BARRAS ARMADAS				
3.1. Metal base y metal de aporte en barras sin piezas accesorias unidas, armadas con chapas o perfiles, unidos por soldaduras longitudinales: continuas a tope de penetración completa, respaldo retomado y soldado por el revés, o por soldaduras de filete continuas.	B	120×10^8	110	Desde la superficie o discontinuidades internas en la soldadura fuera del extremo de la misma.
3.2. Metal base y metal de aporte en barras sin piezas accesorias unidas, armadas con chapas o perfiles, unidos por soldaduras longitudinales: continuas a tope de penetración completa con barras de respaldo no removidas o continuas a tope de penetración parcial.	B'	61×10^8	83	Desde la superficie o discontinuidades internas en la soldadura incluidas las soldaduras de unión de las barras de respaldo.
3.3. Metal base y metal de aporte en la terminación de soldaduras longitudinales cerca de agujeros de acceso en barras armadas.	D	22×10^8	48	Desde la terminación de la soldadura dentro del alma o ala.
3.4. Metal base cerca de los extremos de los segmentos de soldaduras de filete intermitentes.	E	11×10^8	31	En el material unido en el comienzo y en sito de soldadura.
3.5. Metal base en los extremos de platabandas de longitud parcial y mas angostas que el ala que tengan extremos en ángulo recto o de ancho variable, con o sin soldaduras transversales; o platabandas mas anchas que el ala, con soldaduras transversales en el extremo. Espesor del ala $\leq 2 \text{ cm}$ Espesor del ala $> 2 \text{ cm}$	E E'	11×10^8 $3,9 \times 10^8$	31 18	En ala en el pie de la soldadura extrema, o en ala en el final de la soldadura longitudinal, o en el borde del ala en contacto con el ancho de la platabanda.
3.6. Metal base en los extremos de platabandas de longitud parcial, mas anchas que el ala, sin soldaduras transversales en el extremo.	E'	$3,9 \times 10^8$	18	En el borde del ala cerca del extremo de la soldadura de la platabanda.
SECCION 4. SOLDADURAS LONGITUDINALES DE FILETE EN UNIONES EXTREMAS				
4.1. Metal base en empalmes de barras axialmente cargadas con soldaduras longitudinales en las uniones extremas. Las soldaduras se ubicarán a cada lado del eje de la barra de manera que la tensión en la soldadura resulte balanceada. $t \leq 1,2 \text{ cm}$ $t > 1,2 \text{ cm}$	E E'	11×10^8 $3,9 \times 10^8$	31 18	Iniciación desde el extremo de cualquier terminación de soldadura extendiéndose dentro del metal base.

Tabla 3.1. (continuación) Parámetros para el proyecto para fatiga

Descripción	Categoría de Tensión	Constante C_f	Umbral F_{TH} (MPa)	Punto potencial de inicio de fisura
SECCION 5. SOLDADURAS TRANSVERSALES A LA DIRECCIÓN DE LA TENSIÓN				
5.1. Metal base y metal de aporte en o adyacencias a empalmes soldados a tope con penetración completa en secciones laminadas o armadas soldadas, con mecanizado de la soldadura fundamentalmente paralelo a la dirección de la tensión y con calidad garantizada por inspección radiográfica o ultrasónica de acuerdo con los artículos 6.12. o 6.13. del Reglamento CIRSOC 304-2007	B	120×10^8	110	Desde discontinuidades internas del metal de aporte o a lo largo del límite de fusión.
5.2. Metal base y metal de aporte en o adyacencias a empalmes soldados a tope con penetración completa, con mecanizado de la soldadura fundamentalmente paralelo a la dirección de la tensión, en transiciones de espesor o de ancho con pendiente menor o igual a 1 en 2,5. $F_y < 620 \text{ MPa}$ $F_y \geq 620 \text{ MPa}$	B B'	120×10^8 61×10^8	110 83	Desde discontinuidades internas del metal de aporte o a lo largo del límite de fusión o en el inicio de la transición cuando $F_y \geq 620 \text{ MPa}$
5.3. Metal base con F_y menor o igual que 620 MPa y metal de aporte, en o las adyacencias de empalmes soldados a tope con penetración completa con mecanizado de la soldadura fundamentalmente paralelo a la dirección de la tensión, en transiciones de ancho con radio menor o igual que 600 mm , con el punto de tangencia cercano al extremo de la soldadura.	B	120×10^8	110	Desde discontinuidades internas del metal de aporte o a lo largo del límite de fusión.
5.4. Metal base y metal de aporte en o las adyacencias del pie de la soldadura a tope de penetración completa en empalmes o en juntas en Te o en ángulo, con o sin transición en espesor con pendiente menor o igual a 1 en 2,5, con soldadura de refuerzo no removida.	C	44×10^8	69	Desde la superficie de la discontinuidad en el pie de la soldadura extendiéndose dentro del metal base o a lo largo del límite de fusión.

Tabla 3.1. (continuación) Parámetros para el proyecto para fatiga

Ilustración de ejemplos típicos	
SECCIÓN 5 . SOLDADURAS TRANSVERSALES A LA DIRECCIÓN DE LA TENSIÓN	
5.1	
5.2	
5.3	
5.4	

Tabla 3.1. (continuación) Parámetros para el proyecto para fatiga

Descripción	Categoría de Tensión	Constante C_f	Umbral F_{TH} (MPa)	Punto potencial de inicio de fisura
SECCION 5. SOLDADURAS TRANSVERSALES A LA DIRECCIÓN DE LA TENSIÓN				
<p>5.5. Metal base y metal de aporte en uniones extremas transversales de chapas traccionadas con soldaduras a tope de penetración parcial o en juntas en Te o en ángulo, con soldaduras de filete de refuerzo o contorno. F_{SR} será el menor de los rangos de tensión entre los de inicio de la fisura en el pie o inicio de la fisura en la raíz.</p> <p>Iniciación de la fisura desde el pie:</p> <p>Iniciación de la fisura desde la raíz:</p>	<p>C</p> <p>C'</p>	<p>44×10^8</p> <p>Expresión (3.4)</p>	<p>69</p> <p>No proporcionado</p>	<p>Iniciación desde discontinuidades geométricas en el pie de la soldadura extendida dentro del metal base, o iniciación en la raíz sometida a tracción extendida hacia arriba y luego hacia afuera a través de la soldadura.</p>
<p>5.6. Metal base y metal de aporte en uniones extremas transversales de chapas traccionadas usando un par de soldaduras de filete ubicadas en lados opuestos de la chapa. F_{SR} será el menor de los rangos de tensión entre los de inicio de la fisura en el pie o inicio de la fisura en la raíz.</p> <p>Inicio de la fisura desde el pie:</p> <p>Inicio de la fisura en la raíz:</p>	<p>C</p> <p>C''</p>	<p>44×10^8</p> <p>Expresión (3.5)</p>	<p>69</p> <p>No proporcionado</p>	<p>Iniciación desde discontinuidad geométrica en el pie de la soldadura extendida dentro del metal base o iniciación en la raíz sometida a tracción extendida hacia arriba y luego hacia afuera a través de la soldadura.</p>
<p>5.7. Metal base de chapas traccionadas y en almas y alas de vigas laminadas y armadas, en el pie de las soldaduras transversales de filete adyacentes a rigidizadores transversales soldados.</p>	<p>C</p>	<p>44×10^8</p>	<p>69</p>	<p>Desde discontinuidad geométrica en el pie del filete extendida dentro del metal base.</p>

TABLA 3.1. (continuación) Parámetros para el proyecto para fatiga

Ilustración de ejemplos típicos	
SECCIÓN 5 . SOLDADURAS TRANSVERSALES A LA DIRECCIÓN DE LA TENSIÓN	
5.5	<p>SPP. Soldadura a tope de penetración parcial</p>
5.6	<p>Fisuración potencial debido a la tracción por flexión</p>
5.7	<p>t sin importancia $> \bar{C}$</p>

TABLA 3.1. (continuación) Parámetros para el proyecto para fatiga

Descripción	Categoría de Tensión	Constante C_f	Umbral F_{TH} (MPa)	Punto potencial de inicio de fisura
SECCION 6. METAL BASE EN UNIONES SOLDADAS DE BARRAS TRANSVERSALES				
<p>6.1. Metal base de piezas accesorias unidas por soldaduras a tope de penetración completa sometidas a cargas longitudinales sólo cuando la pieza accesorio se une con un radio de transición R, y con la soldadura pulida.</p> <p>$R \geq 600mm$</p> <p>$600 mm > R \geq 150 mm$</p> <p>$150 mm > R \geq 50 mm$</p> <p>$50 mm > R$</p>	<p>B</p> <p>C</p> <p>D</p> <p>E</p>	<p>120×10^8</p> <p>44×10^8</p> <p>22×10^8</p> <p>11×10^8</p>	<p>110</p> <p>69</p> <p>48</p> <p>31</p>	<p>Cerca del punto de tangencia del radio en el borde de la barra.</p>
<p>6.2. Metal base de piezas accesorias de igual espesor unidas con soldadura a tope de penetración completa sometidas a cargas transversales con o sin cargas longitudinales, cuando la pieza accesorio se une con un radio de transición R, y con la soldadura pulida y con calidad garantizada por inspección radiográfica o ultrasónica de acuerdo con los artículos 6.12. o 6.13. del Reglamento CIRSOC 304-2007</p> <p>- Cuando la placa de respaldo sea removida:</p> <p>$R \geq 600 mm$</p> <p>$600 mm > R \geq 150 mm$</p> <p>$150 mm > R \geq 50 mm$</p> <p>$50 mm > R$</p> <p>- Cuando la placa de respaldo no sea removida:</p> <p>$R \geq 600 mm$</p> <p>$600 mm > R \geq 150 mm$</p> <p>$150 mm > R \geq 50 mm$</p> <p>$50 mm > R$</p>	<p>B</p> <p>C</p> <p>D</p> <p>E</p> <p>C</p> <p>C</p> <p>D</p> <p>E</p>	<p>120×10^8</p> <p>44×10^8</p> <p>22×10^8</p> <p>11×10^8</p> <p>44×10^8</p> <p>44×10^8</p> <p>22×10^8</p> <p>11×10^8</p>	<p>110</p> <p>69</p> <p>48</p> <p>31</p> <p>69</p> <p>69</p> <p>48</p> <p>31</p>	<p>Cerca de los puntos de tangencia del radio o en la soldadura o en el límite de fusión o en la barra o en la pieza accesorio.</p> <p>En el pie de la soldadura a lo largo de cualquiera de los bordes de la barra o de la pieza accesorio.</p>

Tabla 3.1. (continuación) Parámetros para el proyecto para fatiga

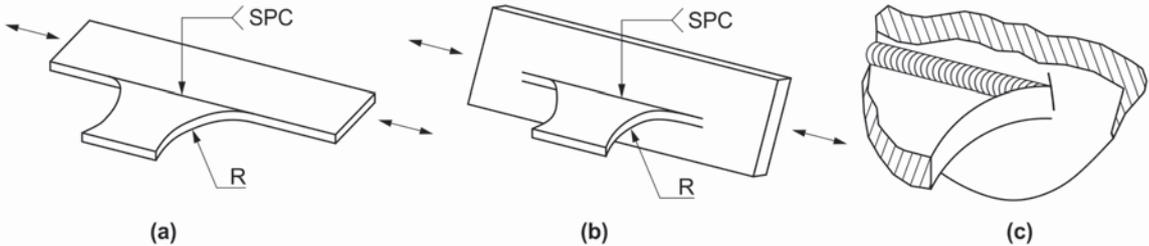
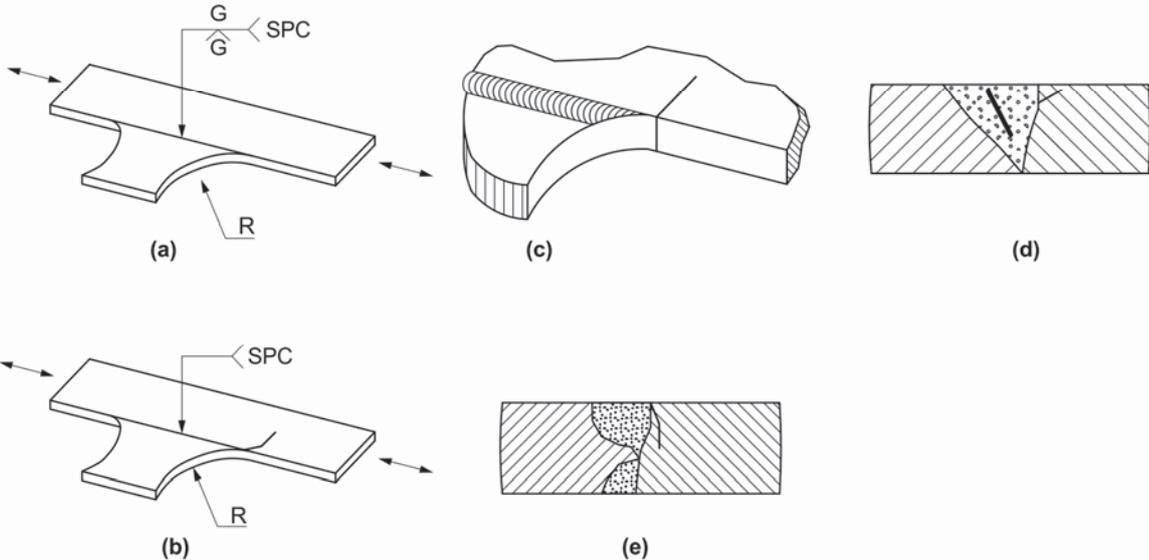
Ilustración de ejemplos típicos
SECCIÓN 6 . METAL BASE EN UNIONES SOLDADAS DE BARRAS TRANSVERSALES
<p>6.1</p>  <p>(a) (b) (c)</p>
<p>6.2</p>  <p>(a) (b) (c) (d) (e)</p>

Tabla 3.1. (continuación) Parámetros para el proyecto para fatiga

Descripción	Categoría de Tensión	Constante C_f	Umbral F_{TH} (MPa)	Punto potencial de inicio de fisura
SECCIÓN 6. METAL BASE EN UNIONES SOLDADAS DE BARRAS TRANSVERSALES				
<p>6.3. Metal base de piezas accesorias de distinto espesor unidas por soldaduras a tope de penetración completa sometidas a cargas transversales con o sin cargas longitudinales cuando la pieza accesorias se une con un radio de transición R, y con la soldadura pulida y con calidad garantizada por inspección radiográfica o ultrasónica de acuerdo con los artículos 6.12. o 6.13. del Reglamento CIRSOC 304-2007</p> <p>-Cuando la placa de respaldo sea removida:</p>				
$R > 50 \text{ mm}$	D	22×10^8	48	Al pie de la soldadura a lo largo del borde del material mas delgado.
$R \leq 50 \text{ mm}$	E	11×10^8	31	En la terminación de la soldadura en el radio pequeño.
<p>-Cuando la placa de respaldo no sea removida:</p> <p>-Cualquier radio:</p>	E	11×10^8	31	Al pie de la soldadura a lo largo del borde del material mas delgado
<p>6.4. Metal base sometido a tensión longitudinal en el elemento transversal, con o sin tensión transversal, unido por soldaduras de filete o soldadura a tope de penetración parcial, paralelas a la dirección de la tensión, cuando la pieza accesorias se une con un radio de transición R, y con la soldadura pulida:</p>				En la terminación de la soldadura o desde el pie de la soldadura extendida dentro del elemento.
$R > 50 \text{ mm}$	D	22×10^8	48	
$R \leq 50 \text{ mm}$	E	11×10^8	31	

Tabla 3.1. (continuación) Parámetros para el proyecto para fatiga

Descripción	Categoría de Tensión	Constante C_f	Umbral F_{TH} (MPa)	Punto potencial de inicio de fisura
SECCIÓN 7. METAL BASE EN PIEZAS ACCESORIAS CORTAS ⁽¹⁾				
<p>7.1. Metal base sometido a cargas longitudinales en piezas accesorias unidas por soldaduras a tope de penetración completa paralelas a la dirección de la tensión cuando la pieza accesorio se une con un radio de transición R menor que 50 mm, siendo a la longitud de la pieza accesorio en la dirección de la tensión, y b la altura de la pieza accesorio normal a la superficie de la barra :</p> <p>$a < 50 \text{ mm}$</p> <p>$50 \text{ mm} \leq a \leq$ menor valor entre 12 b o 100 mm</p> <p>$a > 100 \text{ mm}$ cuando $b \leq 20 \text{ mm}$</p> <p>$a >$ menor valor entre 12 b ó 100 mm cuando $b > 20 \text{ mm}$</p>	<p>C</p> <p>D</p> <p>E</p> <p>E'</p>	<p>44×10^8</p> <p>22×10^8</p> <p>11×10^8</p> <p>$3,9 \times 10^8$</p>	<p>69</p> <p>48</p> <p>31</p> <p>18</p>	<p>Inicio en el metal base en la terminación de la soldadura o en el pie de la soldadura extendiéndose en dirección al metal base.</p>
<p>7.2. Metal base sometido a cargas longitudinales en piezas accesorias unidas por soldaduras de filete o a tope de penetración parcial, con o sin cargas transversales en la pieza accesorio, cuando ella se une con un radio de transición R, y con la soldadura pulida:</p> <p>$R > 50 \text{ mm}$</p> <p>$R \leq 50 \text{ mm}$</p>	<p>D</p> <p>E</p>	<p>22×10^8</p> <p>11×10^8</p>	<p>48</p> <p>31</p>	<p>En la terminación de la soldadura extendida dentro del metal base.</p>
<p>(1) Pieza accesorio corta se define como cualquier pieza accesorio de acero soldada a la barra, la cual por su simple presencia e independientemente de sus cargas, crea una discontinuidad en el flujo de tensiones en la barra y de esa manera reduce la resistencia a fatiga.</p>				

Tabla 3.1. (continuación) Parámetros para el proyecto para fatiga

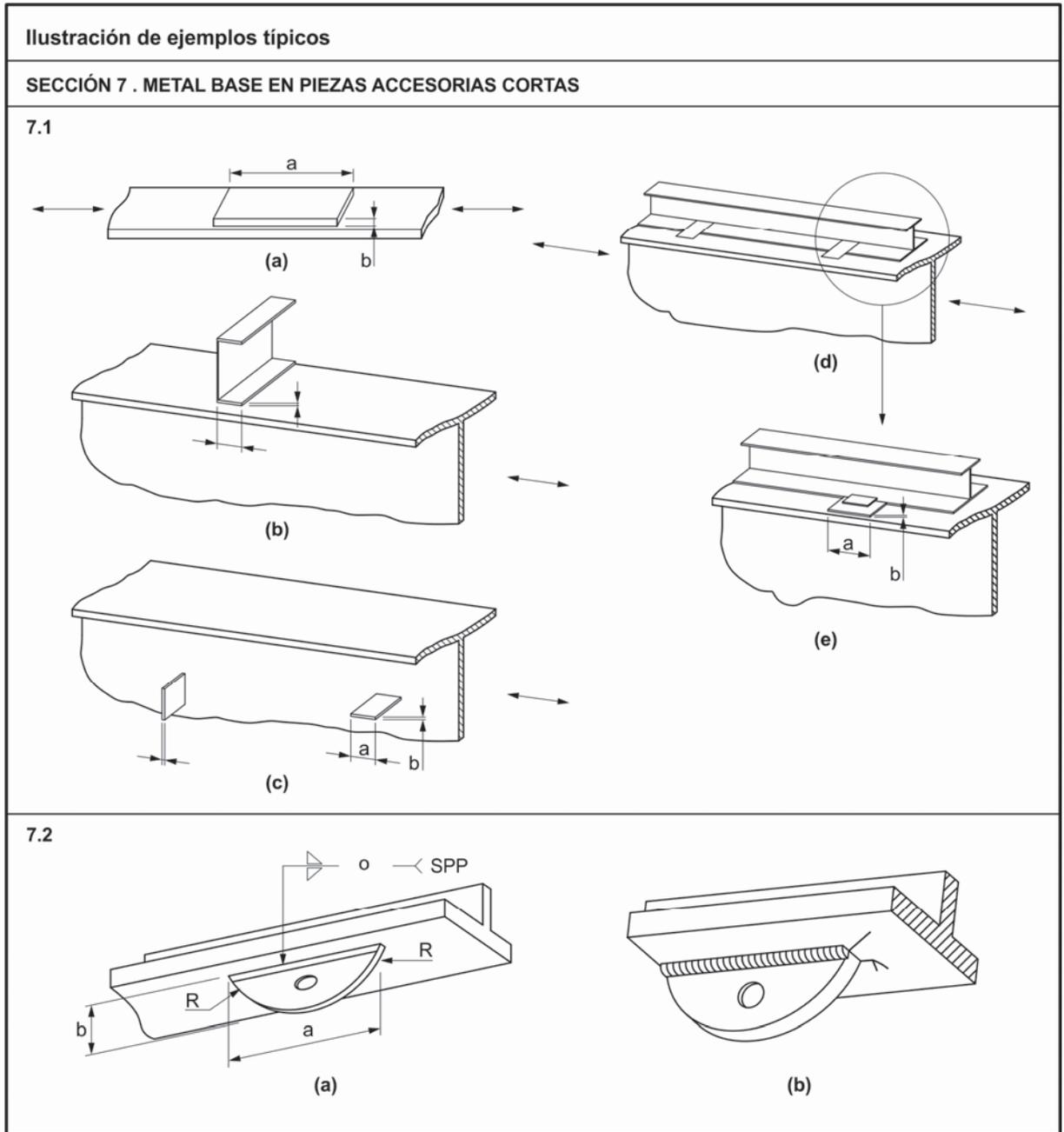


Tabla 3.1. (continuación) Parámetros para el proyecto para fatiga

Descripción	Categoría de Tensión	Constante C_f	Umbral F_{TH} (MPa)	Punto potencial de inicio de fisura
SECCIÓN 8. VARIOS				
8.1. Metal base con pernos de corte unidos por soldadura de filete o soldadura eléctrica del perno.	C	44×10^8	69	En el pie de la soldadura en el metal base.
8.2. Corte en garganta de soldaduras de filete continua o intermitente, longitudinal o transversal.	F	150×10^{10} Expresión (3-2)	55	En la raíz de la soldadura de filete y se extiende en la soldadura.
8.3. Metal base en soldaduras de tapón o de muesca.	E	11×10^8	31	En el extremo de la soldadura en el metal base.
8.4. Corte en soldaduras de tapón o de muesca.	F	150×10^{10} Expresión (3-2)	55	En la superficie de contacto extendiéndose en la soldadura.
8.5. Bulones de alta resistencia no totalmente pretensados, bulones comunes y varillas roscadas con rosca cortada, esmerilada o laminada. El rango de tensión en el área neta traccionada será el debido a la sobrecarga útil mas el efecto de la acción de palanca, si ella existiera.	G	$3,9 \times 10^8$	48	En la raíz de la rosca extendida dentro del área traccionada.

Tabla 3.1. (continuación) Parámetros para el proyecto para fatiga

Ilustración de ejemplos típicos	
SECCIÓN 8 . VARIOS	
8.1	<p>(a) (b)</p>
8.2	<p>(a) (b) (c)</p>
8.3	<p>(a) (b)</p>
8.4	<p>(a) (b)</p>
8.5	<p>(a) (b) (c) (d)</p> <p>lugar de fisuras</p> <p>lugar de fisuras</p> <p>lugar de fisuras</p>

APENDICE 4. PROYECTO PARA CONDICIONES DE INCENDIO

4.1. GENERALIDADES

Las estructuras de acero y sus elementos estructurales deberán presentar condiciones especiales de protección contra el fuego, cuando ello sea necesario, de acuerdo con lo especificado en este Apéndice.

El acero es un material que, cuando la temperatura alcanza los **600°C**; pierde aproximadamente el **50%** de su resistencia a fluencia y el **70%** de su módulo de elasticidad y por ende de su resistencia a deformarse.

El objetivo fundamental de la protección contra el fuego es el de establecer reglas y procedimientos que permitan minimizar el riesgo de vida de las personas y reducir la pérdida patrimonial.

Se entiende como riesgo de vida, la exposición severa a humo o calor de los usuarios del edificio y el eventual colapso de elementos del edificio sobre usuarios y equipos de combate de incendio.

4.2. ESPECIFICACIONES GENERALES

Para satisfacer el objetivo arriba enunciado, los edificios y sus estructuras se proyectarán, construirán, mantendrán y utilizarán de forma tal que se cumplan las exigencias básicas que se establecen en las normas arquitectónicas y de bomberos correspondientes.

Un **sistema de seguridad** contra incendio consistirá en un conjunto de medios activos y pasivos de protección. Los sistemas activos pueden ser medios de detección de calor o humo, rociadores, matafuegos, brigada de incendios, etc. Los sistemas pasivos son elementos que se diseñan para resistir el fuego (protección de los elementos estructurales de acero con materiales de protección contra incendio, muros y cerramientos corta-fuego), salidas de emergencia, etc., que permiten asegurar el escape de los ocupantes del edificio en condiciones seguras y minimizan los daños en edificios adyacentes e infraestructura pública. Además mantienen la seguridad de operación que sea necesaria.

Los sistemas de protección indicados deberán ser diseñados convenientemente a través de un proyecto para condiciones de incendio.

Un proyecto para condiciones de incendio apropiado se basará en evaluar la posibilidad de riesgo de incendio, su propagación y las consecuencias en caso de que se produzca.

Como concepto global de diseño debe evitarse el inicio de incendio dado que si se produce y se torna incontrolable, los daños a personas y daños materiales serán significativos.

Pero en caso de que se produzca, deberá controlarse al máximo su propagación de tal manera que durante el tiempo que sea necesario se mantenga la integridad de la estructura y se pueda evacuar completamente el edificio antes de un eventual colapso del mismo.

El proyecto para condiciones de incendio podrá hacerse sobre todo el edificio, sobre una planta completa o sobre alguna parte específica del mismo. Para ello, se debe definir el sector involucrado.

Se define como **sector de incendio** involucrado al espacio de un edificio separado de otras zonas del mismo por elementos constructivos delimitadores resistentes al fuego durante un período de tiempo determinado, en el interior del cual se puede confinar el incendio para que no se propague a otra parte del edificio.

Los elementos estructurales de acero, cuando se encuentran sometidos a un incendio pierden su capacidad resistente rápidamente, dependiendo de la masividad del elemento. Se entiende por masividad el cociente entre la superficie del elemento expuesta al fuego y el volumen del elemento estructural.

Es por ello que el proyecto para condiciones de incendio, deberá prever el sistema de protección necesario, de manera tal que ante la posibilidad de un incendio, la estructura mantenga su resistencia inicial durante el tiempo que indique la resistencia al fuego calculada.

4.3. RESISTENCIA AL FUEGO

Se define como **resistencia al fuego** al tiempo expresado en minutos, durante el cual, el edificio con el sistema de seguridad contra incendio y las protecciones sobre las estructuras adecuadas, mantiene las condiciones de resistencia que poseía a partir del comienzo del incendio. Se la identifica con la letra **R** seguida de un número que expresa el tiempo en minutos en el cual, se mantendrán las condiciones iniciales de resistencia y deformación.

La resistencia al fuego requerida se determinará en función de una combinación entre la carga de fuego y el riesgo de incendio del edificio.

Se define como **carga de fuego** la cantidad de energía resultante de la combustión completa de los materiales combustibles ubicados en el sector de incendio estudiado. Para ello, se calcula el peso de la madera expresada en kN por metro cuadrado de superficie, capaz de desarrollar una cantidad de calor equivalente a la de los materiales que se prevé se incorporarán o almacenarán en el sector en estudio.

El **riesgo de incendio** se determina en función de una combinación de los siguientes elementos:

- Dimensiones del edificio en planta y en altura.
- Distancia entre edificios lindantes.
- Destino del edificio.
- Materiales de construcción que forman parte del edificio y materiales almacenados en el mismo.
- Condiciones de extinción y escape.

Es importante saber que todos los materiales se degradan en presencia de temperaturas elevadas provocadas por un incendio.

El proyecto de una estructura de acero para condiciones de incendio, deberá prever la selección y disposición de los materiales que se utilizarán como protección de los elementos estructurales a fin de reducir su elevación de temperatura en un incendio.

Los materiales de protección de los elementos estructurales podrán ser revestimientos de morteros, hormigón o mampostería, paneles de yeso o de otro material de mayor resistencia al fuego, materiales proyectados, pinturas ignífugas etc. Las propiedades térmicas y mecánicas, la adherencia al acero y la eficiencia de los materiales de protección contra incendio, que permitan determinar los espesores necesarios, deberán ser provistos por los fabricantes y determinados por ensayos realizados en laboratorios certificados y de acuerdo a las normas IRAM correspondientes u otras normas internacionales reconocidas si aquellas no existieran.

APÉNDICE 5. EVALUACIÓN DE ESTRUCTURAS EXISTENTES

Este Apéndice es aplicable para la evaluación de la resistencia y la rigidez de estructuras existentes sometidas a la acción de cargas verticales estáticas (gravitatorias), realizada por análisis estructural, por ensayos de carga o por combinación de análisis estructural y ensayos de carga según lo especifiquen los documentos contractuales o el Profesional Responsable. Para dicha evaluación los tipos de acero no estarán limitados a los listados en la Sección A.3.1. del Reglamento. Este Apéndice no es aplicable a ensayos de carga para evaluar efectos de acciones sísmicas o cargas móviles que produzcan vibraciones.

Su contenido está organizado de la siguiente manera:

- 5.1. Especificaciones generales
- 5.2. Propiedades de los materiales
- 5.3. Evaluación por análisis estructural
- 5.4. Evaluación por ensayos de carga
- 5.5. Informe de la evaluación

5.1. ESPECIFICACIONES GENERALES

Estas especificaciones serán aplicables cuando la evaluación de estructuras de acero existentes sea especificada para:

- (a) verificación de un conjunto específico de acciones de proyecto ó
- (b) determinación de la resistencia de diseño de un elemento estructural o de un sistema estructural.

La evaluación será realizada por análisis estructural (Sección 5.3.), por ensayos de carga (Sección 5.4.) o por una combinación de análisis estructural y ensayos de carga, según lo especifiquen los documentos contractuales. Donde se utilicen ensayos de carga, el Profesional Responsable deberá primero analizar la estructura, preparar un plan de ensayos, y desarrollar un procedimiento escrito que prevenga la producción de deformaciones permanentes excesivas o de un colapso total o parcial durante los ensayos.

5.2. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

5.2.1. Determinación de los ensayos necesarios

El Profesional Responsable determinará los ensayos a realizar para obtener lo especificado en las Secciones 5.2.2. a 5.2.6. y fijará las ubicaciones donde ellos deberán ser realizados.

Donde sean utilizables, se permite el uso de los registros de la obra aplicables, si ello reduce o elimina la necesidad de ensayos.

5.2.2. Propiedades mecánicas

Las propiedades mecánicas de los miembros deberán ser consideradas en la evaluación por análisis estructural (Sección 5.3.) o por ensayos de carga (Sección 5.4.). Dichas propiedades deberán incluir la tensión de fluencia, la resistencia a tracción y la deformación específica de rotura del acero. Para ese propósito se podrán utilizar los registros de análisis de colada certificados, o registros certificados de ensayos mecánicos realizados por el Fabricante o ensayos de laboratorio realizados según las normas IRAM-IAS e IRAM aplicables.

Por otra parte, los ensayos de tracción que sean necesarios, deberán ser realizados sobre muestras cortadas de los componentes de la estructura realizados según la norma IRAM-IAS U 500-102.

5.2.3. Composición química

Cuando se prevea la necesidad de reparar o modificar partes de la estructura existente mediante soldaduras, se deberá determinar la composición química del acero para preparar las especificaciones para el procedimiento de soldadura.

Para ese propósito se podrán utilizar, si se encuentran disponibles, los registros de análisis de colada certificados, o registros certificados de ensayos realizados por el Fabricante o ensayos de laboratorio realizados según las normas IRAM correspondientes. Sin embargo se deberán realizar análisis según las normas IRAM 588, IRAM 850, IRAM 852, IRAM 854, IRAM 856, IRAM 857, IRAM 861, IRAM 862, y demás aplicables, sobre las muestras usadas para determinar las propiedades mecánicas o sobre otras muestras tomadas en la misma ubicación que aquellas.

5.2.4. Tenacidad del metal base

Cuando existan empalmes soldados traccionados de perfiles pesados definidos en la Sección A.3.1.b, que resulten críticos para el comportamiento de la estructura, deberá ser determinada la tenacidad Charpy sobre muestra entallada en V de acuerdo con las especificaciones de la Sección A.3.1.b.. Si los resultados del ensayo no satisfacen los requerimientos de la Sección A.3.1.b., el Profesional Responsable de la obra deberá determinar las acciones requeridas para remediar el problema.

5.2.5. Metal de soldadura

Cuando el comportamiento de la estructura dependa de uniones soldadas existentes, se obtendrán muestras representativas del metal de soldadura. Se deberán realizar análisis químicos y ensayos mecánicos que caractericen el metal de soldadura. También deberá hacerse una determinación sobre la magnitud y las consecuencias de las imperfecciones en las soldaduras. Si no se cumplen los requerimientos del **Reglamento CIRSOC 304-2007** el Profesional Responsable deberá determinar las acciones requeridas para remediar el problema.

5.2.6. Bulones y remaches

Se deberán inspeccionar muestras representativas de bulones para determinar su marca y su clasificación. Cuando no se puedan identificar adecuadamente los bulones en forma visual deberán ser extraídas muestras representativas y las mismas deberán ser ensayadas

para determinar la resistencia a tracción según normas IRAM aplicables y normas indicadas en la Sección **A.3.2.**, y según los resultados obtenidos clasificar los bulones. Alternativamente se permite suponer que los bulones son comunes (A307). Se supondrá que los remaches son del tipo de menor resistencia indicado en las normas IRAM salvo que se establezca fehacientemente que son de un grado superior mediante ensayos o documentación existente.

5.3. EVALUACIÓN POR ANÁLISIS ESTRUCTURAL

5.3.1. Datos de dimensiones

Todas las dimensiones usadas en la evaluación, tales como luces, altura de columnas, separación de miembros, ubicación de rigidizaciones, dimensiones de secciones transversales, espesores, y detalles de uniones, deberán ser determinadas mediante un ajustado relevamiento. Alternativamente, cuando sea posible, se podrán determinar las citadas dimensiones con los planos de proyecto, de taller o conformes a obra, con una verificación "in situ" de las dimensiones críticas.

5.3.2. Evaluación de resistencia

Los efectos de las acciones sobre los elementos estructurales y las uniones deberán ser determinadas por un análisis estructural que sea aplicable al tipo de estructura evaluada.

Los efectos de las acciones serán determinados para las acciones y las combinaciones de acciones especificadas en la Sección **B.2.**

La resistencia de diseño de los elementos estructurales y de las uniones serán determinadas con las especificaciones de los Capítulos **B** hasta **J** y los Apéndices aplicables de este Reglamento.

5.3.3. Evaluación de condiciones de servicio

Cuando sea necesario, se calcularán y registrarán las deformaciones bajo cargas de servicio.

5.4. EVALUACIÓN POR ENSAYOS DE CARGA

5.4.1. Determinación de la capacidad de sobrecarga útil por medio de ensayos

Para determinar la capacidad de sobrecarga útil de una estructura existente de piso o de techo por medio de ensayos, la carga de ensayo deberá ser aplicada en forma gradual de acuerdo con el plan establecido por el Profesional Responsable. La estructura deberá ser inspeccionada visualmente para detectar signos de daño o falla inminente para cada incremento de la carga aplicada. Frente a ello o a cualquier otra situación inusual se deberán tomar las medidas apropiadas.

La resistencia de diseño resultante de ensayo de la estructura será la máxima carga de ensayo aplicada más la carga permanente existente al momento del ensayo. La capacidad de sobrecarga útil nominal de una estructura de piso **L** será determinada haciendo la resistencia de diseño resultante de ensayo igual a $1,2 D + 1,6 L$, donde **D** es la carga

permanente nominal. La capacidad de sobrecarga útil nominal de una estructura de piso será menor o igual que aquella que puede calcularse usando las especificaciones aplicables de este Reglamento. Para estructuras de techo, **L**, **S** o **R**, tal como se definen en la Sección **B.2.** reemplazan a **L**. Se usarán combinaciones de acciones mas severas si el Código de Edificación local aplicable así lo determinara.

Serán programadas descargas periódicas una vez que el nivel de carga de servicio sea alcanzado y después que el inicio del comportamiento inelástico de la estructura sea identificado por la aparición de deformaciones permanentes y por la magnitud de las deformaciones inelásticas. Las deformaciones de la estructura, tales como las flechas de los miembros, deberán ser medidas durante el ensayo, refiriendo las mismas a la posición inicial anterior a la aplicación de las cargas. Se deberá verificar que, manteniendo la máxima carga de ensayo durante una hora, la deformación de la estructura no aumenta mas del **10%** por sobre la deformación medida al comienzo de ese período. Se permite repetir la secuencia si es necesaria una verificación.

Se registrarán las deformaciones de la estructura durante un período de 24 hs. posterior al retiro de la carga de ensayo para determinar la magnitud de las deformaciones permanentes. No se especifican límites para la deformación permanente con la máxima carga pues ellos dependen de cada estructura particular. Si no fuera posible realizar un ensayo de carga sobre la estructura completa, el mismo será realizado sobre un sector representativo de las condiciones mas críticas. Dicho sector no será menor que un módulo completo.

5.4.2. Evaluación de condiciones de servicio

Cuando sean especificados ensayos de carga, la estructura será gradualmente cargada hasta el nivel de la carga de servicio. Se controlarán las deformaciones durante un período de una hora. La estructura será descargada y se registrarán las deformaciones.

5.5. INFORME DE LA EVALUACIÓN

Después de completado la evaluación de la estructura existente el Profesional Responsable deberá preparar un informe documentado de la misma. Este informe deberá indicar si la evaluación fue realizada por análisis estructural, por ensayos de carga o por combinación de análisis estructural y ensayos de carga. Además cuando se realicen ensayos, el informe deberá incluir las cargas y combinaciones de cargas utilizadas, y las relaciones carga-deformación y deformación-tiempo observadas. También se incluirá toda información relevante obtenida de la documentación de obra y de proyecto, de los certificados de análisis de colada, y del material auxiliar de ensayos. Finalmente el informe deberá indicar si la resistencia de diseño de la estructura, incluidos todos los elementos estructurales y uniones, es adecuada para resistir los efectos de las cargas a los que aquella será sometida.

APÉNDICE 6. ARRIOSTRAMIENTOS PARA LA ESTABILIDAD DE VIGAS Y COLUMNAS

Este Apéndice especifica la resistencia y la rigidez mínimas necesarias para garantizar un punto de arriostamiento en una columna, una viga, una viga-columna y un pórtico.

Su contenido está organizado de la siguiente manera:

- 6.1. Especificaciones generales
- 6.2. Arriostamientos de columnas
- 6.3. Arriostamiento de vigas
- 6.4. Arriostamiento de viga-columna
- 6.5. Arriostamiento de pórticos

6.1. ESPECIFICACIONES GENERALES

Estas especificaciones definen las ***mínimas resistencia y rigidez de las riostras*** necesarias para asegurar la resistencia de diseño del elemento estructural arriostrado.

Una columna arriostrada en puntos extremos e intermedios con las especificaciones de la Sección 6.2. de este Apéndice, puede ser proyectada con una longitud L entre puntos arriostrados y con un factor de longitud efectiva $k = 1$. Las vigas con puntos de arriostamiento intermedios que satisfagan las especificaciones de la Sección 6.3. de este Apéndice podrán proyectarse basadas en la longitud lateralmente no arriostrada L_b igual a la distancia entre puntos intermedios.

Cuando el arriostamiento sea perpendicular al elemento estructural que arriostra se deberán emplear directamente las expresiones de las Secciones 6.2 y 6.3. Para arriostamientos inclinados o diagonales la ***Resistencia Requerida de la riostra*** (fuerza o momento) y la ***rigidez*** (fuerza por unidad de desplazamiento o momento por unidad de rotación) ***deberá ser corregida*** por el ángulo de inclinación. La evaluación de la rigidez suministrada por la riostra incluirá sus propiedades seccionales y geométricas como así también los efectos de las uniones y detalles de anclaje.

Se consideran ***dos tipos generales de sistemas de arriostamiento: relativo y nodal*** para columnas y para vigas con arriostamiento lateral. Para vigas con arriostamiento torsional se especifican los sistemas de arriostamiento ***nodal*** y ***continuo***. El arriostamiento ***relativo*** controla el movimiento del punto arriostrado respecto de los puntos arriostrados adyacentes.

El arriostamiento ***nodal*** controla el movimiento del punto arriostrado sin la directa interacción con los puntos arriostrados adyacentes. Un sistema de ***arriostamiento continuo*** consiste en arriostramientos que están unidos al miembro en toda su longitud. Sin

embargo sistemas de arriostramiento nodal con un espaciamiento regular pueden ser modelados como un arriostramiento continuo.

La resistencia de diseño y la rigidez suministradas por el sistema de arriostramiento (riostas y uniones) será mayor o igual que la resistencia y rigidez requeridas respectivamente, a menos que el análisis indique que se justifiquen menores valores.

Los requerimientos de esta Sección pueden ser reemplazados por un análisis de segundo orden que incluya un desplazamiento inicial fuera del plano de la estructura o una deformación inicial fuera de la posición recta de los miembros para obtener la resistencia y rigidez necesaria del arriostramiento.

6.2. ARRIOSTRAMIENTO DE COLUMNAS

Una columna individual podrá ser arriostrada en puntos intermedios a lo largo de su longitud por sistemas de arriostramiento relativo o nodal. Se supone que las riostras nodales están igualmente espaciadas a lo largo de la columna.

6.2.1. Sistema de arriostramiento relativo

La resistencia requerida de la riostra (kN) será:

$$P_{br} = 0,004 P_u \quad (6.1)$$

La rigidez requerida de la riostra (kN/cm) será:

$$\beta_{br} = \frac{2 P_u}{\phi L_b} \quad (6.2)$$

siendo:

$$\phi = 0,75$$

P_u la resistencia axial requerida a compresión de la columna, en kN.

L_b la distancia entre riostras, en cm.

6.2.2. Sistema de arriostramiento nodal

La resistencia requerida de la riostra (kN) será:

$$P_{br} = 0,01 P_u \quad (6.3)$$

La rigidez requerida de la riostra (kN/cm) será:

$$\beta_{br} = \frac{8 P_u}{\phi L_b} \quad (6.4)$$

siendo:

$$\phi = 0,75$$

Cuando la distancia real entre puntos arriostrados sea menor que L_q , siendo L_q la máxima longitud efectiva kL para la carga axial requerida de la columna P_u , entonces se permite, en las expresiones (6.2) y (6.4), tomar L_b igual a L_q .

6.3. ARRIOSTRAMIENTO DE VIGAS

Los arriostramientos de vigas deben evitar el desplazamiento relativo entre las alas superior e inferior, o sea, el giro de la sección. La estabilidad lateral de vigas deberá ser provista por arriostramientos laterales, arriostramientos para torsión o combinación de ambos. En miembros sometidos a flexión con doble curvatura el punto de inflexión no será considerado un punto arriostrado, a menos que se haya ubicado una riostra en esa posición.

6.3.1. Arriostramiento lateral

El arriostramiento lateral deberá ser unido cerca del ala comprimida, excepto en los siguientes casos:

- (1) Para el extremo libre de una viga en voladizo, donde la riostra extrema deberá ser unida cerca del ala superior (en tracción).
- (2) Para vigas sometidas a flexión con doble curvatura a lo largo de la longitud arriostrada, el arriostramiento lateral deberá ser unido a ambas alas en el punto arriostrado cercano al punto de inflexión.

6.3.1(a). Sistema de arriostramiento relativo

La resistencia requerida de la riostra (kN) será:

$$P_{br} = 0,008 M_u C_d (10)^2 / h_o \quad (6.5)$$

La rigidez requerida de la riostra (kN/cm) será:

$$\beta_{br} = \frac{4 M_u C_d (10)^2}{\phi L_b h_o} \quad (6.6)$$

siendo:

$$\phi = 0,75$$

M_u la resistencia requerida a flexión de la viga, en kNm.

h_o la distancia entre centros de gravedad de las alas, en cm.

$C_d = 1,0$ para flexión con simple curvatura; $C_d = 2,0$ para doble curvatura; $C_d = 2$ sólo es aplicable para riostras cercanas al punto de inflexión.

L_b la distancia entre riostras, en cm.

6.3.1(b). Sistema de arriostramiento nodal

La resistencia requerida de la riostra (kN) será:

$$P_{br} = 0,02 M_u C_d (10)^2 / h_o \quad (6.7)$$

La rigidez requerida de la riostra (kN/cm) será:

$$\beta_{br} = \frac{10 M_u C_d (10)^2}{\phi L_b h_o} \quad (6.8)$$

siendo:

$$\phi = 0,75$$

Cuando la distancia real entre puntos arriostrados sea menor que L_q , siendo L_q la máxima distancia no arriostrada para desarrollar M_u , entonces se podrá utilizar en las expresiones (6.6) y (6.8) el valor L_b igual a L_q .

6.3.2. Arriostramientos para torsión

El **arriostramiento torsional puede ser nodal** o **continuo** a lo largo de la longitud de la viga.

El arriostramiento puede ser unido en cualquier ubicación de la sección transversal y no necesita ser unido cerca del ala comprimida. La unión entre el arriostramiento torsional y la viga deberá ser apta para soportar el momento requerido dado más adelante en esta Sección.

El arriostramiento para torsión puede ser proporcionado por una viga, un pórtico transversal o un diafragma unidos al miembro por una unión que transmita momento.

6.3.2(a). Sistema de arriostramiento nodal

La resistencia requerida a momento del arriostramiento (kNm) será:

$$M_{br} = \frac{0,024 M_u L}{n C_b L_b} \quad (6.9)$$

La rigidez requerida (kNm/radián) del pórtico transversal o diafragma de arriostramiento será:

$$\beta_{Tb} = \frac{\beta_T}{\left(1 - \frac{\beta_T}{\beta_{sec}}\right)} \quad (6.10)$$

donde:

$$\beta_T = \frac{24 LM_u^2}{\phi n E I_y C_b^2} (10)^2 \quad (6.11)$$

$$\beta_{sec} = \frac{0,33E}{h_o} \left(\frac{1,5 h_o t_w^3}{12} + \frac{t_s b_s^3}{12} \right) (10)^{-2} \quad (6.12)$$

siendo:

$$\phi = 0,75$$

L la longitud de la viga arriostrada, en cm.

n el número de puntos arriostrados nodalmente dentro de la longitud de la viga.

E el módulo de elasticidad longitudinal del acero = 200 000 MPa.

I_y el momento de inercia de la sección transversal de la viga con respecto al eje de pandeo fuera del plano, en cm^4 .

C_b el factor de modificación definido en el Capítulo **F**.

t_w espesor del alma de la viga, en cm.

t_s el espesor del rigidizador de alma, en cm.

b_s el ancho del rigidizador para rigidizadores de un solo lado. (usar el doble del ancho del rigidizador individual para pares de rigidizadores), en cm.

β_T la rigidez del arriostramiento excluida la distorsión del alma, en kNm/radián.

β_{sec} la rigidez distorsional del alma, incluido el efecto de rigidizadores transversales del alma, cualquiera sean ellos, en kNm/radián.

Si $\beta_{sec} < \beta_T$, la expresión (6.10) da valores negativos, lo cual indica que el sistema de arriostramiento torsional de la viga puede no ser efectivo debido a una inadecuada rigidez distorsional del alma.

Cuando sea necesario, el rigidizador del alma se extenderá en toda su altura y se deberá unir al ala si el arriostramiento torsional también está unido al ala. Alternativamente se permitirá que el extremo del rigidizador termine a una distancia de $4 t_w$ desde cada ala de la viga que no esté directamente unida al arriostramiento torsional.

Cuando la distancia real entre puntos no arriostrados sea menor que L_q , siendo L_q la máxima distancia no arriostrada para desarrollar M_u , se podrá utilizar en la expresión (6.9) L_b igual a L_q .

6.3.2(b). Sistema de arriostramiento torsional continuo

Para arriostramientos continuos se usarán las expresiones (6.9), y (6.10) con las siguientes modificaciones:

- (1) $(L / n) = 1$;
- (2) L_b será tomada igual a la máxima longitud no arriostrada permitida para la viga basada en la resistencia requerida a flexión M_u .
- (3) La **rigidez distorsional para un alma no rigidizada** (kNm/m radián) será:

$$\beta_{sec} = \frac{0,33 E t_w^3}{12 h_o} \quad (6.13)$$

6.4. ARRIOSTRAMIENTO DE VIGA-COLUMNA

Para el arriostramiento de una viga-columna, la resistencia y rigidez requeridas para fuerza axil se determinarán con las especificaciones de la Sección 6.2., y la resistencia y rigidez requeridas para flexión serán determinadas con las especificaciones de la Sección 6.3..

El valor determinado será una combinación de lo siguiente:

- (a) Cuando se utilice un arriostramiento lateral relativo, la resistencia requerida será tomada como la suma de los valores determinados con las expresiones (6.1) y (6.5), y la rigidez requerida se tomará como la suma de los valores determinados con las expresiones (6.2) y (6.6).
- (b) Cuando se utilice un arriostramiento lateral nodal, la resistencia requerida será tomada como la suma de los valores determinados con las expresiones (6.3) y (6.7), y la rigidez requerida se tomará como la suma de los valores determinados con las expresiones (6.4) y (6.8). En las expresiones (6.4) y (6.8), L_b para la viga-columna será tomado como la longitud no arriostrada real y no se considerará lo especificado en las Secciones 6.2.2. y 6.3.1(b) que señalan que L_b no necesita considerarse menor que la máxima longitud efectiva permitida basada en P_u y M_u .
- (c) Cuando un arriostramiento torsional sea proporcionado para flexión, combinado con un arriostramiento relativo o nodal para fuerza axil, la resistencia y rigidez requeridas serán

combinadas o distribuidas de manera que sean consistentes con la resistencia provista por el detalle (o detalles) reales del arriostramiento.

6.5. ARRIOSTRAMIENTO DE PÓRTICOS

En **pórticos arriostrados** cuya estabilidad lateral sea provista por sistemas reticulados, tabiques de hormigón armado o mampostería, u otros medios equivalentes, la fuerza de corte requerida (kN) por piso o panel arriostrado será :

$$P_{br} = 0,004 \Sigma P_u \quad (6.14)$$

La rigidez lateral requerida (kN/cm) por piso o panel será:

$$\beta_{br} = \frac{2 \Sigma P_u}{\phi L} \quad (6.15)$$

siendo:

$$\phi = 0,75$$

ΣP_u la sumatoria de las resistencias axiales requeridas de las columnas del piso o panel soportado por el arriostramiento, debidas a acciones mayoradas, en kN.

L la altura del piso o espaciamiento de paneles, en cm.

Estos requerimientos para la estabilidad del piso serán combinados con las fuerzas laterales y los requerimientos de desplazamiento lateral debidos a otras causas, tales como acciones de viento o sísmicas.

APÉNDICE 7. MÉTODOS ALTERNATIVOS PARA EL PROYECTO POR CONSIDERACIONES DE ESTABILIDAD Y RESISTENCIA

En este Apéndice se presentan métodos alternativos al método de análisis directo para el proyecto por consideraciones de estabilidad y resistencia definido en el Capítulo C de este Reglamento.

Los métodos alternativos incluidos en este Apéndice son: **Método de la longitud efectiva** y **Método de análisis de primer orden**.

Su contenido está organizado de la siguiente manera:

- 7.1. Especificaciones generales para la estabilidad de la estructura
- 7.2. Método de la longitud efectiva (**MLE**)
- 7.3. Método de análisis de primer orden (**MAPO**)

7.1. ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA ESTABILIDAD DE LA ESTRUCTURA

Se deberá asegurar la estabilidad global y la resistencia de la estructura como la de todos y cada uno de sus elementos componentes. La estructura además deberá tener suficiente rigidez lateral que limite los desplazamientos laterales. La estabilidad y rigidez pueden ser provistas por:

- (a) La rigidez lateral propia del plano, la que puede ser provista por alguna de las siguientes posibilidades:
 - Triangulaciones, diagonalizaciones, arriostramientos en K, X, Y, u otros sistemas de arriostramiento para pórticos arriostrados en el plano.
 - Rigidez de las uniones entre las barras.
 - Columnas en voladizo empotradas en la base.
- (b) La rigidez lateral de planos paralelos al considerado, vinculados al mismo por un sistema horizontal de arriostramiento. Dichos planos pueden ser:
 - Pórticos arriostrados en su plano.
 - Pórticos de nudos rígidos.
 - Tabiques de hormigón armado o mampostería, núcleos, o similares.

Los efectos de las acciones sobre la estructura y sus elementos componentes se determinarán por análisis estructural. Con los efectos así determinados, se realizarán las verificaciones de estados límite últimos y de servicio.

Todos los efectos dependientes de las cargas deberán ser determinados con las combinaciones de acciones mayoradas definidas en la Sección B.2..

Como alternativa al método de análisis directo especificado en las Secciones **C.1.1.**, **C.2.** y **C.3.**, se permite el proyecto de estructuras por estabilidad y resistencia ya sea con el **método de la longitud efectiva** especificado en la Sección **7.2.** o con el **método de análisis de primer orden** especificado en la Sección **7.3.**, con las limitaciones especificadas en cada caso en dichas Secciones.

7.2. MÉTODO DE LA LONGITUD EFECTIVA (MLE)

7.2.1. Limitaciones

El uso del método de la longitud efectiva estará limitado a los casos que satisfagan las siguientes condiciones:

- (1) La estructura soporta las cargas gravitacionales primariamente a través de columnas, tabiques o pórticos todos nominalmente verticales.
- (2) La relación, **en todos los pisos**, entre los máximos **desplazamientos de segundo orden y de primer orden** determinados por las combinaciones de acciones mayoradas, sea **menor o igual a 1,5**.

La relación, en un piso, entre los desplazamientos de segundo orden y de primer orden puede tomarse **igual** al factor de amplificación de momentos de primer orden **B_2** determinado con las especificaciones del **Apéndice 8**.

7.2.2. Determinación de las resistencias requeridas

(a) General

Para el proyecto de la estructura por el método de la longitud efectiva, las resistencias requeridas (solicitaciones de sección y reacciones de vínculo) de los elementos componentes serán determinadas por análisis estructural según lo especificado en esta Sección.

Las resistencias requeridas de los elementos estructurales y sus uniones no serán inferiores a las determinadas por análisis de primer orden de la estructura sometida a las acciones mayoradas, y sin considerar las imperfecciones iniciales.

- (1) En estructuras isostáticas las resistencias requeridas de los elementos componentes se deberán obtener usando las leyes y expresiones de la estática.

En estructuras hiperestáticas las resistencias requeridas de los elementos componentes se deberán obtener por **análisis global elástico**. El mismo se basará en la hipótesis de que el diagrama tensión-deformación del acero es lineal, sea cual fuere el nivel de tensión. Esta hipótesis podrá ser mantenida, tanto para análisis elástico de primer orden como de segundo orden, aún cuando la resistencia de la sección transversal esté basada en la resistencia plástica.

- (2) El análisis deberá considerar las deformaciones por flexión, corte y fuerza axial de los miembros componentes y cualquier deformación de otro componente o unión que pueda contribuir a los desplazamientos de la estructura. **se utilizará para el análisis la rigidez nominal de los componentes de acero estructural que contribuyan a la estabilidad de la estructura (EI y EA).**
- (3) El **análisis global deberá ser de segundo orden considerando los efectos $P-\Delta$ y $P-\delta$.**

Si se utilizan programas computacionales se deberá verificar que los mismos sean capaces de realizar un análisis riguroso de segundo orden o sea consideren los efectos $P-\Delta$ y $P-\delta$ en la respuesta de la estructura.

Se permite no considerar el efecto $P-\delta$ en la respuesta de la estructura cuando se satisfacen las siguientes condiciones:

- (a) La estructura soporta cargas gravitatorias principalmente a través de columnas nominalmente verticales, tabiques o pórticos arriostrados o no arriostrados nominalmente verticales
- (b) No más de un tercio de la carga gravitatoria de la estructura es soportada por columnas que son parte de pórticos rígidos (pórticos no arriostrados o a nudos desplazables) en la dirección de traslación considerada.

Es necesario considerar los efectos $P-\delta$ en la evaluación de todos los elementos individuales sometidos a compresión y a flexión por cargas transversales entre sus apoyos, cuando los mismos incrementen las resistencias requeridas.

Para considerar el efecto $P-\delta$ en la evaluación de miembros individuales puede aplicarse el factor B_1 definido en el **Apéndice 8** de este Reglamento.

Como una alternativa a un análisis de segundo orden más riguroso, se permite el uso del método aproximado de amplificación de momentos de primer orden definido en el **Apéndice 8**.

- (4) El análisis de segundo orden deberá ser realizado con las **combinaciones de acciones mayoradas**. Se deben considerar **todas las cargas** tanto gravitacionales como otras cargas aplicadas que puedan influir en la estabilidad de la estructura. En las cargas se deben **incluir** las que actúan sobre las **columnas u otros elementos que no aportan rigidez lateral** al sistema estructural.
- (5) El análisis deberá incluir la **consideración de las imperfecciones iniciales** de acuerdo con las especificaciones de la Sección **C.2.2(b)**, o sea con la **inclusión de cargas ficticias aplicadas** en el modelo de la estructura con la geometría nominal inicial.

Se permite aplicar la carga ficticia N_i sólo en aquellas combinaciones de acciones mayoradas que incluyan solamente cargas gravitatorias, no siendo necesario hacerlo en aquellas combinaciones de acciones que incluyan cargas laterales.

(b) Estructuras trianguladas

Para el análisis estructural de estructuras trianguladas, tales como vigas reticuladas o planos de contraviento o rigidización triangulados, se deberán satisfacer las especificaciones aplicables de la Sección **7.2.2(a)**. Se deberá considerar si aquellas son interiormente isostáticas o hiperestáticas según la rigidez de los nudos y la esbeltez relativa de las barras que la componen. La hipótesis de barras articuladas en sus extremos, comúnmente utilizada para el análisis estructural de estas estructuras, debe ser consistente con la capacidad de giro de las secciones extremas de las barras de la estructura proyectada.

7.2.3. Determinación de las resistencias de diseño

Las resistencias de diseño de los miembros de la estructura y sus uniones serán determinadas con las especificaciones de los Capítulos D, E, F, G, H, y J según corresponda.

El **factor de longitud efectiva k** de miembros sometidos a compresión será determinado de la siguiente forma:

- (1) En sistemas de **pórticos arriostrados** (nudos no desplazables), **sistemas de tabiques de corte**, sistemas de **reticulados** y otros sistemas estructurales cuya estabilidad lateral y resistencia a las cargas laterales **no recaen en la rigidez a flexión de las columnas y en la unión rígida de vigas y columnas**, el factor de longitud efectiva k para barras comprimidas se deberá tomar $k = 1,0$, a menos que un análisis estructural demuestre que se puede adoptar un valor menor.

En pórticos arriostrados de varios pisos, el sistema vertical de arriostramiento deberá ser resuelto por análisis estructural.

Dicho sistema vertical deberá asegurar que la estructura no pandee y que mantenga su estabilidad lateral incluso frente a los efectos de vuelco producidos por los desplazamientos laterales, cuando en aquella actúan las acciones mayoradas dadas en la Sección **B.2.**.

El sistema vertical de arriostramiento para pórticos arriostrados de varios pisos, puede ser considerado como actuando en conjunto con tabiques exteriores o interiores, losas de piso y cubiertas de techo siempre que las mismas estén adecuadamente unidas a los pórticos.

Para el análisis del pandeo y la estabilidad lateral de los pórticos arriostrados, las columnas, vigas, vigas armadas y barras diagonales que formen parte de un plano del sistema vertical de arriostramiento pueden ser consideradas como integrantes de una viga reticulada en voladizo con nudos articulados. La deformación axil de todas las barras del sistema vertical de arriostramiento deberá ser incluida en el análisis de la estabilidad lateral.

- (2) En sistemas de **pórticos no arriostrados** (a nudos desplazables) u otros sistemas estructurales cuya estabilidad lateral depende **de la rigidez a flexión de las columnas y de la rigidez a flexión de la unión rígida de vigas y columnas**, el factor de longitud

efectiva k o la tensión crítica elástica F_e para barras comprimidas que aportan rigidez lateral y resistencia a cargas laterales, **será determinado por análisis de pandeo lateral de la estructura.**

Los **efectos desestabilizantes** de **columnas** sometidas a cargas gravitatorias que por estar **biarticuladas** al pórtico **no aportan rigidez lateral**, deberán ser **incluidos** en el dimensionamiento de las columnas del pórtico que aportan rigidez lateral al mismo. Para **las columnas que no aportan rigidez lateral** se tomará **$k = 1,0$.**

Se podrá realizar la corrección por inelasticidad de la rigidez de las columnas del pórtico.

En el análisis de la resistencia requerida en pórticos no arriostrados de varios pisos se deberán incluir los efectos de la inestabilidad del pórtico y de la deformación axil de sus columnas, cuando actúen las acciones mayoradas dadas en la Sección **B.2.**

- **Excepción: Si en todos los pisos la relación entre los desplazamientos máximos de segundo orden y de primer orden determinados con las combinaciones de acciones mayoradas es igual o menor a 1,1, se permite usar $k = 1,0$ para el proyecto de todas las columnas.**
- Métodos para determinar el factor de longitud efectiva k en elementos de pórticos arriostrados y no arriostrados se incluyen en los Comentarios al **Apéndice 7.**
- Los elementos del sistema horizontal de arriostamiento, cuya finalidad sea definir las longitudes no arriostradas de los miembros, deberán tener suficiente rigidez y resistencia para controlar los movimientos de aquellos en los puntos arriostrados. Serán proyectados para resistir los efectos producidos por las cargas mayoradas que actúen sobre los pórticos arriostrados y los efectos resultantes de la estabilización de los pórticos que arriostran.

Métodos para satisfacer los requisitos de los arriostamientos son dados en el **Apéndice 6.**

Las especificaciones del **Apéndice 6 no son aplicables** a los **arriostamientos que estén incluidos** como parte del sistema estructural resistente en el análisis global de la estructura.

(3) En estructuras trianguladas:

- (a)** En **estructuras trianguladas interiormente hiperestáticas** (barras no articuladas) el factor de longitud efectiva k , **para el pandeo en el plano del reticulado**, será determinado según lo establecido en **(1)** para pórticos arriostrados (de nudos indesplazables) o en **(2)** para pórticos no arriostrados (de nudos desplazables) según corresponda.

El factor de longitud efectiva k , **para el pandeo fuera del plano** del reticulado, se determinará según lo especificado en **(3)(b)** para estructuras trianguladas interiormente isostáticas.

(b) En **estructuras trianguladas interiormente isostáticas** (barras articuladas en sus extremos) el factor de longitud efectiva **k para el pandeo fuera del plano** del reticulado, se determinará de la siguiente manera:

- **cordones y diagonales extremas de vigas trapeciales:**

$$k = L_1 / L$$

siendo:

L_1 la distancia entre puntos no desplazables lateralmente por efecto del sistema de arriostramiento lateral, en cm.

L la longitud real de la barra. (distancia entre nudos), en cm.

Se deberá prestar especial atención cuando por los efectos de alguna combinación de carga, resulten comprimidos los cordones inferiores de vigas reticuladas.

En cordones continuos con distinta carga axil en sus tramos, si los nudos extremos son indesplazables lateralmente en ambas direcciones (ver Figura 7.2.1.):

$$k = 0,75 + 0,25 \frac{P_2}{P_1} \quad \text{con } P_1 > P_2 \text{ (en valor absoluto)}$$

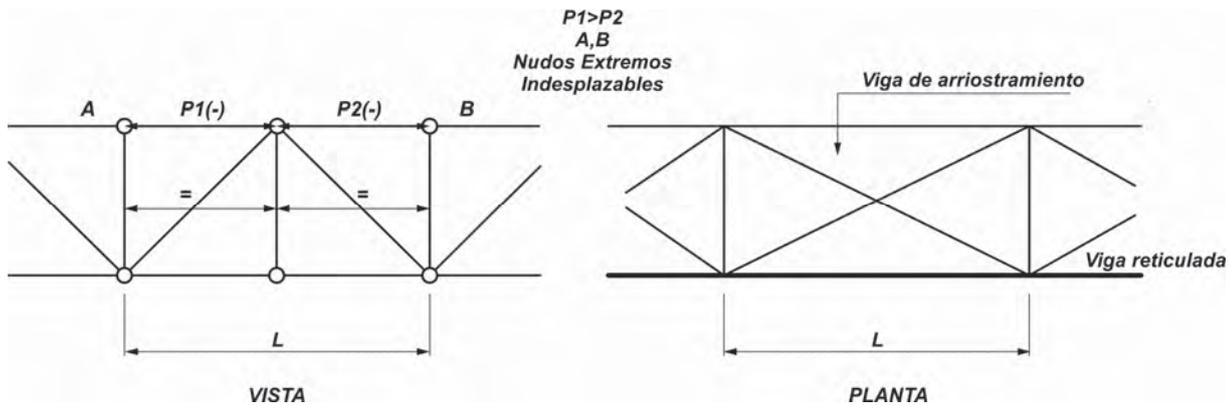


Figura 7.2.1. Cordones con distinta carga axil.

- **diagonales y montantes:**

- Si los nudos extremos no se pueden desplazar lateralmente: **k = 1**
- En montantes continuos con distinta carga axil en sus tramos, si los nudos extremos son indesplazables en ambas direcciones (ver Figura 7.2.2.):

$$k = 0,75 + 0,25 \frac{P_2}{P_1} \quad \text{con } P_1 > P_2 \text{ (en valor absoluto)}$$

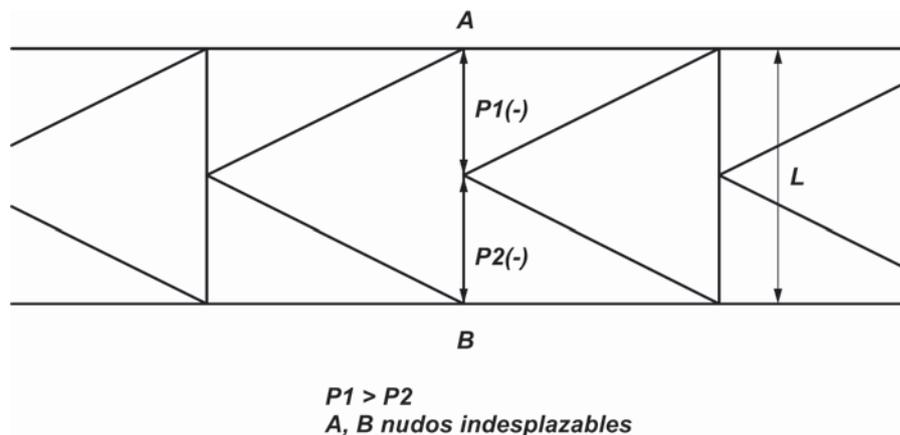


Figura 7.2.2. Montantes con distinta carga axial.

- En diagonales comprimidas, con nudos extremos indesplazables y unidas en su centro a una diagonal traccionada (ver Figura 7.2.3).

$$k = \sqrt{1 - 0,75 \cdot P_t / P_c} \geq 0,5$$

-

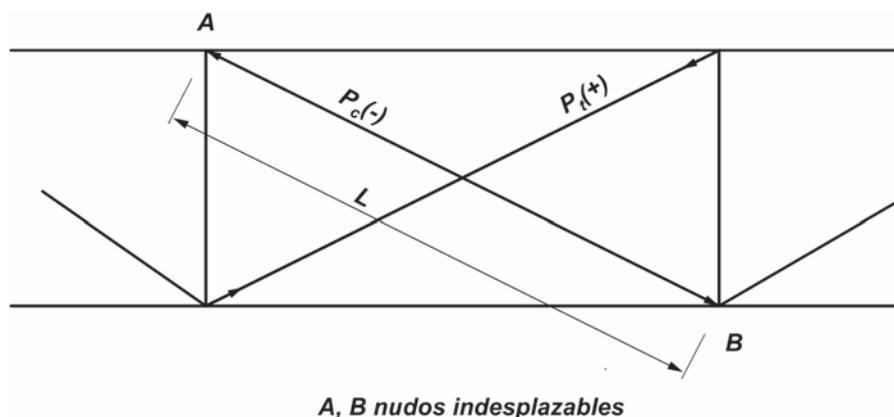
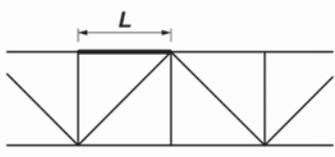
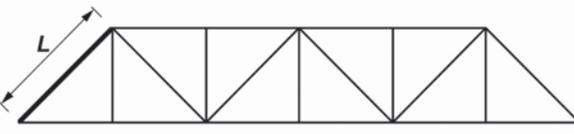
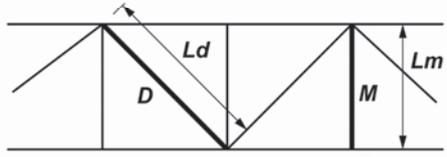
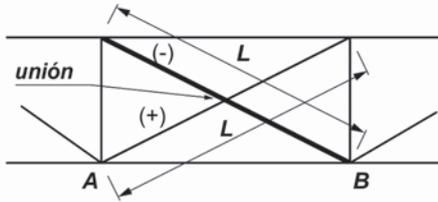


Figura 7.2.3. Diagonal comprimida unida a diagonal traccionada.

- En **cordones, diagonales y montantes con un nudo extremo apoyado elásticamente** en sentido perpendicular al plano del reticulado, o que forman parte de un semipórtico transversal al plano del reticulado y cuya estabilidad depende de su rigidez a flexión, k se determinará por análisis estructural.
- (c) En estructuras trianguladas interiormente isostáticas (barras articuladas en sus extremos), el factor de longitud efectiva k para **el pandeo en el plano** del reticulado, se determinará según lo indicado en la Figura 7.2.4..

CASO	ELEMENTO CONSIDERADO	k
1		Cordón 1,00
2		Diagonal extrema en vigas trapeciales 1,00
3		Montante o diagonal en general excepto de solo angular 0,90 (1) (2) Barra de un solo angular 1,00 (3)
4		Diagonal comprimida unida en su centro a una diagonal traccionada 0,50

Observaciones:

- (1) Para uniones abulonadas se deben colocar como mínimo dos bulones. Si la unión tiene sólo un bulón se tomará $k = 1,00$.
- (2) En casos particulares, y en función de la restricción de las uniones (por ejemplo ciertos casos de barras de tubos de sección circular o rectangular con uniones rígidas), se podrá tomar un valor menor para k , pero nunca menor que $0,75$, y siempre que se justifique por análisis estructural el valor adoptado.
- (3) Para barras de angular único unido a la chapa de nudo por una cara con dos bulones como mínimo, ó dos cordones de soldadura longitudinales, **ver la Sección E.5.** para desprestigiar el efecto de la excentricidad y considerar sólo la fuerza axil
Si la unión se realiza con un solo bulón se deberá considerar el momento debido a la excentricidad junto con la fuerza axil para el dimensionado de la barra, y se deberá adoptar $k = 1,00$.

Figura 7.2.4. Factor de longitud efectiva k para pandeo en el plano del reticulado.

7.3. MÉTODO DE ANÁLISIS DE PRIMER ORDEN

7.3.1. Limitaciones

El uso del método de análisis de primer orden estará limitado a los casos que satisfagan las siguientes condiciones:

- (1) La estructura soportará las cargas gravitacionales primariamente a través de columnas, tabiques o pórticos todos nominalmente verticales
- (2) La relación, **en todos los pisos**, entre los máximos **desplazamientos de segundo orden y del primer orden** determinados por las combinaciones de acciones mayoradas, será **menor o igual que 1,5**.

La relación, en un piso, entre los desplazamientos de segundo orden y de primer orden podrá adoptarse **igual** al factor de amplificación de momentos de primer orden **B_2** determinado con las especificaciones del **Apéndice 8.**

- (3) La resistencia requerida a compresión axil de todos los miembros, cuyas rigideces a flexión contribuyan a la estabilidad lateral de la estructura, deberá satisfacer la siguiente limitación:

$$P_u \leq 0,5 P_y \quad (7.1)$$

siendo:

P_u la resistencia requerida a compresión axil, en kN.

P_y la resistencia axil nominal de fluencia, en kN.

7.3.2. Determinación de las resistencias requeridas

Las resistencias requeridas de todos los miembros componentes serán determinadas por un **análisis de primer orden** con los requerimientos adicionales (1) y (2) especificados a continuación. El análisis deberá considerar las deformaciones de flexión, de corte y axil de los miembros y todas las deformaciones que contribuyan al desplazamiento de la estructura.

Se utilizará para el análisis la rigidez nominal de los componentes de acero estructural que contribuyan a la estabilidad de la estructura (EI y EA).

- (1) **Todas las combinaciones de carga** deberán incluir una carga lateral adicional N_i aplicada **en cada nivel** de la estructura en combinación con las otras cargas:

$$N_i = 2,1(\Delta/L)Y_i \geq 0,0042 Y_i \quad (7.2)$$

siendo:

Y_i la carga gravitatoria aplicada en el i-ésimo nivel para las combinaciones de cargas mayoradas, en kN.

- Δ/L la máxima relación entre Δ y L entre todos los pisos de la estructura.
- Δ el desplazamiento relativo de piso de primer orden debido a las combinaciones de carga mayoradas. Cuando existan desplazamientos relativos distintos en el área en planta de la estructura se podrá adoptar el promedio ponderado de ellos en proporción a la carga gravitatoria o alternativamente el máximo desplazamiento relativo, en cm.
- L la altura de piso correspondiente al Δ analizado, en cm.

Las cargas ficticias en cada nivel deberán ser distribuidas entre los elementos estructurales de cada nivel, de manera proporcional a la distribución de las cargas gravitatorias aplicadas en el nivel. Las cargas ficticias deberán ser aplicadas en la dirección y en el sentido que produzca el mayor efecto desestabilizante. En la mayoría de las estructuras de edificios ello implica:

- (a) para combinaciones de acciones que no incluyen cargas laterales, aplicar las cargas ficticias en dos direcciones no coincidentes y en ambos sentidos. La dirección y el sentido deben ser los mismos en todos los niveles.
- (b) para combinaciones de acciones que incluyan cargas laterales considerar las cargas ficticias en la dirección y el sentido de la resultante de todas las cargas laterales actuantes en la combinación de acciones considerada.

(2) La amplificación de los momentos requeridos de primer orden de las vigas columnas en la hipótesis de pórtico no desplazable será considerada aplicando el factor B_1 especificado en el **Apéndice 8** a los momentos flectores de todas las columnas del piso.

Las resistencias requeridas de los elementos estructurales y sus uniones no serán inferiores a las determinadas por análisis de primer orden de la estructura sometida a las acciones mayoradas, y sin considerar las cargas laterales adicionales.

7.3.3. Determinación de las resistencias de diseño

Las resistencias de diseño de los miembros de la estructura y sus uniones serán determinadas con las especificaciones de los **Capítulos D, E, F, G, H, y J** según corresponda.

El **factor de longitud efectiva k** de miembros sometidos a compresión será tomado $k = 1$.

Los elementos del sistema horizontal de arriostramiento cuya finalidad es definir las longitudes no arriostradas de los miembros, deberán tener suficiente rigidez y resistencia para controlar los movimientos de aquellos en los puntos arriostrados. Serán proyectados para resistir los efectos producidos por las cargas mayoradas que actúen sobre los pórticos arriostrados y los efectos resultantes de la estabilización de los pórticos que arriostran.

En el **Apéndice 6** se especifican los métodos para satisfacer los requisitos de los arriostramientos. Las especificaciones del **Apéndice 6 no son aplicables a los arriostramientos que estén incluidos como parte del sistema estructural resistente en el análisis global de la estructura.**

APÉNDICE 8. ANÁLISIS APROXIMADO DE SEGUNDO ORDEN

Este Apéndice presenta como alternativa a un análisis de segundo orden riguroso, un procedimiento para considerar los efectos de segundo orden en las estructuras, mediante la amplificación de las resistencias requeridas resultantes de un análisis de primer orden.

Su contenido se organiza de la siguiente manera:

8.1. Limitaciones

8.2. Procedimientos de cálculo

8.1. LIMITACIONES

El uso de este método está limitado a estructuras que soportan las cargas gravitacionales primariamente a través de columnas, tabiques o pórticos todos nominalmente verticales con la excepción que se permite el uso del procedimiento especificado para determinar los efectos $P-\delta$ para cualquier miembro individual comprimido.

Se *limita la aplicación* del método a las estructuras donde el factor amplificador B_2 de cualquiera de sus pisos y en cualquier dirección de traslación sea *menor o igual que 1,5*.

8.2. PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO

La resistencias requeridas de segundo orden a flexión, M_u , y a compresión axial, P_u , de todos los miembros deberá ser determinada mediante las siguientes expresiones:

$$M_u = B_1 M_{nt} + B_2 M_{lt} \quad (8.1)$$

$$P_u = P_{nt} + B_2 P_{lt} \quad (8.2)$$

siendo:

B_1 el factor amplificador que considera los efectos $P-\delta$, determinados para cada miembro solicitado a compresión y a flexión y para cada dirección de flexión, y calculado según la Sección 8.2.1. de este Apéndice. Para miembros no solicitados a compresión se debe adoptar $B_1 = 1,0$.

B_2 el factor amplificador que considera los efectos $P-\Delta$, determinado para cada piso de la estructura y para cada dirección de traslación lateral, y calculado según la Sección 8.2.2. de este Apéndice.

M_u la resistencia requerida a flexión de segundo orden, en kNm.

- M_{nt} la resistencia requerida a flexión del miembro, obtenida por análisis de primer orden y suponiendo que no haya desplazamiento lateral de la estructura, en kNm.
- M_{lt} la resistencia requerida a flexión del miembro, obtenida por análisis de primer orden como resultado del desplazamiento lateral de la estructura, en kNm.
- P_u la resistencia requerida a compresión de segundo orden, en kN.
- P_{nt} la resistencia requerida a compresión axial del miembro, obtenida por análisis de primer orden cuando en la estructura no hay desplazamiento lateral, en kN.
- P_{lt} la resistencia requerida a compresión axial del miembro, obtenida por análisis de primer orden, originada solamente por el desplazamiento lateral de la estructura, en kN.

Las expresiones (8.1) y (8.2) se deben aplicar a todos los miembros de todas las estructuras.

El factor B_1 distinto de la unidad, se debe aplicar **solamente a los momentos flectores de las vigas-columnas**. El factor B_2 se debe aplicar a los **momentos flectores y fuerzas axiales de todos los componentes de sistemas resistentes a fuerzas laterales** (columnas, vigas, riostras, y tabiques).

Las diferencias entre los momentos amplificados por los factores B_1 y B_2 y los momentos de primer orden en los extremos de las columnas, deberán ser distribuidas entre las vigas que concurren al nudo en función de su rigidez a flexión relativa, de manera de respetar el equilibrio del nudo. Si dicha distribución resultara compleja **no se podrá utilizar el método aproximado de amplificación de momentos de primer orden**, debiendo considerarse el efecto de las deformaciones por medio de un análisis elástico de segundo orden.

Las **uniones** se deberán proyectar para **resistir los momentos amplificados**.

En vigas reticuladas resueltas por análisis elástico, los momentos flectores requeridos, (M_u), en las barras comprimidas sometidas a flexión y en las uniones de las barras si correspondiere, podrán ser obtenidos por el método aproximado de amplificación de momentos de primer orden con $B_2 = 0$.

8.2.1. Factor amplificador B_1 por efectos $P - \delta$

El factor amplificador B_1 para **cada miembro** solicitado a **compresión y para cada dirección de flexión** se determinará mediante la siguiente expresión:

$$B_1 = \frac{C_m}{\left[1 - \frac{P_u}{P_{e1}} \right]} \geq 1 \quad (8.3)$$

siendo:

C_m el coeficiente basado en un análisis elástico de primer orden suponiendo que el pórtico como conjunto no se traslada lateralmente. Se determinará de la siguiente manera:

(a) Para miembros comprimidos, que en el plano de flexión no estén sometidos a cargas transversales entre sus apoyos:

$$C_m = 0,6 - 0,4 (M_1 / M_2) \quad (8.4)$$

donde (M_1 / M_2) es la relación entre los valores absolutos de los momentos flectores de primer orden menor y mayor respectivamente, en los extremos de la porción no arriostrada del miembro, y en el plano de flexión considerado. (M_1 / M_2) es positivo cuando el miembro está deformado con doble curvatura, y negativo cuando está deformado con simple curvatura.

(b) Para miembros comprimidos, que en el plano de flexión estén sometidos a cargas transversales entre sus apoyos, el valor de C_m **será determinado por análisis estructural** o se adoptará conservadoramente en todos los casos $C_m = 1,0$.

P_u la resistencia requerida a compresión axial del miembro analizado, en kN.

P_{e1} la resistencia nominal a pandeo elástico del miembro en el plano de flexión considerado, suponiendo que no hay desplazamiento lateral de los nudos (pórtico arriostrado), en kN.

$$P_{e1} = \frac{\pi^2 EI^*}{(k_1 L)^2} (10)^{-1} \quad (8.5)$$

siendo:

EI^* la rigidez a flexión del miembro utilizada en el análisis. ($=0,8\tau_b EI$ cuando se utilice el método de análisis directo; $= EI$ cuando se utilicen los métodos de longitud efectiva o de análisis de primer orden), en MPa cm⁴.

E el módulo de elasticidad longitudinal del acero = **200 000 MPa**.

I el momento de inercia del miembro en el plano de flexión, en cm⁴.

L la longitud no arriostrada del miembro, en cm.

k_1 el factor de longitud efectiva en el plano de flexión, determinado con la hipótesis de que no hay desplazamiento lateral de los extremos del miembro (nudos indesplazables). Se deberá

adoptar $k_1 = 1,0$, a menos que un análisis justifique un valor menor.

- Se permite adoptar para P_u en la expresión (8.3) el valor de primer orden $P_u = P_{nt} + P_{lt}$

8.2.2. Factor amplificador B_2 por efectos $P - \Delta$

El factor amplificador B_2 para cada piso y en cada dirección de traslación se determinará de la siguiente forma:

(a) Para pisos en que todos los **elementos estructurales** tengan la **misma altura L**

$$B_2 = \frac{1}{1 - \frac{\sum P_u}{P_{eT}}} \geq 1 \quad (8.6)$$

siendo:

$\sum P_u$ la suma de las resistencias axiales requeridas de **todos los elementos del piso** resultantes de las combinaciones de acciones mayoradas, incluyendo las de las columnas que no aportan rigidez lateral, en kN.

P_{eT} la resistencia nominal a pandeo elástico del piso en la dirección de traslación considerada, determinada por análisis del pandeo por desplazamiento lateral o con la siguiente expresión, en kN.

$$P_{eT} = R_M \frac{L \sum H}{\Delta_{oH}} \quad (8.7)$$

$$R_M = 1 - 0,15 \left(\frac{\sum P_{mf}}{\sum P_u} \right) \quad (8.8)$$

L la altura del piso, en cm.

$\sum H$ el esfuerzo de corte del piso en la dirección de traslación considerada, debido a las cargas laterales que producen el desplazamiento Δ_{oH} , en kN.

Δ_{oH} el desplazamiento lateral relativo del piso de primer orden en la dirección de traslación considerada, debido a las cargas laterales. Se determinará utilizando la rigidez axial y la flexión usada en el análisis (cuando se utilice el método de análisis directo se utilizará la rigidez reducida dada en la Sección **C.2.3.**). Cuando Δ_{oH} varíe en el área en planta de la estructura, se podrá tomar el promedio de los desplazamientos ponderado por la carga vertical o alternativamente el máximo desplazamiento lateral, en cm.

$\sum P_{mf}$ la sumatoria de las resistencias axiales requeridas de las columnas del piso que sean parte de pórticos no arriostrados (a nudos desplazables) en la dirección de traslación considerada y **aporten rigidez lateral**. (= 0 si solo existen pórticos arriostrados), en kN.

ΣH y Δ_{oH} pueden basarse en cualquier sistema de cargas laterales que proporcione un valor representativo de la rigidez lateral ($\Sigma H / \Delta_{oH}$).

(b) Para estructuras en que la rigidez lateral sea provista **solo por pórticos no arriostrados** y en las que las **columnas** tengan **distinta altura L**:

$$B_2 = \frac{1}{1 - \frac{\sum P_u}{\sum P_{e2}}} \quad (8.9)$$

siendo:

ΣP_u la suma de las resistencias axiales requeridas de **todos los elementos del piso** resultantes de las combinaciones de acciones mayoradas, incluyendo las de las columnas que no aportan rigidez lateral, en kN.

$$\Sigma P_{e2} = \Sigma \frac{\pi^2 EI_i^*}{(k_2 L_i)^2} (10)^{-1}, \text{ en kN.} \quad (8.10)$$

La sumatoria se extenderá solo a las columnas que aporten rigidez lateral.

EI_i^* la rigidez a flexión del miembro utilizada en el análisis. ($=0,8\tau_b EI$ cuando se utilice el método de análisis directo; $=EI$ cuando se usen los métodos de longitud efectiva o de análisis de primer orden), en MPa cm⁴.

E el módulo de elasticidad longitudinal del acero $= 200000 \text{ MPa}$.

I_i el momento de inercia del miembro i en el plano de flexión, en cm⁴.

L_i la longitud no arriostrada del miembro i , en cm.

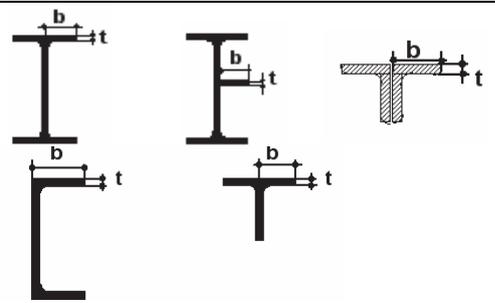
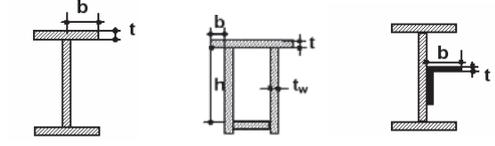
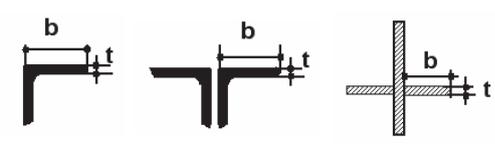
k_2 el factor de longitud efectiva en el plano de flexión, determinado con la hipótesis de nudos desplazables. Para su determinación **no se considerará** el efecto de las columnas con distinta rigidez o sin rigidez lateral y el efecto de pandeo no simultáneo.

ANEXO 1. EXPRESIONES CONTENIDAS EN ESTE REGLAMENTO EN FUNCIÓN DE E

En este Anexo se presentan las expresiones contenidas en el Reglamento dadas en función del módulo de elasticidad longitudinal del acero E , con su expresión resultante de reemplazar dicho módulo por su valor $E = 200\ 000\ MPa$. Se presentan con la misma numeración entre paréntesis pero con un asterisco: (*)

CAPÍTULO B

Tabla B.4.1a (*) Relaciones ancho/espesor en elementos comprimidos miembros sometidos a compresión axil

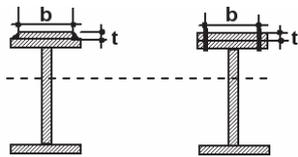
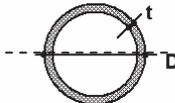
Relaciones ancho/espesor en elementos comprimidos miembros sometidos a compresión axil					
	Caso	Descripción del Elemento	Ancho/Espesor	Relación λ_r	Ejemplos
No Rigidizado	1	Alas de vigas de perfiles laminados “doble Te” y canales; alas de perfiles “Te”; alas de perfiles ángulo unidos en forma continua; Placas y ángulos salientes de vigas de perfiles laminados	b/t	$250 \sqrt{\frac{1}{F_y}}$	
	2	Alas de secciones “doble Te” soldadas y ángulos o placas salientes de secciones soldadas	b/t	(a) $285 \sqrt{\frac{k_c}{F_y}}$	
	3	Alas de perfiles ángulo; alas de pares de ángulo unidos con presillas; todo elemento no rigidizado	b/t	$200 \sqrt{\frac{1}{F_y}}$	
	4	Almas de secciones “Te”	b/t	$335 \sqrt{\frac{1}{F_y}}$	

Relaciones ancho/espesor en elementos comprimidos miembros sometidos a compresión axial					
Rigidizados	5	Almas de perfiles laminados y armados "doble Te" de doble simetría y canales	h/t_w	$665 \sqrt{\frac{1}{F_y}}$	
	6	Paredes de tubos rectangulares y cuadrados sin costura	B/t o h/t	$625 \sqrt{\frac{1}{F_y}}$	
	7	Platabandas y placas diafragma entre líneas de pasadores o cordones de soldadura	b/t	$625 \sqrt{\frac{1}{F_y}}$	
	8	Paredes de cajones rectangulares o cuadrados; todo elemento rigidizado	b/t o h_w/t_w	$665 \sqrt{\frac{1}{F_y}}$	
	9	Ancho no apoyado de platabandas o alas perforadas con una sucesión de agujeros de acceso	b/t	$830 \sqrt{\frac{1}{F_y}}$	Adoptar área neta de la placa en el ancho del agujero
	10	Tubos circulares	D/t	$22000 / F_y$	

Tabla B.4-1b (*). Relaciones ancho/espesor en elementos comprimidos de miembros flexados

Relaciones ancho/espesor en elementos comprimidos de miembros flexados						
	C a s o	Descripción del elemento	Ancho/espesor	Ancho/espesor límite		Ejemplos
				λ_p (d)	λ_r	
No rigidizados	11	Alas de perfiles laminados "doble Te", "Tes", canales y pares de perfiles ángulo en contacto continuo	b/t	$170 \sqrt{\frac{1}{F_y}}$	(b) $370 \sqrt{\frac{1}{F_L}}$	

Relaciones ancho/espesor en elementos comprimidos de miembros flexados						
C a s o	Descripción del elemento	Ancho/espesor	Ancho/espesor límite		Ejemplos	
			λ_p (d)	λ_r		
12	Alas de secciones "doble te" soldadas de doble y simple simetría; Alas salientes de vigas soldadas	b/t	$170 \sqrt{\frac{1}{F_y}}$	(a) (b) $425 \sqrt{\frac{k_c}{F_L}}$		
13	Alas de ángulos simples	b/t	$241 \sqrt{\frac{1}{F_y}}$	$407 \sqrt{\frac{1}{F_y}}$		
14	Alas de toda "doble te" y canal flexado alrededor del eje débil	b/t	$170 \sqrt{\frac{1}{F_y}}$	$447 \sqrt{\frac{1}{F_y}}$		
15	Alma de "Te"	d/t	$375 \sqrt{\frac{1}{F_y}}$	$460 \sqrt{\frac{1}{F_y}}$		
Ri z a d o s	16	Almas de "doble te" de doble simetría y canales laminados y soldados	h/t _w	$1680 \sqrt{\frac{1}{F_y}}$	$2550 \sqrt{\frac{1}{F_y}}$	
	17	Alma de secciones "doble Te" de simple simetría	h _c /t _w	(c) (e) $(h_c/h_p)(\sqrt{E/F_y})$ $[0,54(M_p/M_y) - 0,09]^2$	$2550 \sqrt{\frac{1}{F_y}}$	
	18	Alas de tubos rectangulares y cuadrados sin costura	b/t	$500 \sqrt{\frac{1}{F_y}}$	$625 \sqrt{\frac{1}{F_y}}$	
	19	Alas de secciones cajón soldadas	b/t	$500 \sqrt{\frac{1}{F_y}}$	$665 \sqrt{\frac{1}{F_y}}$	
	20	Almas de tubos rectangulares y cuadrados sin costura	h/t	$1085 \sqrt{\frac{1}{F_y}}$	$2550 \sqrt{\frac{1}{F_y}}$	
21	Almas de secciones cajón	h _w /t _w	$1680 \sqrt{\frac{1}{F_y}}$	$2550 \sqrt{\frac{1}{F_y}}$		

Relaciones ancho/espesor en elementos comprimidos de miembros flexados					
C a s o	Descripción del elemento	Ancho/espesor	Ancho/espesor límite		Ejemplos
			λ_p (d)	λ_r	
22	Platabandas y placas diafragma entre líneas de pasadores o cordones de soldadura	b/t	$500 \sqrt{\frac{1}{F_y}}$	$625 \sqrt{\frac{1}{F_y}}$	
23	Tubos circulares	D/t	$14000 / F_y$	$62000 / F_y$	

CAPÍTULO E

$$(E.3.2a)^* \text{ Para } \left(\frac{kL}{r}\right) \leq 2.105 \sqrt{\frac{1}{F_y}} \quad F_{cr} = \left(0,658 \frac{F_y}{F_e}\right) F_y$$

$$(E.3.3a)^* \text{ Para } \left(\frac{kL}{r}\right) > 2.105 \sqrt{\frac{1}{F_y}} \quad F_{cr} = 0,877 F_e$$

$$(E.3.4a)^* \quad F_e = \frac{1.974.000}{\left(\frac{kL}{r}\right)^2}$$

$$(E.7.2a)^* \text{ Para } \left(\frac{kL}{r}\right) \leq 2.105 \sqrt{\frac{1}{QF_y}} \quad F_{cr} = Q \left(0,658 \frac{QF_y}{F_e}\right) F_y$$

$$(E.7.3a)^* \text{ Para } \left(\frac{kL}{r}\right) > 2.105 \sqrt{\frac{1}{QF_y}} \quad F_{cr} = 0,877 F_e$$

$$(E.7.4)^* \text{ Cuando: } \frac{b}{t} \leq 250 \sqrt{\frac{1}{F_y}} \quad Q_s = 1,0$$

$$(E.7.5)^* \text{ Cuando } 250 \sqrt{1/F_y} < (b/t) \leq 460 \sqrt{1/F_y} \quad Q_s = 1,415 - 0,0166 \cdot \left(\frac{b}{t}\right) \cdot \sqrt{F_y} \leq 1$$

$$(E.7.6)^* \text{ Cuando: } (b/t) > 460 \sqrt{1/F_y} \quad Q_s = \frac{138.000}{\left[F_y \cdot \left(\frac{b}{t}\right)^2\right]} \leq 1$$

$$(E.7.7)^* \quad \text{Cuando: } \frac{b}{t} \leq 285 \sqrt{\frac{k_c}{F_y}} \quad Q_s = 1,0$$

$$(E.7.8)^* \quad \text{Cuando: } 285 \sqrt{k_c / F_y} < (b/t) \leq 525 \sqrt{k_c / F_y} \\ Q_s = 1,415 - 0,00145 \left(\frac{b}{t} \right) \sqrt{F_y / k_c} \leq 1$$

$$(E.7.9)^* \quad \text{Cuando: } \frac{b}{t} > 525 \sqrt{\frac{k_c}{F_y}} \quad Q_s = \frac{180.000}{\left[F_y \cdot \left(\frac{b}{t} \right)^2 \right]} \cdot k_c \leq 1$$

$$(E.7.10)^* \quad \text{Cuando: } \frac{b}{t} \leq 200 \sqrt{\frac{1}{F_y}} \quad Q_s = 1,0$$

$$(E.7.11)^* \quad \text{Cuando: } 200 \sqrt{1/F_y} < (b/t) \leq 407 \sqrt{1/F_y} \quad Q_s = 1,34 - 0,0017 \left(\frac{b}{t} \right) \cdot \sqrt{F_y} \leq 1$$

$$(E.7.12)^* \quad \text{Cuando: } (b/t) > 407 \sqrt{1/F_y} \quad Q_s = \frac{106.000}{\left[F_y \cdot \left(\frac{b}{t} \right)^2 \right]} \leq 1$$

$$(E.7.13)^* \quad \text{Cuando: } \frac{d}{t} \leq 335 \sqrt{\frac{1}{F_y}} \quad Q_s = 1,0$$

$$(E.7.14)^* \quad \text{Cuando: } 335 \sqrt{1/F_y} < (d/t) \leq 460 \sqrt{1/F_y} \quad Q_s = 1,908 - 0,00273 \cdot \left(\frac{d}{t} \right) \cdot \sqrt{F_y} \leq 1$$

$$(E.7.15)^* \quad \text{Cuando: } (d/t) > 460 \sqrt{1/F_y} \quad Q_s = \frac{138.000}{\left[F_y \cdot \left(\frac{d}{t} \right)^2 \right]} \leq 1$$

$$(E.7.17)^* \quad \text{Cuando: } \left(\frac{b}{t} \right) \geq 665 \sqrt{\frac{1}{f}} \quad b_e = 855 \cdot t \cdot \sqrt{\frac{1}{f}} \cdot \left[1 - \frac{150}{\left(\frac{b}{t} \right)} \cdot \sqrt{\frac{1}{f}} \right] \leq b$$

$$(E.7.18)^* \quad \text{Cuando: } \left(\frac{b}{t} \right) \geq 625 \sqrt{\frac{1}{f}} \quad b_e = 855 \cdot t \cdot \sqrt{\frac{1}{f}} \cdot \left[1 - \frac{170}{\left(\frac{b}{t} \right)} \sqrt{\frac{1}{f}} \right]$$

$$(E.7.19)^* \quad \frac{22.000}{F_y} < \left(\frac{D}{t} \right) \leq \frac{90.000}{F_y} \quad Q = Q_a = \frac{7.600}{F_y \cdot (D/t)} + \frac{2}{3}$$

CAPÍTULO F

$$(F.2.5a)^* \quad L_p = 788 r_y \cdot \sqrt{\frac{1}{F_{yf}}}$$

$$(F.2.5b)^* \quad L_p = 709 r_y \cdot \sqrt{\frac{1}{F_{yf}}}$$

$$(F.3.2a)^* \quad M_n = \frac{138.000 S_x}{\lambda^2} (10)^{-3}$$

$$(F.3.2b)^* \quad M_n = \frac{180.000 k_c S_x}{\lambda^2} (10)^{-3}$$

$$(F.4.7)^* \quad L_p = 492 r_t \cdot \sqrt{\frac{1}{F_{yf}}}$$

$$(F.4.8)^* \quad L_r = 390.000 r_t \frac{1}{F_L} \sqrt{\left(\frac{c J}{S_{xc} h_o} \right) + \sqrt{\left(\frac{c J}{S_{xc} h_o} \right)^2 + 6,76 \left(\frac{F_L}{E} \right)^2}}$$

$$(F.4.13)^* \quad M_n = \frac{180.000 k_c S_{xc}}{\lambda^2} (10)^{-3}$$

$$(F.5.5a)^* \quad L_p = 492 r_t \cdot \sqrt{\frac{1}{F_{yf}}} \quad (\text{cm})$$

$$(F.5.5b)^* \quad L_r = 1.405 r_t \cdot \sqrt{\frac{1}{F_{yf} - F_r}} \quad (\text{cm})$$

$$(F.5.6)^* \quad R_{pg} = 1 - \frac{a_w}{1200 + 300 a_w} \left(\frac{h_c}{t_w} - 2.550 \sqrt{\frac{1}{F_{crf}}} \right) \leq 1,0$$

$$(F.7.4)^* \quad M_{cr} = \frac{400 \cdot C_b}{L_b / r_y} \sqrt{J \cdot A_g}$$

$$(F.7.5)^* \quad M_{cr} = \frac{360 \cdot C_b}{L_b / r_y} \sqrt{J \cdot A_g}$$

$$(F.7.6)^* \quad L_p = \frac{26 \cdot r_y}{M_{px}} \cdot \sqrt{J \cdot A_g}$$

$$(F.7.7)^* \quad L_p = \frac{24 \cdot r_y}{M_{px}} \cdot \sqrt{J \cdot A_g}$$

$$(F.7.8)^* \quad L_r = \frac{400 \cdot r_y}{M_r} \sqrt{J \cdot A_g}$$

$$(F.7.10)^* \quad L_r = \frac{360 \cdot r_y}{M_r} \sqrt{J \cdot A_g}$$

$$(F.8.2)^* \quad M_n = \left[\frac{4.200}{\left(\frac{D}{t}\right)} + F_y \right] S (10)^{-3}$$

$$(F.8.3)^* \quad M_n = \left[\frac{66.000}{\left(\frac{D}{t}\right)} \right] S (10)^{-3}$$

$$(F.9.7)^* \quad M_n = \frac{140 S_{xc}}{\left(\frac{b_f}{2t_f}\right)}$$

$$(F.9.9)^* \quad \text{Cuando } \frac{d}{t_w} \leq 376 \sqrt{\frac{1}{F_y}} \quad F_{cr} = F_y$$

$$(F.9.10)^* \quad \text{Cuando } 376 \sqrt{\frac{1}{F_y}} < \frac{d}{t_w} \leq 460 \sqrt{\frac{1}{F_y}} \quad F_{cr} = \left[2,55 - 0,0041 \frac{d}{t_w} \sqrt{\frac{F_y}{1}} \right] F_y$$

$$(F.9.11)^* \quad \text{Cuando } \frac{d}{t_w} > 460 \sqrt{\frac{1}{F_y}} \quad F_{cr} = \frac{138.000}{\left(\frac{d}{t_w}\right)^2}$$

$$(F.10.4)^* \quad M_{ob} = C_b \cdot \frac{92 b^2 \cdot t^2}{L_b}$$

$$(F.10.5)^* \quad M_{ob} = 980 \cdot \frac{I_z}{L_b^2} \cdot C_b \cdot \left[\sqrt{\beta_w^2 + 0,052 (L_b \cdot t/r_z)^2} + \beta_w \right]$$

$$(F.10.6a)^* \quad M_{ob} = \frac{132 b^4 \cdot t \cdot C_b}{L_b^2} \left[\sqrt{1 + 0,78 (L_b \cdot t / b^2)^2} - 1 \right]$$

$$(F.10.6b)^* \quad M_{ob} = \frac{132 b^4 \cdot t \cdot C_b}{L_b^2} \left[\sqrt{1 + 0,78 (L_b \cdot t / b^2)^2} + 1 \right]$$

$$(F.10.7)^* \quad \text{Cuando: } \frac{b}{t} \leq 240 \cdot \sqrt{\frac{1}{F_y}} \quad M_n = 1,50 \cdot F_y \cdot S_c \cdot (10^{-3})$$

$$(F.10.8)^* \quad \text{Cuando: } 240 \sqrt{\frac{1}{F_y}} < \frac{b}{t} \leq 407 \sqrt{\frac{1}{F_y}}$$

$$M_n = F_y \cdot S_c \cdot (10^{-3}) \cdot \left[1,50 - 0,93 \left(\frac{b/t}{240 \sqrt{1/F_y}} - 1 \right) \right]$$

$$(F.10.9)^* \quad \text{Cuando: } \frac{b}{t} > 407 \sqrt{\frac{1}{F_y}} \quad M_n = 1,34 Q_s \cdot F_y \cdot S_c \cdot (10^{-3})$$

$$(F.11.1)^* \quad \text{con } \frac{L_b d}{t^2} \leq \frac{16.000}{F_y} \quad M_n = M_p = F_y Z (10)^{-3} \leq 1,5 M_y$$

$$(F.11.2)^* \quad \text{con } \frac{16.000}{F_y} < \frac{L_b d}{t^2} \leq \frac{380.000}{F_y} \text{ flexadas alrededor de su eje fuerte}$$

$$M_n = C_b \left[1,52 - 1,37 \times (10)^{-6} \left(\frac{L_b d}{t^2} \right) \frac{F_y}{E} \right] M_y \leq M_p \leq 1,5 M_y$$

$$(F.11.3)^* \quad \text{con } \frac{L_b d}{t^2} > \frac{380.000}{F_y} \text{ flexadas alrededor de su eje fuerte}$$

$$M_n = F_{cr} S_x (10)^{-3} \leq M_p \leq 1,5 M_y$$

$$(F.11.4)^* \quad F_{cr} = \frac{380.000 C_b}{(L_b d) / t^2}$$

$$(F.13.3)^* \quad \text{Para } a/h \leq 1,5 \quad \frac{h}{t_w} \leq 5.250 \cdot \sqrt{\frac{1}{F_{yf}}}$$

$$(F.13.4)^* \quad \text{Para } a/h > 1,5 \quad \frac{h}{t_w} \leq \frac{96.000}{\sqrt{F_{yf} (F_{yf} + 114)}}$$

$$(F.13.8)^* \quad L_{pd} = \left[24.000 + 15.200 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) \right] \cdot \left(\frac{1}{F_y} \right) \cdot r_y$$

$$(F.13.9)^* \quad L_{pd} = \left[34.000 + 20.000 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) \right] \cdot \left(\frac{1}{F_y} \right) \cdot r_y \geq 20.000 \left(\frac{1}{F_y} \right) \cdot r_y$$

CAPÍTULO G

$$(G.2.3)^* \quad \text{cuando } (h/t_w) \leq 492 \sqrt{k_v / F_{yw}} \quad C_v = 1,0$$

$$(G.2.4)^* \quad \text{cuando } 492 \sqrt{k_v / F_{yw}} < (h/t_w) \leq 613 \sqrt{k_v / F_{yw}} \quad C_v = \frac{492 \sqrt{k_v / F_{yw}}}{(h/t_w)}$$

$$(G.2.5)^* \quad \text{cuando } (h/t_w) > 613 \sqrt{k_v / F_{yw}} \quad C_v = \frac{302.000 k_v}{(h/t_w)^2 F_{yw}}$$

$$(G.3.1)^* \quad \text{Para } \frac{h}{t_w} \leq 492 \sqrt{\frac{k_v}{F_{yw}}} \quad V_n = 0,6 A_w F_{yw} (10)^{-1}$$

$$(G.3.2)^* \quad \text{Para } \frac{h}{t_w} > 492 \sqrt{\frac{k_v}{F_{yw}}} \quad V_n = 0,6 \cdot A_w \cdot F_{yw} \cdot \left(C_v + \frac{1 - C_v}{1,15 \sqrt{1 + (a/h)^2}} \right) \cdot (10^{-1})$$

$$(G.3.3)^* \quad (b/t)_{st} \leq 250 \sqrt{\frac{1}{F_{yst}}}$$

$$(G.5.2a)^* \quad F_{cr} = \frac{320.000}{\sqrt{\frac{L_v}{D} \left(\frac{D}{t} \right)^4}}$$

$$(G.5.2b)^* \quad F_{cr} = \frac{156.000}{\left(\frac{D}{t} \right)^2}$$

CAPÍTULO H

$$(H.3.2a)^* \quad F_{cr} = \frac{246.000}{(L/D)^{0,5} \cdot (D/t)^{1,25}}$$

$$(H.3.2b)^* \quad F_{cr} = \frac{120.000}{(D/t)^{1,5}}$$

CAPÍTULO J

$$(J.10.4)^* \quad R_n = 35,8 t_w^2 \cdot \left[1 + 3 \cdot \left(\frac{N}{d} \right) \cdot \left(\frac{t_w}{t_f} \right)^{1,5} \right] \cdot \sqrt{\frac{F_{yw} \cdot t_f}{t_w}}$$

$$(J.10.5a)^* \quad R_n = 17,9 t_w^2 \cdot \left[1 + 3 \cdot \left(\frac{N}{d} \right) \cdot \left(\frac{t_w}{t_f} \right)^{1,5} \right] \cdot \sqrt{\frac{F_{yw} \cdot t_f}{t_w}}$$

$$(J.10.5b)^* \quad R_n = 17,9 t_w^2 \cdot \left[1 + \left(\frac{4 \cdot N}{d} - 0,2 \right) \cdot \left(\frac{t_w}{t_f} \right)^{1,5} \right] \cdot \sqrt{\frac{F_{yw} \cdot t_f}{t_w}}$$

$$(J.10.8)^* \quad R_n = \frac{1.075 t_w^3 \cdot \sqrt{F_{yw}}}{h}$$

APÉNDICE 1

$$(1.1)^* \quad \lambda_{pp} = 135 \sqrt{\frac{1}{F_y}}$$

$$(1.2)^* \quad \lambda_{pp} = 1.370 \sqrt{\frac{1}{F_y} \left(1 - \frac{1,54 P_u}{\phi_c P_y} \right)}$$

$$(1.3)^* \quad \lambda_{pp} = 2.140 \sqrt{\frac{1}{F_y} \left(0,64 - \frac{P_u}{\phi_c P_y} \right)} \geq 665 \sqrt{\frac{1}{F_y}}$$

$$(1.4)^* \quad \lambda_{pp} = 420 \sqrt{\frac{1}{F_y}}$$

$$(1.5)^* \quad \lambda_{pp} = 9.000 / F_y$$

$$(1.6)^* \quad L_{pd} = \left[24.000 + 15.200 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) \right] \left(\frac{1}{F_y} \right) r_y$$

$$(1.8)^* \quad L_{pd} = \left[34.000 - 20.000 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) \right] \left(\frac{1}{F_y} \right) r_y \geq 20.000 \left(\frac{1}{F_y} \right) r_y$$

APÉNDICE 6

$$(6.11)^* \quad \beta_T = \frac{0,012 L.M_u^2}{\phi.n.E.I_y.C_b^2}$$

$$(6.12)^* \quad \beta_{sec} = \frac{660}{h_o} \left(\frac{1,5h_o \cdot t_w^3}{12} + \frac{t_s \cdot b_s^3}{12} \right)$$

$$(6.13)^* \quad \beta_{sec} = \frac{5.500 \cdot t_w^3}{h_o}$$

INTIArg 

@intiargentina 

@INTIargentina 

INTI 

canalinti 