

Reglamento CIRSOC 803
Ministerio de Obras Públicas de la Nación
Secretaría de Obras Públicas

INTI

Instituto Nacional de
Tecnología Industrial



CIRSOC

Centro de Investigación de los
Reglamentos Nacionales de
Seguridad para las Obras Cíviles



REGLAMENTO ARGENTINO
PARA EL DISEÑO DE
PUENTES CARRETEROS

Puentes de Acero

Julio 2022

***REGLAMENTO ARGENTINO
PARA EL DISEÑO DE
PUENTES CARRETEROS***

Puentes de Acero

EDICIÓN JULIO 2022



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

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

INTERNET:

www.inti.gob.ar/areas/servicios-industriales/construcciones-e-infraestructura/cirsoc

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

Directora Técnica: **Inga. Marta S. Parmigiani**

Área Estructuras de Hormigón: **Ing. Daniel A. Ortega**

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

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

© 2022

**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 y Certificación
Techint
Acindar – Grupo 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
Consejo Profesional de Agrimensores, Ingenieros y Profesiones Afines de Salta
Asociación Argentina de Ensayos no Destructivos

Reconocimiento Especial

*El INTI-CIRSOC agradece muy especialmente a las Autoridades del American National Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) por habernos permitido adoptar de base para el desarrollo de este Reglamento, la edición 2012 del documento **AASHTO LRFD Bridge Design Specification**.*

ASESORES QUE INTERVINIERON EN LA REDACCIÓN DEL

***REGLAMENTO ARGENTINO
PARA EL DISEÑO DE
PUENTES CARRETEROS***

CIRSOC 803

Puentes de Acero

***Ing. Francisco Bissio
Ing. Victorio Hernández Balat
Ing. Daniel Ortega
Ing. Martín Polimeni
Ing. Gustavo Soprano***

El Equipo Redactor contó con la colaboración de los siguientes profesionales:

Ing. Victor Fariña	DIRECCIÓN NACIONAL DE VIALIDAD
Ing. Susana Faustinelli Ing. Guillermo Ferrando Ing. José Giunta Ing. Hugo Echegaray	CONSEJO VIAL FEDERAL
Ing. Diego Cernuschi	DIRECCIÓN DE VIALIDAD DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES
Ing. Máximo Fioravanti	ACADEMIA NACIONAL DE INGENIERÍA
Ing. Gabriel Troglia	COORDINADOR COMISIÓN PERMANENTE DE ESTRUCTURAS DE ACERO DE INTI-CIRSOC
Ing. Juan José Goldemberg	SOCIEDAD ARGENTINA DE INGENIERÍA GEOTÉCNICA - SAIG
Ing. Javier Fazio Ing. Tomás del Carril Ing. Rogelio Percivatti Franco Ing. Martín Polimeni	ASOCIACIÓN DE INGENIEROS ESTRUCTURALES - AIE
Ing. Roberto Cudmani Ing. Juan Carlos Reimundín	COORDINADORES DEL REGLAMENTO CIRSOC 102-2005
Ing. Alicia Aragno	INVITADA ESPECIAL

Agradecimiento especial

*El INTI-CIRSOC agradece muy especialmente al Ing. Angel Ciarbonetti la donación de la foto que ilustra la tapa de este Reglamento, que pertenece al **Puente Ing. civil Marcial Candiotti**, ubicado en la Provincia de Santa Fe y al **Ing. Guillermo Ferrando** por todas las gestiones realizadas.*

INDICE

CAPÍTULO 6. PUENTES DE ACERO

6.1. CAMPO DE VALIDEZ	1
6.2. DEFINICIONES	1
6.3. SIMBOLOGÍA	16
6.4. MATERIALES	40
6.4.1. Aceros estructurales	40
6.4.2. Pernos, rodillos (rollers) y balancines (rockers)	42
6.4.3. Bulones, tuercas y arandelas	42
6.4.3.1. Bulones	42
6.4.3.2. Tuercas	43
6.4.3.2.1. Tuercas utilizadas con los medios estructurales de unión	43
6.4.3.3. Arandelas	44
6.4.3.4. Medios alternativos de unión	44
6.4.3.5. Dispositivos indicadores de carga	44
6.4.4. Conectores de corte tipo stud	44
6.4.5. Metal de soldadura	45
6.4.6. Metal fundido	45
6.4.6.1. Acero fundido y hierro dúctil	45
6.4.6.2. Fundiciones maleables	45
6.4.6.3. Hierro fundido	45
6.4.7. Acero inoxidable	45
6.4.8. Cables	46
6.4.8.1. Alambre brillante	46
6.4.8.2. Alambre galvanizado	46
6.4.8.3. Alambre recubierto de epoxi	46
6.4.8.4. Cordones para puentes	46
6.5. ESTADOS LÍMITE	46
6.5.1. Requisitos generales	46
6.5.2. Estado límite de servicio	46
6.5.3. Estado límite de fractura y fatiga	46
6.5.4. Estado límite de resistencia	47
6.5.4.1. Requisitos generales	47
6.5.4.2. Factores de resistencia	47
6.5.5. Estado límite de evento extremo	49
6.6. CONSIDERACIONES SOBRE EL ESTADO LÍMITE DE FATIGA Y FRACTURA	49

6.6.1. Fatiga	49
6.6.1.1. Requisitos generales	49
6.6.1.2. Fatiga inducida por las cargas	49
6.6.1.2.1. Aplicación	49
6.6.1.2.2. Criterios de diseño	50
6.6.1.2.3. Categorías para diseño a fatiga	50
6.6.1.2.4. Detallado para reducir las restricciones	66
6.6.1.2.5. Resistencia a la fatiga	66
6.6.1.3. Fatiga inducida por distorsión	69
6.6.1.3.1. Chapas transversales de unión	69
6.6.1.3.2. Chapas laterales de unión	70
6.6.1.3.3. Tableros ortótropos	70
6.6.2. Fractura	70
6.7. REQUISITOS GENERALES DE DIMENSIONAMIENTO Y DETALLADO	72
6.7.1. Longitud efectiva del tramo	72
6.7.2. Contraflecha para carga permanente	72
6.7.3. Espesor mínimo del acero	72
6.7.4. Diafragmas y marcos transversales	73
6.7.4.1. Requisitos generales	73
6.7.4.2. Barras de sección I	74
6.7.4.3. Miembros de sección tipo cajón	75
6.7.4.4. Reticulados y arcos	75
6.7.5. Arriostramiento lateral	76
6.7.5.1. Requisitos generales	76
6.7.5.2. Miembros de sección I	76
6.7.5.3. Secciones tipo omega invertida	76
6.7.5.4. Reticulados	77
6.7.6. Pernos	77
6.7.6.1. Ubicación	77
6.7.6.2. Resistencia	77
6.7.6.2.1. Combinación de flexión y corte	77
6.7.6.2.2. Aplastamiento	78
6.7.6.3. Tamaño mínimo del perno para las barras de ojo	78
6.7.6.4. Pernos y tuercas para pernos	79
6.7.7. Vigas laminadas y vigas armadas soldadas curvadas por calentamiento	79
6.7.7.1. Alcance	79
6.7.7.2. Radio mínimo de curvatura	79
6.7.7.3. Contraflecha	80
6.8. MIEMBROS EN TRACCIÓN	81
6.8.1. Requisitos generales	81
6.8.2. Resistencia a la tracción	81
6.8.2.1. Requisitos generales	81
6.8.2.2. Factor de reducción, U	82
6.8.2.3. Combinación de tracción y flexión	84
6.8.3. Área neta	85
6.8.4. Límites de la relación de esbeltez	86
6.8.5. Miembros armados	86
6.8.5.1. Requisitos generales	86

6.8.5.2. Chapas perforadas	86
6.8.6. Barras de ojo	87
6.8.6.1. Resistencia minorada	87
6.8.6.2. Dimensiones	87
6.8.6.3. Paquetes de barras de ojo	87
6.8.7. Chapas conectadas mediante pernos	87
6.8.7.1. Requisitos generales	87
6.8.7.2. Chapas con pernos	88
6.8.7.3. Dimensiones	88
6.8.7.4. Paquetes	89
6.9. MIEMBROS EN COMPRESIÓN	89
6.9.1. Requisitos generales	89
6.9.2. Resistencia a la compresión	89
6.9.2.1. Compresión axial	89
6.9.2.2. Combinación de compresión axial y flexión	89
6.9.3. Límites de la relación de esbeltez	90
6.9.4. Miembros de sección no compuesta	91
6.9.4.1. Resistencia nominal a la compresión	91
6.9.4.1.1. Requisitos generales	91
6.9.4.1.2. Resistencia al pandeo elástico por flexión	95
6.9.4.1.3. Resistencia al pandeo elástico por torsión y por flexo-torsión	95
6.9.4.2. Elementos esbeltos y no esbeltos	97
6.9.4.2.1. Elementos no esbeltos	97
6.9.4.2.2. Elementos esbeltos	100
6.9.4.3. Miembros armados	102
6.9.4.3.1. Requisitos generales	102
6.9.4.3.2. Chapas perforadas	103
6.9.4.4. Miembros de perfil de ángulo simple	104
6.9.5. Miembros de sección compuesta	105
6.9.5.1. Resistencia nominal a la compresión	105
6.9.5.2. Limitaciones	107
6.9.5.2.1. Requisitos generales	107
6.9.5.2.2. Tubos rellenos de hormigón	107
6.9.5.2.3. Perfiles embebidos en hormigón	107
6.10. MIEMBROS DE SECCIÓN I SOLICITADOS A FLEXIÓN	108
6.10.1. Requisitos generales	108
6.10.1.1. Secciones compuestas	109
6.10.1.1.1. Esfuerzos	109
6.10.1.1.1a. Secuencia de carga	109
6.10.1.1.1b. Esfuerzos para secciones en flexión positiva	109
6.10.1.1.1c. Esfuerzos para secciones en flexión negativa	110
6.10.1.1.1d. Esfuerzos en el tablero de hormigón	110
6.10.1.1.1e. Ancho efectivo del tablero de hormigón	110
6.10.1.2. Secciones no compuestas	110
6.10.1.3. Secciones híbridas	110
6.10.1.4. Miembros de altura de alma variable	111
6.10.1.5. Rigidez	111
6.10.1.6. Esfuerzos en las alas y momentos flexores en los miembros	111
6.10.1.7. Armadura mínima para flexión negativa en el tablero de hormigón	113

6.10.1.8. Fractura de la sección neta	114
6.10.1.9. Resistencia al pandeo por flexión del alma	114
6.10.1.9.1. Almas sin rigidizadores longitudinales	114
6.10.1.9.2. Almas con rigidizadores longitudinales	115
6.10.1.10. Factores de reducción de la resistencia de las alas	115
6.10.1.10.1. Factor de hibridez, R_h	115
6.10.1.10.2. Factor de balanceo de las cargas del alma, R_b	116
6.10.2. Límites aplicables de las dimensiones de la sección transversal	118
6.10.2.1. Dimensiones del alma	118
6.10.2.1.1. Almas sin rigidizadores longitudinales	118
6.10.2.1.2. Almas con rigidizadores longitudinales	118
6.10.2.2. Dimensiones de las alas	118
6.10.3. Constructibilidad	119
6.10.3.1. Requisitos generales	119
6.10.3.2. Flexión	119
6.10.3.2.1. Alas sujetas a compresión discretamente arriostradas	119
6.10.3.2.2. Alas sujetas a tracción discretamente arriostradas	120
6.10.3.2.3. Alas sujetas a tracción o compresión con arriostramiento continuo	120
6.10.3.2.4. Tablero de hormigón	120
6.10.3.3. Corte	121
6.10.3.4. Colocación del tablero	121
6.10.3.5. Deflexiones por carga permanente	121
6.10.4. Estado límite de servicio	121
6.10.4.1. Deformaciones elásticas	121
6.10.4.2. Deformaciones permanentes	122
6.10.4.2.1. Requisitos generales	122
6.10.4.2.2. Flexión	122
6.10.5. Estado límite de fatiga y fractura	124
6.10.5.1. Fatiga	124
6.10.5.2. Fractura	124
6.10.5.3. Requisito especial de fatiga aplicable a las almas	124
6.10.6. Estado límite de resistencia	124
6.10.6.1. Requisitos generales	124
6.10.6.2. Flexión	125
6.10.6.2.1. Requisitos generales	125
6.10.6.2.2. Secciones compuestas en flexión positiva	125
6.10.6.2.3. Secciones compuestas en flexión negativa y secciones no compuestas	125
6.10.6.3. Corte	126
6.10.6.4. Conectores de corte	126
6.10.7. Resistencia a la flexión – Secciones compuestas en flexión positiva	126
6.10.7.1. Secciones compactas	126
6.10.7.1.1. Requisitos generales	126
6.10.7.1.2. Resistencia nominal a la flexión	127
6.10.7.2. Secciones no compactas	128
6.10.7.2.1. Requisitos generales	128
6.10.7.2.2. Resistencia nominal a la flexión	129
6.10.7.3. Requisito de ductilidad	129
6.10.8. Resistencia a la flexión – Secciones compuestas en flexión negativa y secciones no compuestas	130
6.10.8.1. Requisitos generales	130
6.10.8.1.1. Alas sujetas a compresión discretamente arriostradas	130
6.10.8.1.2. Alas sujetas a tracción discretamente arriostradas	130

6.10.8.1.3. Alas sujetas a tracción o compresión con arriostramiento continuo	130
6.10.8.2. Resistencia a la flexión del ala sujeta a compresión	131
6.10.8.2.1. Requisitos generales	131
6.10.8.2.2. Resistencia al pandeo local	131
6.10.8.2.3. Resistencia al pandeo lateral torsional	132
6.10.8.3. Resistencia a la flexión del ala a tracción	134
6.10.9. Resistencia al corte	134
6.10.9.1. Requisitos generales	134
6.10.9.2. Resistencia nominal de las almas no rigidizadas	135
6.10.9.3. Resistencia nominal de las almas rigidizadas	136
6.10.9.3.1. Requisitos generales	136
6.10.9.3.2. Paneles interiores	136
6.10.9.3.3. Paneles extremos	137
6.10.10. Conectores de corte	138
6.10.10.1. Requisitos generales	138
6.10.10.1.1. Tipos	138
6.10.10.1.2. Separación de los conectores de corte a lo largo del eje longitudinal	139
6.10.10.1.3. Separación transversal	140
6.10.10.1.4. Recubrimiento de hormigón y penetración	140
6.10.10.2. Resistencia a la fatiga	141
6.10.10.3. Requisitos especiales para puntos de inflexión de la carga permanente	142
6.10.10.4. Estado límite de resistencia	142
6.10.10.4.1. Requisitos generales	142
6.10.10.4.2. Fuerza de corte nominal	143
6.10.10.4.3. Resistencia nominal al corte	145
6.10.11. Rigidizadores	145
6.10.11.1. Rigidizadores transversales	145
6.10.11.1.1. Requisitos generales	145
6.10.11.1.2. Ancho saliente	146
6.10.11.1.3. Momento de inercia	146
6.10.11.2. Rigidizadores de apoyo	148
6.10.11.2.1. Requisitos generales	148
6.10.11.2.2. Ancho saliente	149
6.10.11.2.3. Resistencia al aplastamiento	149
6.10.11.2.4. Resistencia axial de los rigidizadores de apoyo	149
6.10.11.2.4a. Requisitos generales	149
6.10.11.2.4b. Sección efectiva	150
6.10.11.3. Rigidizadores longitudinales	150
6.10.11.3.1. Requisitos generales	150
6.10.11.3.2. Ancho saliente	151
6.10.11.3.3. Momento de inercia y radio de giro	151
6.10.12. Platabandas	152
6.10.12.1. Requisitos generales	152
6.10.12.2. Requisitos aplicables a los extremos de las platabandas	152
6.10.12.2.1. Requisitos generales	152
6.10.12.2.2. Extremos soldados	153
6.10.12.2.3. Extremos abulonados	153
6.11. MIEMBROS DE SECCIÓN TIPO CAJÓN SOLICITADOS A FLEXIÓN	153
6.11.1. Requisitos generales	153

6.11.1.1. Determinación de los esfuerzos	154
6.11.1.2. Apoyos	155
6.11.1.3. Conexiones entre el ala y el alma	156
6.11.1.4. Agujeros de acceso y drenaje	156
6.11.2. Límites aplicables a las dimensiones de la sección transversal	156
6.11.2.1. Dimensiones del alma	156
6.11.2.1.1. Requisitos generales	156
6.11.2.1.2. Almas sin rigidizadores longitudinales	156
6.11.2.1.3. Almas con rigidizadores longitudinales	156
6.11.2.2. Dimensiones del ala	157
6.11.2.3. Restricciones especiales sobre el uso del factor de distribución de sobrecarga para secciones tipo cajón múltiple	157
6.11.3. Constructibilidad	158
6.11.3.1. Requisitos generales	158
6.11.3.2. Flexión	158
6.11.3.3. Corte	159
6.11.4. Estado límite de servicio	159
6.11.5. Estado límite de fatiga y fractura	160
6.11.6. Estado límite de resistencia	161
6.11.6.1. Requisitos generales	161
6.11.6.2. Flexión	161
6.11.6.2.1. Requisitos generales	161
6.11.6.2.2. Secciones en flexión positiva	161
6.11.6.2.3. Secciones en flexión negativa	162
6.11.6.3. Corte	162
6.11.6.4. Conectores de corte	162
6.11.7. Resistencia a la flexión – Secciones en flexión positiva	162
6.11.7.1. Secciones compactas	162
6.11.7.1.1. Requisitos generales	162
6.11.7.1.2. Resistencia nominal a la flexión	163
6.11.7.2. Secciones no compactas	163
6.11.7.2.1. Requisitos generales	163
6.11.7.2.2. Resistencia nominal a la flexión	163
6.11.8. Resistencia a la flexión – Secciones en flexión negativa	165
6.11.8.1. Requisitos generales	165
6.11.8.1.1. Alas de una sección tipo cajón sujetas a compresión	165
6.11.8.1.2. Alas con arriostramiento continuo sujetas a tracción	165
6.11.8.2. Resistencia a la flexión de las alas de una sección tipo cajón sujetas a compresión	165
6.11.8.2.1. Requisitos generales	165
6.11.8.2.2. Alas no rigidizadas	165
6.11.8.2.3. Alas rigidizadas longitudinalmente	168
6.11.8.3. Resistencia a la flexión del ala sujeta a tracción	169
6.11.9. Resistencia al corte	169
6.11.10. Conectores de corte	169
6.11.11. Rigidizadores	171
6.11.11.1. Rigidizadores del alma	171
6.11.11.2. Rigidizadores longitudinales del ala sujeta a compresión	171
 6.12. MIEMBROS VARIOS SOLICITADOS A FLEXIÓN	 172
6.12.1. Requisitos generales	172
6.12.1.1. Alcance	172

6.12.1.2. Estado límite de resistencia	172
6.12.1.2.1. Flexión	172
6.12.1.2.2. Combinación de flexión y carga axial	172
6.12.1.2.3. Corte	173
6.12.1.2.3a. Requisitos generales	173
6.12.1.2.3b. Sección estructural hueca cuadrada y rectangular	173
6.12.1.2.3c. Tubos de sección circular	173
6.12.2. Resistencia nominal a la flexión	174
6.12.2.1. Requisitos generales	174
6.12.2.2. Miembros no compuestos	174
6.12.2.2.1. Miembros de sección I y H	174
6.12.2.2.2. Miembros de sección tipo cajón	175
6.12.2.2.3. Tubos de sección circular	178
6.12.2.2.4. Perfiles T y ángulos dobles	179
6.12.2.2.5. Canales	181
6.12.2.2.6. Ángulos simples	184
6.12.2.2.7. Barras rectangulares y barras redondas sólidas	184
6.12.2.3. Miembros compuestos	185
6.12.2.3.1. Perfiles embebidos en hormigón	185
6.12.2.3.2. Tubos rellenos de hormigón	186
6.12.3. Resistencia nominal al corte de los miembros compuestos	187
6.12.3.1. Perfiles embebidos en hormigón	187
6.12.3.2. Tubos rellenos de hormigón	187
6.12.3.2.1. Tubos de sección rectangular	187
6.12.3.2.2. Tubos de sección circular	188
6.13. UNIONES Y EMPALMES	188
6.13.1. Requisitos generales	188
6.13.2. Conexiones abulonadas	189
6.13.2.1. Requisitos generales	189
6.13.2.1.1. Conexiones de deslizamiento crítico	189
6.13.2.1.2. Conexiones por aplastamiento	190
6.13.2.2. Resistencia minorada	190
6.13.2.3. Pernos, tuercas y arandelas	191
6.13.2.3.1. Pernos y tuercas	191
6.13.2.3.2. Arandelas	191
6.13.2.4. Agujeros	192
6.13.2.4.1. Tipo	192
6.13.2.4.1a. Requisitos generales	192
6.13.2.4.1b. Agujeros agrandados	192
6.13.2.4.1c. Agujeros de ranura corta	192
6.13.2.4.1d. Agujeros de ranura larga	192
6.13.2.4.2. Tamaño	193
6.13.2.5. Tamaño de los bulones	193
6.13.2.6. Separación de los bulones	193
6.13.2.6.1. Separación y distancia libre mínimos	193
6.13.2.6.2. Separación máxima para bulones de sellado	194
6.13.2.6.3. Paso máximo para bulones roscados de punta “autoperforantes”	194
6.13.2.6.4. Paso máximo para bulones roscados de punta, en el extremo de los miembros sujetos a compresión	194
6.13.2.6.5. Distancia al extremo	195
6.13.2.6.6. Distancias al borde	195

6.13.2.7. Resistencia al corte	195
6.13.2.8. Resistencia al deslizamiento	196
6.13.2.9. Resistencia al aplastamiento en los agujeros de bulones	198
6.13.2.10. Resistencia a la tracción	199
6.13.2.10.1. Requisitos generales	199
6.13.2.10.2. Resistencia nominal a la tracción	199
6.13.2.10.3. Resistencia a la fatiga	200
6.13.2.10.4. Acción de palanca	200
6.13.2.11. Combinación de tracción y corte	200
6.13.2.12. Resistencia al corte de los bulones de anclaje	201
6.13.3. Conexiones soldadas	202
6.13.3.1. Requisitos generales	202
6.13.3.2. Resistencia minorada	202
6.13.3.2.1. Requisitos generales	202
6.13.3.2.2. Conexiones con soldaduras acanaladas de penetración completa	202
6.13.3.2.2a. Tracción y compresión	202
6.13.3.2.2b. Corte	202
6.13.3.2.3. Conexiones con soldaduras acanaladas de penetración parcial	203
6.13.3.2.3a. Tracción o compresión	203
6.13.3.2.3b. Corte	203
6.13.3.2.4. Conexiones con soldaduras de filete	203
6.13.3.2.4a. Tracción o compresión	203
6.13.3.2.4b. Corte	203
6.13.3.3. Área efectiva	204
6.13.3.4. Tamaño de las soldaduras de filete	204
6.13.3.5. Longitud efectiva mínima de las soldaduras de filete	204
6.13.3.6. Retorno en los extremos de las soldaduras de filete	204
6.13.3.7. Soldaduras de sellado	205
6.13.4. Resistencia a la rotura del bloque de corte	205
6.13.5. Elementos de conexión	206
6.13.5.1. Requisitos generales	206
6.13.5.2. Tracción	206
6.13.5.3. Corte	206
6.13.6. Empalmes	207
6.13.6.1. Empalmes abulonados	207
6.13.6.1.1. Requisitos generales	207
6.13.6.1.2. Miembros en tracción	207
6.13.6.1.3. Miembros en compresión	207
6.13.6.1.4. Miembros solicitados a flexión	208
6.13.6.1.4a. Requisitos generales	208
6.13.6.1.4b. Empalmes en el alma	208
6.13.6.1.4c. Empalmes en las alas	209
6.13.6.1.5. Chapas de relleno	212
6.13.6.2. Empalmes soldados	213
6.13.7. Conexiones en pórticos rígidos	214
6.13.7.1. Requisitos generales	214
6.13.7.2. Almas	214
6.14. REQUISITOS POR TIPO DE ESTRUCTURA	215
6.14.1. Puente de vigas con tablero inferior	215
6.14.2. Vigas reticuladas	215
6.14.2.1. Requisitos generales	215

6.14.2.2. Miembros del reticulado	216
6.14.2.3. Esfuerzos secundarios	216
6.14.2.4. Diafragmas	216
6.14.2.5. Contraflecha	216
6.14.2.6. Líneas de trabajo y ejes gravitatorios	216
6.14.2.7. Arriostramiento extremo y transversal	217
6.14.2.7.1. Requisitos generales	217
6.14.2.7.2. Puentes de reticulado con tablero inferior	217
6.14.2.7.3. Puentes de reticulado con tablero superior	217
6.14.2.8. Chapas de nudo	217
6.14.2.9. Puentes de reticulado con tablero intermedio	218
6.14.2.10. Resistencia minorada	218
6.14.3. Superestructuras con tableros ortótropos	218
6.14.3.1. Requisitos generales	218
6.14.3.2. Tableros sujetos a compresión global	219
6.14.3.2.1. Requisitos generales	219
6.14.3.2.2. Pandeo local	219
6.14.3.2.3. Pandeo del panel	219
6.14.3.3. Ancho efectivo del tablero	220
6.14.3.4. Superposición de efectos globales y locales	220
6.14.4. Arcos de alma llena	220
6.14.4.1. Amplificación de momentos para considerar las deflexiones	220
6.14.4.2. Esbeltez de las almas	220
6.14.4.3. Estabilidad de las alas	221
6.15. PILOTES	221
6.15.1. Requisitos generales	221
6.15.2. Resistencia estructural	221
6.15.3. Resistencia a la compresión	221
6.15.3.1. Compresión axial	221
6.15.3.2. Compresión axial y flexión combinadas	222
6.15.3.3. Pandeo	222
6.15.4. Esfuerzos máximos admisibles de hincado	222
6.16. REQUISITOS PARA EL DISEÑO SÍSMICO	222

APÉNDICE A6. RESISTENCIA A LA FLEXIÓN EN PUENTES RECTOS DE SECCIONES I COMPUESTAS EN FLEXIÓN NEGATIVA Y SECCIONES I NO COMPUESTAS, CON ALMAS COMPACTAS O NO COMPACTAS

A6.1. REQUISITOS GENERALES	223
A6.1.1. Secciones de las alas sujetas a compresión con arriostramiento discreto	223
A6.1.2. Secciones de las alas sujetas a tracción con arriostramiento discreto	224
A6.1.3. Secciones de las alas sujetas a compresión con arriostramiento continuo	224
A6.1.4. Secciones de las alas sujetas a tracción con arriostramiento continuo	225
A6.2. FACTORES DE PLASTIFICACIÓN DEL ALMA	225

A6.2.1. Secciones de alma compacta	225
A6.2.2. Secciones de alma no compacta	226
A6.3. RESISTENCIA A LA FLEXIÓN CON BASE EN EL ALA COMPRIMIDA	227
A6.3.1. Requisitos generales	227
A6.3.2. Resistencia al pandeo local	227
A6.3.3. Resistencia al pandeo lateral torsional	229
A6.4. RESISTENCIA A LA FLEXIÓN CON BASE EN LA FLUENCIA DEL ALA SUJETA A TRACCIÓN	232

APÉNDICE B6. REDISTRIBUCIÓN DE MOMENTOS SOBRE LA PILA INTERIOR DE PUENTES RECTOS CON TRAMOS CONTINUOS DE SECCIÓN I

B6.1. REQUISITOS GENERALES	233
B6.2. ALCANCE	233
B6.2.1. Dimensiones del alma	233
B6.2.2. Dimensiones del ala sujeta a compresión	234
B6.2.3. Transiciones de sección	234
B6.2.4. Arriostramiento del ala sujeta a compresión	234
B6.2.5. Corte	235
B6.2.6. Rigidizadores de apoyo	235
B6.3. ESTADO LÍMITE DE SERVICIO	235
B6.3.1. Requisitos generales	235
B6.3.2. Flexión	235
B6.3.2.1. Zona adyacente a las secciones sobre la pila interior	235
B6.3.2.2. En todas las demás ubicaciones	236
B6.3.3. Momentos de redistribución	236
B6.3.3.1. En secciones sobre la pila interior	236
B6.3.3.2. En todas las demás ubicaciones	236
B6.4. ESTADO LÍMITE DE RESISTENCIA	237
B6.4.1. Resistencia a la flexión	237
B6.4.1.1. Zona adyacente a las secciones sobre la pila interior	237
B6.4.1.2. En todas las demás ubicaciones	237
B6.4.2. Momentos de redistribución	237
B6.4.2.1. En secciones sobre la pila interior	237
B6.4.2.2. En todas las demás secciones	238
B6.5. MOMENTO PLÁSTICO EFECTIVO	238
B6.5.1. Secciones sobre la pila interior con características momento-rotación mejorada	238
B6.5.2. Todas las demás secciones sobre la pila interior	239
B6.6. MÉTODO REFINADO	240

B6.6.1. Requisitos generales	240
B6.6.2. Curvas nominales momento-rotación	240

APÉNDICE C6. PASOS BÁSICOS PARA LAS SUPERESTRUCTURAS EN PUENTES DE ACERO

C6.1. REQUISITOS GENERALES	243
C6.2. CONSIDERACIONES GENERALES	243
C6.3. DISEÑO DE LA SUPERESTRUCTURA	243
C6.4. DIAGRAMAS DE FLUJO PARA DISEÑOS A FLEXIÓN DE SECCIONES I	246

APÉNDICE D6. CÁLCULOS FUNDAMENTALES PARA MIEMBROS SOLICITADOS A FLEXIÓN

D6.1. MOMENTO PLÁSTICO	259
D6.2. MOMENTO DE FLUENCIA	261
D6.2.1. Secciones no compuestas	261
D6.2.2. Secciones compuestas en flexión positiva	262
D6.2.3. Secciones compuestas en flexión negativa	263
D6.2.4. Secciones con platabandas	263
D6.3. ALTURA DEL ALMA SUJETA A COMPRESIÓN	263
D6.3.1. En el rango elástico (D_c)	263
D6.3.2. En el momento plástico (D_{cp})	264
D6.4. ECUACIONES DE PANDEO LATERAL TORSIONAL, PARA $C_b > 1,0$, CON ÉNFASIS EN LOS REQUISITOS SOBRE LONGITUD NO ARRIOSTRADA PARA EL DESARROLLO DE LA MÁXIMA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN	265
D6.4.1. Según los requisitos del artículo 6.10.8.2.3	265
D6.4.2. Según los requisitos del artículo A6.3.3	266
D6.5. CARGAS CONCENTRADAS APLICADAS A ALMAS SIN RIGIDIZADORES DE APOYO	267
D6.5.1. Requisitos generales	267
D6.5.2. Fluencia local del alma	267
D6.5.3. Pandeo localizado del alma	268

CAPÍTULO 6. PUENTES DE ACERO

6.1. CAMPO DE VALIDEZ

Este Capítulo cubre el diseño de componentes de acero, empalmes y conexiones para estructuras de vigas rectas o curvadas horizontalmente, pórticos, reticulados y arcos, sistemas atirantados y colgantes, y sistemas de tablero metálico, según sea aplicable.

Cuando se aplican a vigas primarias de acero curvadas horizontalmente, se deben tomar estas disposiciones para aplicar al diseño y construcción de superestructuras de carreteras con vigas longitudinales de acero curvadas horizontalmente, formadas por perfiles tipo I o cajón de celda única con radios superiores a **30 m**. Las excepciones a este límite se deberán basar en una evaluación exhaustiva de la aplicación del puente bajo consideración, en concordancia con los fundamentos estructurales básicos.

En el apéndice C6 se presenta un breve resumen para el diseño de puentes vigas de acero.

6.2. DEFINICIONES

A

Acción de palanca (“Prying action”): 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 del campo a tracción (“Tension-field action”): comportamiento de un panel de viga primaria sujeto a corte en el cual se desarrollan tensiones diagonales de tracción en el alma y fuerzas de compresión en los rigidizadores transversales de manera análoga a un reticulado tipo Pratt.

Acción inelástica (“Inelastic action”): condición en la cual la deformación no se recupera totalmente al retirar la carga que la produjo.

Agarre del bulón (“Grip”): distancia entre la tuerca y la cabeza del bulón.

Ala compacta (“Compact flange”): para una sección compuesta en flexión negativa o una sección no compuesta, ala sujeta a compresión discretamente arriostrada con una esbeltez igual o menor de la cual el ala puede soportar suficientes deformaciones de modo que se logre la máxima resistencia potencial a la flexión, antes de que el pandeo local del ala tenga una influencia estadísticamente significativa sobre la respuesta, garantizando

que los requisitos de arriostramiento lateral son suficientes para desarrollar la máxima resistencia potencial a la flexión.

Ala con arriostramiento continuo (“Continuously braced flange”): ala embebida en hormigón o anclada mediante conectores de corte para la cual los efectos de flexión lateral no necesitan ser considerados. Un ala con arriostramiento continuo, sujeto a compresión, también se supone que no está sujeto a pandeo local ni pandeo lateral torsional.

Ala de una sección tipo cajón (“Box flange”): ala que está conectada a dos almas. El ala puede ser una chapa plana no rigidizada, una chapa rigidizada o una chapa plana con hormigón armado unido a la chapa por medio de conectores de corte.

Ala determinante (“Controlling flange”): ala superior o inferior de la menor de las secciones en un punto de empalme, cualquiera sea el ala que tenga la máxima relación entre el esfuerzo elástico a flexión en la mitad de su espesor, debido a las cargas mayoradas, y su resistencia minorada a flexión.

Ala discretamente arriostrado (“Discretely braced flange”): ala apoyada, a intervalos discretos, con arriostramiento suficiente para restringir la deformación lateral del ala y la torsión de toda la sección transversal en los puntos de arriostramiento.

Ala esbelta (“Slender flange”): para una sección compuesta en flexión negativa o una sección no compuesta, es un ala sujeta a compresión discretamente arriostrada con una esbeltez igual o mayor a aquella cuya resistencia nominal a flexión se rige por el pandeo local elástico del ala, garantizando que los requisitos de arriostramiento lateral son suficientemente satisfechos.

Ala no compacta (“Noncompact flange”): para una sección compuesta en flexión negativa o una sección no compuesta, es un ala sujeta a compresión discretamente arriostrada con una esbeltez igual o menor al límite por el cual la fluencia localizada dentro de la sección transversal de la barra asociada con un alma híbrida, esfuerzos residuales y/o monosimetría de la sección transversal, tiene un efecto estadísticamente significativo sobre la resistencia nominal a la flexión.

Ala no determinante (“Noncontrolling flange”): en un punto de empalme, ala opuesta al ala determinante.

Alma compacta (“Compact web”): para una sección compuesta en flexión negativa o una sección no compuesta, un alma con una esbeltez igual o menor que garantice que la sección puede alcanzar una resistencia máxima a la flexión igual al momento plástico antes que el pandeo del alma por flexión tenga una influencia estadísticamente significativa sobre la respuesta, garantizando que los requisitos de la resistencia del acero, la ductilidad, la esbeltez del ala y/o arriostramiento lateral son suficientemente satisfechos.

Alma esbelta (“Slender web”): para una sección compuesta en flexión negativa o una sección no compuesta, es un alma cuya esbeltez es igual o mayor que aquella en la cual el alma alcanza la tensión teórica de pandeo elástico por flexión antes que el ala sujeta a compresión alcance la resistencia a la fluencia.

Alma no compacta (“Noncompact web”): para una sección compuesta en flexión negativa o una sección no compuesta, es un alma que satisface los requisitos de resistencia del acero y con una esbeltez igual o menor al límite por el cual no se genera el

pandeo elástico local teórico para esfuerzos en el rango elástico, calculado de acuerdo con la teoría de vigas, menores que el límite de la resistencia nominal a flexión.

Análisis de bifurcación (“Bifurcation analysis”): análisis utilizado para determinar la carga de pandeo o de bifurcación.

Análisis de primer orden (“First-order analysis”): análisis en el que se formulan las condiciones de equilibrio sobre la estructura no deformada; es decir, el efecto de las deformaciones no se considera en la definición de las ecuaciones de equilibrio.

Análisis de segundo orden (“Second-order analysis”): análisis en el cual las condiciones de equilibrio se formulan sobre la estructura deformada; es decir, en el que se utiliza la posición deformada de la estructura para determinar las ecuaciones de equilibrio.

Análisis elástico (“Elastic analysis”): determinación de los efectos de las cargas en barras y uniones con la hipótesis de que la respuesta tensión-deformación del material es lineal y la deformación del material desaparece una vez retirada la fuerza que la produjo.

Análisis plástico (“Plastic analysis”): determinación de los efectos de las cargas (fuerzas, momentos, etc.) en barras y uniones con métodos que adoptan hipótesis de comportamiento no elástico del material (por ejemplo, método rígido-plástico), es decir, 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.

Ancho efectivo (“Effective width”): ancho reducido de una chapa o losa de hormigón el cual, suponiendo una distribución uniforme de tensiones, produce el mismo efecto sobre el comportamiento del elemento estructural que el ancho real de la chapa con su distribución de tensiones no uniforme.

Ángulo de oblicuidad (“Skew angle”): ángulo que forma el eje de un apoyo respecto de una recta normal al eje longitudinal del puente, es decir, una oblicuidad de cero grados denota un puente rectangular.

Arco atirantado (“Tied arch”): arco en el cual el empuje horizontal de la nervadura del arco es resistido por un tensor horizontal.

Arco verdadero (“True arch”): arco en el cual la componente horizontal de la fuerza, en la nervadura del arco, es resistida por una fuerza externa proporcionada por su fundación.

Área neta efectiva (“Effective net area”): área neta modificada para tener en cuenta el efecto del arrastre por cortante.

Arrastre por cortante (“Shear lag”): distribución no lineal de la tensión normal, a través de un componente, debido a las distorsiones de corte.

Arriostramiento lateral (“Lateral bracing”): reticulado colocado en un plano horizontal entre dos vigas primarias I o dos alas de una viga tipo omega invertida para mantener la geometría de la sección transversal, y proporcionar rigidez y estabilidad adicional al sistema del puente.

Arriostramiento transversal (“Sway bracing”): Arriostramiento transversal vertical entre barras de celosía.

B

Barra armada (“Built-up member”): 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.

Barra de ojo (“Eyebars”): barra traccionada de sección rectangular y extremos agrandados para permitir la unión con pernos.

Barra del sistema de arriostramiento (“Bracing member”): barra cuya función es arriostrar un elemento principal o parte del mismo, para evitar el desplazamiento lateral.

Barra primaria (“Primary member”): barra diseñada para recibir, resistir y transmitir las fuerzas internas determinadas a partir de un análisis.

Barra redundante (“Redundant member”): barra cuya falla no causa la falla del puente.

Barra secundaria (“Secondary member”): barra en el cual la tensión normalmente no se evalúa en el análisis.

Bifurcación (“Bifurcation”): fenómeno por el cual una barra o componente idealmente recto o plano sujeto a compresión puede tomar una posición deformada o mantener su forma original, o bien una barra idealmente recta sujeta a flexión se puede deformar y girar fuera de su plano o permanecer en su posición deformada en el plano.

C

Carga crítica (“Critical load”): carga bajo la cual se produce la bifurcación del equilibrio según lo determinado por un análisis teórico de estabilidad.

Carga de colapso (“Collapse load”): carga que puede soportar una barra estructural o la estructura justo antes de que la falla se manifieste.

Carga de pandeo (“Buckling load”): carga con la que una barra o componente idealmente recto solicitado a compresión toma una posición deformada.

Carga mayorada (“Factored load”): producto de la carga nominal por el factor de carga correspondiente.

Cargas de servicio (“Service loads”): cargas que se anticipa soportará la estructura bajo condiciones de uso normal.

Categoría de detalle para diseño a fatiga (“Detail category”): agrupación de componentes y detalles que tienen esencialmente la misma resistencia a la fatiga.

Chapa de nudo (“Gusset plate”): material utilizado para interconectar barras verticales, diagonales, y horizontales de un reticulado en un punto del panel.

Chapa plana (“Plate”): producto laminado plano cuyo espesor es mayor a **6 mm**.

Chapas de unión (“Tie plates”): chapas que se utilizan para conectar los diferentes componentes de una barra.

Columna compuesta (“Composite column”): barra estructural sujeta a compresión que consiste ya sea de perfiles estructurales embebidos en hormigón, o bien de un tubo de acero relleno de hormigón, diseñado para responder a las solicitaciones como una unidad.

Componente (“Component”): parte constituyente de una estructura.

Componente de arriostamiento lateral (“Lateral bracing component”): componente utilizado en forma individual o como parte de un sistema de arriostamiento lateral para evitar el pandeo de los componentes y/o para resistir cargas laterales.

Conector de corte (“Shear connector”): dispositivo mecánico que impide movimientos relativos tanto normales como paralelos a una interfaz.

Conexión (“Connection”): soldaduras o conjunto de bulones que transfieren tensiones normales y/o de corte de un elemento a otro.

Conjunto de un bulón (“Bolt assembly”): el bulón, la tuerca(s), y la arandela(s).

Criterio de fluencia de Von Mises (“Von Mises yield criterion”): teoría que establece que, bajo una combinación de tensiones, la acción inelástica en un punto comienza cuando la energía de deformación de distorsión por unidad de volumen es igual a la energía de deformación de distorsión por unidad de volumen en una barra simple traccionada hasta el límite elástico bajo un estado uniaxial de tensiones. Esta teoría también se denomina teoría de máxima energía de deformación de distorsión. De acuerdo con esta, la fluencia por corte se produce a **0,58 veces** la tensión de fluencia.

D

Deformación correspondiente al inicio del endurecimiento por deformación (“Strain-hardening strain”): para los aceros estructurales que tienen en su curva tensión-deformación una región plástica plana o casi plana, es el valor de la deformación al inicio del endurecimiento por deformación.

Deformación permanente (“Permanent deflection”): tipo de acción inelástica en la cual la deformación permanece en un componente o sistema después de que la carga se retira.

Deformación plástica (“Plastic strain”): diferencia entre la deformación total y la deformación elástica.

Diafragma (“Diaphragm”): elemento transversal macizo, orientado verticalmente, que conecta componentes longitudinales adyacentes sujetos a flexión, o dentro de una sección

tipo cajón cerrado o tipo omega invertida, para transferir y distribuir las cargas verticales y laterales y para proporcionar estabilidad a las alas sujetas a compresión.

Barras de celosía “enrejado” (“Lacing”): chapas o barras para conectar componentes de un miembro.

Distancia de los bulones al borde (“Edge distance of bolts”): distancia perpendicular o a lo largo de la línea de fuerza entre el centro de un agujero y el borde del componente.

Distancia de los bulones al borde de la chapa en una u otra dirección (“Edge distance of bolts of the sheet in one direction or another”): distancia a lo largo de la línea de fuerza entre el centro de un agujero y el borde del componente.

Distancia entre ejes de bulones (“Axis distance of bolts”): distancia entre ejes de agujeros de bulones adyacentes, en cualquier dirección.

Distancia libre de los bulones al extremo (“Clear end distance of bolts”): distancia entre el borde de un agujero de bulón y el extremo del elemento.

Distancia libre entre bulones (“Clear distance of bolts”): distancia entre bordes de agujeros de bulones adyacentes.

Distorsión de la sección transversal (“Cross-section distortion”): cambio de la forma de la sección transversal del perfil debido a la carga torsional.

E

Efectos de las cargas (“Load effect”): momento, corte, fuerza axial o torsión inducidos en una barra por las cargas aplicadas a la estructura.

Eje fuerte (“Major axis”): eje baricéntrico respecto al cual el momento de inercia es máximo; también llamado eje principal mayor.

Eje fuerte (“Strong-axis”): eje baricéntrico respecto al cual el momento de inercia es máximo.

Elástico (“Elastic”): respuesta estructural en la cual la tensión es directamente proporcional a la deformación por unidad de longitud y no hay deformación permanente una vez retirada la carga.

Elasto-plástico (“Elastic-perfectly plastic (elastic-plastic”): curva ideal de tensión-deformación del material que varía linealmente desde el punto de deformación cero y tensión cero hasta el punto de fluencia del material, y luego con el valor de tensión de fluencia aumenta la deformación sin ningún nuevo incremento de tensión.

Elemento no rigidizado (“Unstiffened element”): elemento plano sujeto a compresión con un elemento contiguo fuera de su plano a lo largo de uno de sus bordes paralelo a la dirección de la carga.

Elemento rigidizado (“Stiffened element”): elemento plano sujeto a compresión con elementos contiguos fuera de su plano a lo largo de ambos bordes paralelos a la dirección de la carga.

Empalme (“Splice”): grupo de uniones abulonadas o soldadas, suficiente para transferir las sollicitaciones entre dos elementos estructurales unidos en sus extremos para formar un único elemento de mayor longitud.

Encofrados dejados en el lugar (“Stay-in-place formwork”): encofrados, metálicos o de hormigón prefabricado, que continúan en su sitio después de finalizada la construcción.

Endurecimiento por deformación (“Strain hardening”): 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.

Ensayo Charpy con entalladura en V (“Charpy V-notch test”): ensayo de impacto de acuerdo con AASHTO T 243M/T 243 (ASTM A673/A673M), hasta tanto se desarrolle un documento específico al respecto.

Esfuerzo flexor lateral (“Lateral bending stress”): tensión normal generada por la flexión lateral del ala.

Estado límite (“Limit state”): condición en la que un componente o estructura se vuelve no apto para el servicio y se considera ya sea que no cumple su función prevista o bien que es inseguro. Los límites de funcionalidad estructural incluyen la rotura frágil, colapso plástico, deformación excesiva, durabilidad, fatiga, inestabilidad, y capacidad de servicio.

Estribo (“Abutment”): apoyo del extremo de la superestructura de un puente.

F

Factor de forma (“Shape factor”): relación entre el momento plástico y el momento de fluencia, o relación entre el módulo resistente plástico y el módulo resistente elástico de una sección.

Factor de longitud efectiva (“Effective length factor”): relación entre la longitud efectiva y la longitud no arriostrada de la barra medida entre los centros de gravedad de las barras del sistema de arriostramiento que lo producen.

Fatiga (“Fatigue”): inicio y/o propagación de fisuras debido a una variación repetida de la tensión normal que tiene una componente de tracción.

Fatiga inducida por carga (“Load-induced fatigue”): efectos de la fatiga, debidos a esfuerzos en el plano, para los cuales los componentes y detalles se diseñan explícitamente.

Fatiga inducida por distorsión (“Distortion-induced fatigue”): efectos de fatiga debido a tensiones secundarias que normalmente no se cuantifican en el análisis ni en el diseño típico de un puente.

Flexión biaxial (“Biaxial bending”): flexión simultánea de una barra o componente sobre dos ejes perpendiculares.

Flexión lateral del ala (“Flange lateral bending”): flexión de un ala alrededor del eje perpendicular a la chapa del ala debida a cargas laterales aplicadas en el ala y/o torsión no uniforme en la barra.

Flexión produce doble curvatura (“Reverse curvature bending”): condición de flexión en la que los momentos extremos de una barra producen una deformada en la misma en forma de **S**.

Flexión produce simple curvatura (“Single curvature bending”): forma deformada de una barra en el que el centro de curvatura se encuentra del mismo lado de la barra en la totalidad de la longitud no arriostrada.

Flujo de corte (“Shear flow”): fuerza de corte por unidad de ancho que actúa paralela al borde de una chapa.

Fuerza (“Force”): resultante de la distribución de tensiones sobre un área determinada. Término genérico que significa cargas axiales, momentos flexores, torsiones, y cortes.

G

Gramil (“Gage of bolts”): distancia entre líneas de bulones adyacentes; distancia desde la parte posterior de un ángulo simple u otro perfil a la primera línea de bulones.

I

Inestabilidad (“Instability”): condición alcanzada en el proceso de carga de un componente o estructura en la que la deformación continua da como resultado una disminución de la capacidad resistente a la carga.

Ingeniero (“Engineer”): ingeniero estructural matriculado, responsable por el diseño del puente o por supervisar la construcción del puente.

J

Junta (“Joint”): área donde se unen dos o más extremos, superficies, o bordes. Se clasifica de acuerdo con el tipo utilizado de medio de unión y el método de transferencia de fuerza.

L

Lámina o chapa delgada (“Sheet”): producto laminado plano, no estructural, cuyo espesor está comprendido entre **0,15** y **6 mm**.

Longitud compacta no arriostrada (“Compact unbraced length”): para una sección compuesta en flexión negativa o una sección no compuesta, longitud límite sin arriostrar de un ala sujeta a compresión discretamente arriostrada igual o menor que aquella con la que se puede alcanzar la máxima resistencia potencial a la flexión antes que el pandeo lateral torsional tenga una influencia estadísticamente significativa sobre la respuesta, garantizando que los requisitos de esbeltez del ala son suficientes para desarrollar la máxima resistencia potencial a la flexión.

Longitud efectiva (“Effective length”): longitud equivalente **KL** utilizada en las fórmulas de compresión.

Longitud no arriostrada (“Unbraced length”): distancia entre puntos de arriostramiento que resisten el modo de pandeo o distorsión en consideración; generalmente, la distancia entre los puntos del panel o las ubicaciones de las riostras.

Longitud no arriostrada esbelta (“Slender unbraced length”): para una sección compuesta en flexión negativa o una sección no compuesta, es la longitud límite sin arriostrar de un ala sujeta a compresión discretamente arriostrada igual o mayor a aquella cuya resistencia nominal a flexión se rige por el pandeo lateral torsional elástico.

Longitud no arriostrada no compacta (“Noncompact unbraced length”): para una sección compuesta en flexión negativa o una sección no compuesta, longitud límite sin arriostrar de un ala sujeta a compresión discretamente arriostrada igual o menor al límite en el cual el inicio de fluencia en cualquiera de las alas de la sección transversal en consideración por los efectos de la tensión residual en el ala comprimida tiene un efecto estadísticamente significativo sobre la resistencia nominal a flexión.

Losa (“Slab”): tablero compuesto de hormigón y armadura de acero.

M

Marco transversal (“Cross-frame”): reticulado transversal que conecta componentes longitudinales adyacentes sujetos a flexión, o dentro de una sección tipo omega invertida o cajón cerrado utilizado para transferir y distribuir las cargas verticales y laterales y para proporcionar estabilidad de las alas sujetas a compresión. A veces es sinónimo del término diafragma.

Medio de unión (“Fastener”): término genérico para soldaduras, bulones, remaches, u otro elemento que transmite fuerzas en una unión.

Miembro o componente de fractura crítica (“Fracture-critical member (FCM”): componente en tracción cuya falla generará el colapso del puente o su incapacidad para cumplir su función.

Momento de fluencia (“Yield moment”): en una barra sujeta a flexión, el momento para el cual la fibra más alejada del eje neutro alcanza la tensión de fluencia.

Momento de redistribución (“Redistribution moment”): momento interno generado por la plastificación de un componente de tramo continuo sujeto a flexión y mantenido en equilibrio por las reacciones externas.

Momento plástico (“Plastic moment”): momento resistente de la sección transversal cuando la misma está totalmente plastificada.

N

Nivel (“Level”): parte de un pórtico rígido que incluye una barra horizontal y todas las columnas entre esa barra y la base del pórtico o la siguiente barra horizontal inferior.

Nivel de tensión del punto de fluencia (“Yield-stress level”): tensión promedio durante la fluencia en el rango plástico, tensión determinada en un ensayo a tracción cuando la deformación unitaria alcanza **0,005 mm por mm**.

P

Pandeo flexional (“Flexural buckling”): modo de pandeo en el que una barra sujeta a compresión se deforma lateralmente sin torsionarse ni cambiar la forma de su sección transversal.

Pandeo flexotorsional (“Flexural-torsional buckling”): modo de pandeo en el que una barra sujeta a compresión se deforma lateralmente y se torsiona, de manera simultánea, sin cambiar la forma de su sección transversal.

Pandeo lateral-torsional (“Lateral-torsional buckling”): forma de pandeo de un componente que implica deformación y giro.

Pandeo local (“Local buckling”): pandeo de una chapa en compresión.

Pandeo localizado del alma (“Web crippling”): falla local de la chapa del alma en la zona cercana al punto de aplicación de una carga concentrada, o reacción de un apoyo, debida a la compresión transversal inducida por esta carga.

Pandeo torsional (“Torsional buckling”): modo de pandeo en el que una barra comprimida gira alrededor de su centro de corte.

Panel extremo (“End panel”): panel o campo extremo de un reticulado o viga primaria.

Panel interior (“Interior panel”): panel o campo interior de un reticulado o viga primaria.

Paso (“Pitch”): distancia entre centros de agujeros de bulones o conectores de corte adyacentes, en la dirección de la fuerza.

Pila (“Pier”): columna o grupo de columnas conectadas u otra configuración diseñada para ser un soporte interior de la superestructura del puente.

Plastificación (“Plastification”): proceso de fluencia sucesiva de las fibras en la sección transversal de una barra al ir aumentando el momento flexor.

Pórtico extremo (“Portal frames”): marco o pórtico extremo del puente con armadura transversal en celosía o tipo Vierendeel para proporcionar estabilidad y resistir las cargas sísmicas o de viento.

Pórtico rígido (“Rigid frame”): estructura en la que las uniones mantienen la relación angular, entre las barras de vigas y de columnas, bajo carga.

Puente de reticulado con tablero inferior (“Through-truss spans”): sistema de reticulado en el que la calzada está situada cerca del cordón inferior y donde se provee un sistema de restricción lateral para el cordón superior.

Puente de reticulado con tablero intermedio (“Half through-truss spans”): sistema de reticulado en el que la calzada está situada en algún lugar entre los cordones superior e inferior. Se excluye el uso de un sistema lateral superior.

Puente de reticulado con tablero superior (“Deck truss”): sistema de reticulado en el que la calzada está en o por encima del nivel del cordón superior del reticulado.

Puente de vigas con tablero inferior (“Through-girder spans”): sistema de vigas primarias en el que la calzada está situada por debajo del ala superior.

R

Rango de tensiones (“Stress range”): diferencia algebraica entre las tensiones extremas resultantes del paso de una carga.

Recorrido de carga (“Load path”): sucesión de componentes y juntas a través de las cuales una carga se transmite desde su origen hasta su destino.

Redistribución de momentos (“Redistribution of moments”): proceso que resulta de la formación de deformaciones inelásticas en estructuras continuas.

Redistribución inelástica (“Inelastic redistribution”): redistribución de los efectos de las fuerzas internas en un componente o estructura, generados por deformaciones inelásticas en una o más secciones.

Redundancia (“Redundancy”): característica que le permite a un puente seguir realizando su función aun estando dañado.

Relación de aspecto (“Aspect ratio”): en cualquier configuración rectangular, es la relación entre las longitudes de los lados.

Relación de esbeltez (“Slenderness ratio”): relación entre la longitud efectiva de una barra y el radio de giro de su sección transversal, ambos parámetros tomados respecto al mismo eje de flexión; o también puede ser el ancho o altura, total o parcial, de un componente dividido por su espesor.

Relación de esbeltez del alma (“Web slenderness ratio”): altura del alma, medida entre las alas, dividida por el espesor del alma.

Requisitos de impacto para el ensayo Charpy con probetas en V (“Charpy V-notch impact requirements”): energía mínima requerida que debe ser absorbida en un ensayo Charpy sobre una probeta con entalladura en V realizado a una temperatura especificada.

Resistencia a la fatiga (“Fatigue resistance”): máximo rango de tensión que puede soportar un detalle sin fallar, para un número determinado de ciclos.

Resistencia a tracción (“Tensile strength”): máximo esfuerzo a tracción que puede resistir un material.

Resistencia al pandeo por corte (“Shear-buckling resistance”): carga máxima que puede soportar una chapa de alma sin presentar pandeo teórico debido al corte.

Resistencia al pandeo por flexión (“Bend-buckling resistance”): carga máxima que puede soportar una chapa de alma sin presentar pandeo local elástico teórico debido a la flexión.

Resistencia post pandeo (“Post-buckling resistance”): carga que puede soportar una barra o componente después del pandeo.

Rigidez (“Stiffness”): resistencia a la deformación de una barra o estructura medida por la relación entre la fuerza aplicada y el desplazamiento correspondiente.

Rigidizador (“Stiffener”): miembro estructural, de perfil o chapa, unido a una chapa o alma de una viga, con el fin de distribuir la carga, transferir el corte, o para evitar el pandeo del miembro al que está unido.

Rótula plástica (“Plastic hinge”): zona plastificada que se forma en la barra cuando se alcanza el momento plástico y la sección transversal tiene capacidad para seguir rotando. Se supone que la barra gira alrededor de la rótula, actuando dentro de la misma la capacidad de momento plástico.

Rotura del bloque de corte (“Block shear rupture”): falla de la unión abulonada en el alma de las vigas recortadas, o de cualquier otra unión a tracción, debido al arrancamiento de una parte de la chapa a lo largo del perímetro de los bulones de conexión.

S

Sección abierta (“Open section”): barra en flexión que tiene una sección transversal con ninguna celda cerrada. Una barra de sección abierta resiste la torsión principalmente por torsión no uniforme, lo que genera tensiones normales en los extremos de las alas.

Sección compacta (“Compact section”): sección compuesta en flexión positiva que satisface los requisitos específicos de resistencia del acero, esbeltez del alma y ductilidad, de manera que sea capaz de desarrollar una resistencia nominal superior al momento de primera fluencia, pero sin exceder el momento plástico.

Sección de elemento esbelto (“Slender element section”): sección transversal de un miembro comprimido, compuesta de chapas con una esbeltez por la cual se producirá el pandeo local en el rango elástico.

Sección de elemento no esbelto (“Nonslender element section”): sección transversal de un miembro comprimido, compuesta de chapas con una esbeltez por la cual se pueda desarrollar su resistencia nominal completa a la fluencia antes del inicio del pandeo local.

Sección en cajón cerrado (“Closed-box section”): barra en flexión que tiene una sección transversal compuesta por dos almas verticales o inclinadas, y que tiene al menos una celda completamente cerrada. Una barra de sección cerrada es eficiente para resistir la torsión aplicada debido a que se desarrolla el flujo de corte en las almas y las alas.

Sección estructural hueca (“HSS”): sección estructural hueca de acero cuadrada, rectangular o circular producida de acuerdo con una especificación de productos tubulares.

Sección fisurada (“Cracked section”): sección compuesta en la cual se supone que el hormigón no toma esfuerzos de tracción.

Sección híbrida (“Hybrid section”): sección de acero fabricada con un alma que tiene una tensión especificada mínima de fluencia inferior a una o ambas alas.

Sección no compacta (“Noncompact section”): sección compuesta en flexión positiva por la cual no se permite que la resistencia nominal exceda el momento de primera fluencia.

Sección no compuesta (“Noncomposite section”): la no composición estructural entre el acero y el hormigón, como por ejemplo, viga de acero donde el tablero no está conectado a la sección de acero por medio de conectores de corte.

Sección tipo artesa (“Trough-type box section”): sección en forma de **U** que no tiene un ala superior común.

Sección tipo omega invertida (“Tub section”): viga primaria de acero con la parte superior abierta que se compone de una chapa de ala inferior, dos chapas de alma verticales o inclinadas, y un ala superior independiente unida al extremo superior de cada alma. Las alas superiores están conectadas con los miembros del arriostramiento lateral.

Sistema de tablero (“Deck system”): superestructura en la cual el tablero está integrado con sus componentes de apoyo, o en la cual los efectos de la deformación de los componentes de apoyo tienen una influencia significativa sobre el comportamiento del tablero.

Soldadura cargada longitudinalmente (“Longitudinally loaded weld”): soldadura con un esfuerzo aplicado de forma paralela al eje longitudinal de la misma.

Soldadura cargada transversalmente (“Transversely loaded weld”): soldadura en la cual se aplica un esfuerzo de forma perpendicular a su eje longitudinal.

Subpanel (“Subpanel”): panel de alma rigidizado dividido por uno o más rigidizadores longitudinales.

T

Tablero (“Deck”): componente, con o sin superficie de rodamiento, que soporta las cargas de rueda en forma directa y es soportado por otros componentes.

Tablero ortótropo (“Orthotropic deck”): tablero hecho de una chapa de acero rigidizada con nervios de acero, abiertos o cerrados, soldados a la parte inferior de la chapa.

Talón del filete (“Toe of the fillet”): punto donde termina una soldadura de filete o el chaflán de una sección laminada.

Tenacidad a la fractura (“Fracture toughness”): medida de la capacidad de un material o elemento estructural para absorber energía sin fractura. Se determina, generalmente, mediante el ensayo Charpy con entalla en V.

Tensión de corte torsional (“Torsional shear stress”): tensión de corte inducida por la torsión de St. Venant.

Tensión de fluencia (“Yield strength”): tensión en la cual un material exhibe una desviación límite especificada a partir de la proporcionalidad entre tensión y deformación.

Tensión de redistribución (“Redistribution stress”): tensión normal por flexión resultante del momento de redistribución.

Tensión neta de tracción (“Net tensile stress”): suma algebraica de dos o más tensiones en los cuales la resultante es de tracción.

Tensión por alabeo (“Warping stress”): tensión normal inducida en la sección transversal por la torsión por alabeo y/o por la distorsión de la sección transversal.

Tensión residual (“Residual stress”): tensiones que quedan en una barra o componente sin carga, después de que se ha formado en un producto terminado, como resultado del plegado en frío, y/o del enfriamiento después del laminado o del proceso de soldado.

Tensiones en el espesor (“Through-thickness stress”): esfuerzo de flexión, en el alma o ala de la viga cajón, inducida por la distorsión de la sección transversal.

Torsión de St. Venant (“St. Venant torsion”): parte de la torsión resistente interna de una barra que solamente produce tensiones de corte puro en una sección transversal, también conocida como torsión pura o torsión uniforme.

Torsión no uniforme (“Nonuniform torsion”): resistencia interna a torsión en secciones de pared delgada, también conocida como torsión por alabeo, que produce tensiones tangenciales y normales, bajo las cuales las secciones transversales no permanecen

planas. Las barras que desarrollan torsión no uniforme resisten la torsión aplicada externamente por medio de torsión por alabeo y torsión de St. Venant. Cada uno de estos componentes de resistencia interna a torsión varía a lo largo de la longitud de la barra, aunque la torsión concentrada aplicada externamente sea uniforme a lo largo de la barra entre dos puntos adyacentes de restricción torsional. La torsión por alabeo es determinante sobre la torsión de St. Venant en barras que tienen secciones transversales abiertas, mientras que la torsión de St. Venant es determinante sobre la torsión por alabeo en barras que tienen secciones transversales cerradas.

Torsión por alabeo (“Warping torsion”): parte de la resistencia total a la torsión en una barra en el que se producen tensiones tangenciales y normales, y que es provista por la resistencia al alabeo fuera del plano de la sección transversal.

U

Umbral de fatiga de amplitud constante (“Constant amplitude fatigue threshold”): rango nominal de tensiones por debajo del cual un detalle particular puede soportar un número infinito de repeticiones sin que se presente falla por fatiga.

V

Vida de diseño por fatiga (“Fatigue design life”): número de años que se espera que un detalle resista las cargas supuestas de tránsito sin fisuración por fatiga. Este Reglamento supone una vida de diseño por fatiga de **75 años**.

Vida útil por fatiga (“Fatigue life”): número de ciclos repetitivos de tensión que producen la falla por fatiga de un detalle.

Vida útil por fatiga finita (“Finite fatigue life”): número de ciclos hasta la falla de un detalle cuando el rango máximo de tensión probable excede el umbral de fatiga de amplitud constante.

Vida útil por fatiga requerida (“Required fatigue life”): producto del tránsito medio diario de camiones en un único carril, el número de ciclos por el paso de camiones, y la vida de diseño en días.

Viga (“Beam”): miembro estructural cuya función principal es transmitir las cargas, principalmente por flexión y corte. Generalmente, este término se utiliza para componente de viga de tablero o largueros secundarios. Suelen ser de secciones armadas o perfiles laminados.

Viga primaria (“Girder”): componente estructural cuya función principal o primaria es resistir las cargas de flexión y corte, y transmitir las al apoyo. Generalmente, este término se utiliza para vigas principales del puente que suelen ser secciones armadas reticuladas o de alma llena.

Viga compuesta (“Composite beam”): viga de acero conectada a un tablero de manera que respondan a las solicitaciones como una unidad.

Viga primaria compuesta (“Composite girder”): miembro de acero sujeto a flexión conectado a una losa de hormigón de modo que el elemento de acero y la losa de hormigón, o la armadura longitudinal dentro de la losa, respondan a las solicitaciones como una unidad.

Viga primaria curvada (“Curved girder”): viga de sección I, cajón cerrado, o tipo omega invertida, que tiene curvatura en un plano horizontal.

Viga-columna (“Beam-column”): barra estructural, cuya función principal es la de resistir tanto las cargas axiales como los momentos flexores.

6.3. SIMBOLOGÍA

- A** constante asociada a la categoría de detalle para el diseño a fatiga; área comprendida por los ejes de las chapas de una barra tipo cajón, en mm^2 ; área bruta total de la sección transversal de la barra, en mm^2 , (6.6.1.2.5) (6.9.4.2.2) (6.12.2.2.2).
- A_b** área de apoyo proyectada sobre una chapa con perno; área de la sección transversal de un bulón (6.8.7.2) (6.13.2.7), en mm^2 .
- A_{bot}** área del ala inferior (6.10.10.1.2), en mm^2 .
- A_c** área de hormigón; área del tablero de hormigón (6.9.5.1) (D6.3.2), en mm^2 .
- A_d** área mínima requerida de sección transversal de una barra diagonal del arriostramiento lateral superior para secciones tipo omega invertida (C 6.7.5.3), en mm^2 .
- A_{eff}** suma de las áreas efectivas de la sección transversal, calculadas en base a un ancho efectivo de la sección transversal para cada elemento rígido esbelto = $\sum(b - b_e)t$ (6.9.4.2.2), en mm^2 .
- ADTT** promedio diario de camiones durante el período de diseño (6.6.1.2.5).
- ADTT_{SL}** ADTT en un único carril (6.6.1.2.5).
- A_e** área efectiva neta; área efectiva del ala (6.6.1.2.3) (6.13.6.1.4c), en mm^2 .
- A_f** área del ala inferior inclinada; área del ala de una sección tipo cajón, incluyendo los rigidizadores longitudinales del ala; sumatoria del área de rellenos en la parte superior e inferior de una chapa de unión; área del ala que transmite una carga concentrada (C 6.10.1.4) (C 6.11.11.2) (6.13.6.1.5) (6.13.7.2), en mm^2 .
- A_m** suma del área del ala y el área de cualquier chapa de cubierta sobre el lado del eje neutro correspondiente a **D_n** en una sección híbrida (6.10.1.10.1), en mm^2 .

- A_g** área bruta de una barra; área de la sección transversal bruta de una barra; área bruta del ala traccionada; área bruta de la sección en base al espesor de la pared de diseño (6.6.1.2.3) (6.8.2.1) (6.9.4.1.1) (6.9.4.1.3) (6.10.1.8) (6.12.1.2.3c) (6.13.6.1.4c), en mm².
- A_n** área neta de la sección transversal de una barra traccionada; área neta de un ala (6.6.1.2.3) (6.8.2.1) (6.10.1.8), en mm².
- A_o** área cerrada dentro de una sección tipo cajón (C 6.7.4.3) (6.11.8.2.2), en mm².
- A_p** menor valor entre el área de la placa conectada y la sumatoria del área de las platabandas en la parte superior e inferior de la placa conectada (6.13.6.1.5), en mm².
- A_{pn}** área de los elementos de un rigidizador que sobresalen más allá de las soldaduras entre el alma y un ala, pero no más allá del borde del ala (6.10.11.2.3), en mm².
- A_r** área de la armadura longitudinal (6.9.5.1), en mm².
- A_{rb}** área de la capa inferior de armadura longitudinal dentro del ancho efectivo del tablero de hormigón (D6.1), en mm².
- A_{rs}** área total de armadura longitudinal dentro del ancho efectivo del tablero de hormigón (D6.3.2), en mm².
- A_{rt}** área de la capa superior de armadura longitudinal dentro del ancho efectivo del tablero de hormigón (D6.1), en mm².
- A_s** área de un perfil de acero estructural; área total de armadura longitudinal sobre el apoyo interior dentro del ancho efectivo del tablero de hormigón; área bruta de una chapa de empalme; área del tablero de hormigón (6.10.10.3) (6.13.6.1.4c) (D6.3.2), en mm².
- A_{sc}** área de la sección transversal de un conector de corte tipo stud (6.10.10.4.3), en mm².
- A_t** área del ala traccionada (D6.3.2), en mm².
- A_{tn}** área neta a lo largo del plano de corte que soporta la tensión de tracción en el bloque de corte (6.13.4), en mm².
- A_v** área de la sección transversal de la armadura transversal que intercepta una fisura por corte diagonal en un perfil revestido de hormigón (6.12.3.1), en mm².
- A_{vg}** área bruta a lo largo del plano de corte que soporta la tensión tangencial en el bloque de corte; área bruta del elemento de conexión sujeto a corte (6.13.4) (6.13.5.3), en mm².
- A_{vn}** área neta a lo largo del plano de corte que soporta la tensión tangencial en el bloque de corte; área neta del elemento de conexión sujeto a corte (6.13.4) (6.13.5.3), en mm².
- A_w** área del alma de una sección de acero (6.12.2.3.1), en mm².

- a** distancia entre los conectores; distancia entre centros de las alas de cajones adyacentes en una sección de múltiples cajones; separación longitudinal de los rigidizadores transversales del ala; distancia desde el centro de un bulón al borde de una chapa sujeta a una fuerza de tracción debida a la acción de palanca (6.11.2.3) (C 6.11.11.2) (6.13.2.10.4), en mm.
- a_{wc}** relación de **dos veces** el área del alma en compresión con respecto al área del ala en compresión (6.10.1.10.2).
- B** ancho exterior de una sección estructural hueca rectangular (HSS) perpendicular al plano de la chapa(s) de nudo (6.8.2.2), en mm.
- b** ancho de una chapa rectangular; ancho del cuerpo de una barra de ojo; ancho del ala más ancha; distancia desde el borde de una chapa o el borde de una perforación hasta el punto de apoyo o la distancia entre apoyos; distancia libre entre chapas; menor valor entre d_o y D ; ancho de un tubo rectangular; espesor total de la sección transversal compuesta de un perfil de acero revestido de hormigón en el plano de pandeo; distancia desde el centro de un bulón hasta el talón del chaflán de una parte conectada; distancia entre la punta del ala y el eje central del alma (C 6.7.4.3) (6.7.6.3) (6.7.7.2) (6.10.11.1.3) (6.12.2.2.2) (6.12.2.2.5) (6.12.2.3.1) (6.13.2.10.4) (6.14.4.2), en mm.
- b_1, b_2** anchos del ala individual (C 6.9.4.1.3), en mm.
- b_c** ancho total del ala sujeta a compresión (D6.1), en mm.
- b_f** ancho total del ala; para secciones en I, ancho total del ala más ancha dentro de la sección considerada; para secciones tipo omega invertida, ancho total del ala superior más ancha dentro de la sección considerada; para secciones tipo cajón cerrado, no se aplica el límite de $b_f / 4$ (C 6.7.4.2) (6.10.11.1.2) (6.12.2.2.4) (6.12.2.2.5), en mm.
- b_{fc}** ancho total del ala sujeta a compresión; ancho del ala entre las almas, de una sección tipo cajón, sujeta a compresión; ancho libre del ala entre las almas, sujeta a compresión, menos el radio de esquina interior de cada lado (6.10.1.10.2) (6.11.8.2.2) (6.12.2.2.2), en mm.
- b_{ft}** ancho total del ala sujeta a tracción; ancho del ala entre las almas, de una sección tipo cajón, sujeta a tracción (C 6.10.9.1) (6.11.9), en mm.
- b_e** ancho saliente de un rigidizador longitudinal; longitud del lado más largo de un perfil ángulo de lados desiguales (6.9.4.4) (6.10.11.1.3), en mm.
- b_s** ancho efectivo del tablero de hormigón (6.10.1.10.2), en mm.
- b_s** longitud del lado más corto de un perfil ángulo de lados desiguales (6.9.4.4), en mm.
- b_t** ancho saliente de un rigidizador transversal o de apoyo; ancho total del ala sujeta a tracción (6.10.11.1.2) (D6.1), en mm.

- C** relación entre la resistencia al pandeo por corte y la tensión de fluencia mínima especificada por corte (6.10.9.2).
- C_b** modificador del gradiente de momentos (6.10.1.6) (6.12.2.2.5) (6.12.2.2.7).
- C_w** constante de torsión por alabeo (6.9.4.1.3) (6.12.2.2.5), en mm⁶.
- C₁, C₂, C₃** constantes para columnas compuestas, especificadas en la Tabla 6.9.5.1-1 (6.9.5.1).
- c** distancia desde el centro de la armadura longitudinal a la cara más próxima de un perfil revestido de hormigón, medida en el plano de flexión (6.12.2.3.1), en mm.
- c_{rb}** distancia entre la cara superior del tablero de hormigón y el eje de la capa inferior de armadura longitudinal del tablero de hormigón (D6.1), en mm.
- c_{rt}** distancia entre la cara superior del tablero de hormigón y el eje de la capa superior de armadura longitudinal del tablero de hormigón (D6.1), en mm.
- D** diámetro de un perno; distancia libre entre alas; diámetro exterior de una sección estructural hueca (HSS) de forma circular; diámetro exterior de un tubo circular de acero; diámetro exterior del tubo; altura del alma; altura de la chapa del alma medida a lo largo de la pendiente; distancia libre entre alas menos el radio de esquina interior de cada lado (6.7.6.2.1) (6.7.7.2) (6.8.2.2) (6.9.4.2) (6.9.4.2.1) (6.10.1.9.1) (6.11.9) (6.12.1.2.3c) (6.12.2.2.2) (6.12.2.2.3) (6.12.2.2.5), en mm.
- D´** distancia a la cual una sección compuesta alcanza su capacidad teórica de momento plástico cuando la deformación máxima en el tablero de hormigón corresponde a su deformación teórica de aplastamiento (C 6.10.7.3), en mm.
- D_c** altura del alma comprimida en el rango elástico (6.10.1.9.1), en mm.
- DC1** carga permanente que actúa sobre la sección no compuesta (C 6.10.11.3.1).
- DC2** carga permanente que actúa sobre la sección compuesta a largo plazo (C 6.10.11.3.1).
- D_{cp}** altura del alma comprimida cuando se produce el momento plástico (6.10.6.2.2), en mm.
- D_n** mayor valor entre la distancia desde el eje neutro elástico de la sección transversal hasta la cara interna de cualquiera de las alas en una sección híbrida, o la distancia desde el eje neutro hasta la cara interna del ala del lado del eje neutro donde primero ocurre la fluencia cuando el eje neutro está en la mitad de la altura del alma (6.10.1.10.1), en mm.
- D_p** distancia entre la parte superior del tablero de hormigón al eje neutro de la sección compuesta cuando se produce el momento plástico (6.10.7.1.2), en mm.
- D_t** altura total de la sección compuesta (6.10.7.1.2), en mm.
- DW** carga de la superficie de rodamiento (C 6.10.11.3.1).

- d** altura total de la sección de acero; diámetro de un conector de corte tipo stud; altura de la barra en el plano de flexión; altura de la barra en el plano de corte; diámetro nominal de un bulón; altura total de la sección; altura de la barra rectangular (C6.10.8.2.3) (6.10.10.2) (6.12.2.2.4) (6.12.2.2.7) (6.12.2.3.1) (6.12.3.1) (6.13.2.4.2), en mm.
- d_b** altura de una viga en un pórtico rígido (6.13.7.2), en mm.
- d_c** altura de la sección transversal de columna en un pórtico rígido; distancia entre el eje neutro plástico y la mitad del espesor del ala sujeta a compresión, utilizada para calcular el momento plástico (6.13.7.2) (D6.1), en mm.
- d_o** separación entre rigidizadores transversales; el menor de los anchos de paneles adyacentes del alma (6.10.9.3.2) (6.10.11.1.3), en mm.
- d_{rb}** distancia entre el eje neutro plástico y la línea central de la capa inferior de la armadura longitudinal del tablero de hormigón, utilizada para calcular el momento plástico (D6.1), en mm.
- d_{rt}** distancia entre el eje neutro plástico y la línea central de la capa superior de la armadura longitudinal del tablero de hormigón, utilizada para calcular el momento plástico (D6.1), en mm.
- d_s** distancia entre la línea central del rigidizador longitudinal tipo chapa más cercano, o línea de bulones del rigidizador longitudinal tipo perfil ángulo más cercano, y la superficie interior o el lado del perfil ángulo correspondiente al ala comprimida; distancia entre el eje neutro plástico y la mitad del espesor del tablero de hormigón, utilizada para calcular el momento plástico (6.10.1.9.2) (D6.1), en mm.
- d_t** distancia entre el eje neutro plástico y la mitad del espesor del ala traccionada, utilizada para calcular el momento plástico (D6.1), en mm.
- d_w** distancia entre el eje neutro plástico y la mitad de la altura del alma, utilizada para calcular el momento plástico (D6.1), en mm.
- E** módulo de elasticidad del acero (6.7.7.3), en MPa.
- E_c** módulo de elasticidad del hormigón (6.10.1.1.1b), en MPa.
- E_e** módulo de elasticidad modificado del acero para una columna compuesta (6.9.5.1), en MPa.
- EXX** número de clasificación para el metal de soldadura (C 6.13.3.2.1).
- F_{cf}** tensión de diseño para el ala determinante en un punto de empalme (C 6.13.6.1.4b), en MPa.
- FCM** miembro de fractura crítica (FCM, "fracture-critical member") (6.6.2).
- F_{cb}** resistencia nominal al pandeo por compresión axial del ala (6.11.8.2.2).
- F_{cr}** tensión crítica de pandeo para chapas; tensión de pandeo lateral torsional elástico; resistencia al pandeo por corte; tensión de pandeo local elástico (C 6.9.4.2)

(6.10.1.6) (6.12.1.2.3c) (6.12.2.2.3) (6.12.2.2.5), en MPa.

- F_{crs}** tensión de pandeo local para el rigidizador (6.10.11.1.3), en MPa.
- F_{crw}** resistencia nominal al pandeo por flexión del alma (6.10.1.9.1), en MPa.
- F_{cv}** resistencia nominal al pandeo por corte del ala (6.11.8.2.2), en MPa.
- F_e** resistencia nominal a la compresión de barras compuestas (6.9.5.1), en MPa.
- F_{exx}** clasificación de la resistencia del metal de soldadura (6.13.3.2.2b), en MPa.
- F_{fat}** rango de corte por fatiga radial por unidad de longitud, tomado como el mayor valor entre F_{fat1} y F_{fat2} (6.10.10.1.2), en N/mm.
- F_{fat1}** rango de corte por fatiga radial por unidad de longitud debido al efecto de cualquier curvatura entre puntos de arriostramiento (6.10.10.1.2), en N/mm.
- F_{fat2}** rango de corte por fatiga radial por unidad de longitud debido a la torsión generada por efectos distintos al de la curvatura, tal como la oblicuidad (6.10.10.1.2), en N/mm.
- F_ℓ** fuerza lateral uniformemente distribuida estáticamente equivalente debido a las cargas mayoradas de los apoyos del voladizo del tablero de hormigón (C 6.10.3.4), en N/mm.
- FLB** pandeo local del ala (FLB, “flange local buckling”) (C 6.10.8.2.1) (C A6.3.1) (C D6.4.1) (C D6.4.2).
- $F_{m\acute{a}x}$** máxima resistencia potencial a la flexión del ala comprimida (C 6.10.8.2.1), en MPa.
- F_n** resistencia nominal a la flexión de un ala (C 6.10.8.2.1), en MPa.
- F_{nc}** resistencia nominal a la flexión de un ala comprimida (C 6.8.2.3), en MPa.
- $F_{nc(FLB)}$** resistencia nominal al pandeo local por flexión del ala comprimida (C D6.4.1), en MPa.
- F_{nt}** resistencia nominal a la flexión de un ala traccionada (C 6.8.2.3), en MPa.
- F_p** fuerza radial total en el tablero de hormigón en el punto de máxima sobrecarga positiva más el momento de impacto, para el diseño de los conectores de corte en el estado límite de resistencia, tomado igual a cero para tramos o dovelas rectos (6.10.10.4.2), en N.
- F_{rc}** rango neto de fuerza del marco transversal en el ala superior (6.10.10.1.2), en N.
- F_s** fuerza vertical en la unión entre un rigidizador de ala longitudinal y transversal, en N; tensión de diseño, correspondiente al estado límite de servicio II, en un punto de empalme en el ala considerada, en MPa, (C 6.11.11.2) (6.13.6.1.4c).

- F_T fuerza radial total en el tablero de hormigón entre el punto de máxima sobrecarga positiva más el momento de impacto y la línea central de un apoyo interior adyacente, para el diseño de los conectores de corte en el estado límite de resistencia, tomado igual a cero para tramos o dovelas rectos (6.10.10.4.2), en N.
- F_u resistencia mínima especificada a tracción del acero; resistencia mínima especificada a tracción de un conector de corte tipo stud; resistencia mínima especificada a tracción de una parte conectada; resistencia a tracción del elemento de unión (6.4.1) (6.10.10.4.3) (6.13.2.9) (6.13.5.3), en MPa.
- F_{ub} resistencia mínima especificada a tracción de un bulón (6.13.2.7), en MPa.
- F_{vr} resistencia al corte torsional mayorado de un ala de una sección tipo cajón (6.11.1.1), en MPa.
- F_w fuerza vertical en la unión entre un rigidizador transversal del ala y el alma de una sección tipo cajón (C 6.11.11.2), en N.
- F_y tensión de fluencia mínima especificada del acero; tensión de fluencia mínima especificada de un perno; tensión de fluencia mínima especificada de una chapa con perno; tensión de fluencia mínima especificada de una parte conectada; tensión de fluencia mínima especificada de una chapa de empalme; tensión de fluencia mínima especificada (6.4.1) (6.7.6.2.1) (6.8.7.2) (6.9.4.1.1) (6.12.2.2.4) (6.12.2.2.5) (6.12.2.2.7) (6.13.4) (6.13.6.1.4c), en MPa.
- F_{yc} tensión de fluencia mínima especificada de un ala comprimida (C 6.8.2.3), en MPa.
- F_{yf} tensión de fluencia mínima especificada de un ala (6.7.7.3), en MPa.
- F_{yr} tensión del ala comprimida cuando se inicia la fluencia nominal dentro de la sección transversal, incluidos los efectos de la tensión residual pero sin incluir la flexión lateral del ala comprimida, tomada como el menor valor entre $0,7 \cdot F_{yc}$ y F_{yw} , pero no menor que $0,5 \cdot F_{yc}$; menor valor entre la tensión del ala comprimida cuando se inicia la fluencia nominal, teniendo en cuenta los efectos de la tensión residual, y la tensión de fluencia mínima especificada del alma (6.10.8.2.2) (6.11.8.2.2), en MPa.
- F_{yrb} tensión de fluencia mínima especificada de la capa inferior de la armadura longitudinal del tablero de hormigón (D6.1), en MPa.
- F_{yrs} tensión de fluencia mínima especificada de la armadura longitudinal del tablero de hormigón (D6.3.2), en MPa.
- F_{yrt} tensión de fluencia mínima especificada de la capa superior de la armadura longitudinal del tablero de hormigón (D6.1), en MPa.
- F_{ys} tensión de fluencia mínima especificada de un rigidizador (6.10.11.1.2) (6.10.11.1.3), en MPa.
- F_{yt} tensión de fluencia mínima especificada de un ala traccionada (C 6.8.2.3), en MPa.
- F_{yw} tensión de fluencia mínima especificada del alma (6.7.7.2), en MPa.

- f rango de tensión axial o de interacción en varios componentes de un tablero ortótropo; flujo de corte en una sección tipo cajón, en N/mm; $Q_s \cdot F_y$ (6.6.1.2.3) (C 6.11.1.1) (6.9.4.2.2), en MPa.
- f_0 tensión debida a las cargas mayoradas sin tener en cuenta la flexión lateral del ala en un punto de arriostamiento opuesto al punto correspondiente a f_2 , calculada a partir del valor de la envolvente de momentos que produce la mayor compresión en este punto en el ala considerada, o la menor tracción si este punto nunca está comprimido; se considera positivo para tensiones de compresión y negativo para tracción (6.10.8.2.3), en MPa.
- f_1 rango de tensión axial en varios componentes de un tablero ortótropo; tensión en el extremo de una longitud no arriestrada opuesto a f_2 que representa la intercepción de la supuesta distribución de tensión lineal más crítica a través de ya sea f_2 o f_{mid} , o bien a través de f_2 o f_0 , tomada como $2 \cdot f_{mid} - f_2 \geq f_0$ (C 6.6.1.2.3) (6.10.8.2.3), en MPa.
- f_2 rango de tensión de flexión local en varios componentes de un tablero ortótropo generado por la interacción de los nervios y vigas de piso; mayor tensión de compresión debido a las cargas mayoradas sin considerar la flexión lateral en cualquiera de los extremos de una longitud no arriestrada calculada a partir del valor crítico de la envolvente de momentos; el valor de f_2 es siempre positivo a menos que la tensión en ambos extremos de la longitud no arriestrada sea nula o de tracción, en cuyo caso f_2 se toma igual a cero (C 6.6.1.2.3) (6.10.8.2.3), en MPa.
- f_a tensión axial debido a las cargas mayoradas en un arco de alma llena (6.14.4.2), en MPa.
- f_b tensión máxima debido a las cargas mayoradas, incluyendo la amplificación de momentos, en un arco de alma llena (6.14.4.2), en MPa.
- f_{bu} mayor valor de la tensión de compresión a lo largo de la longitud no arriestrada en el ala en consideración, calculada sin tener en cuenta la flexión lateral del ala (6.10.1.6), en MPa.
- f_{by} tensión en el ala de una sección tipo cajón en una pila interior debido a las cargas mayoradas generadas por la flexión en el eje fuerte del diafragma interno sobre la placa de asiento (C 6.11.8.1.1), en MPa.
- f_c tensión de compresión en el ala, debida a las cargas correspondientes a la combinación de cargas para el estado límite de servicio II, calculada sin considerar la flexión lateral del ala; sumatoria de las diferentes tensiones de flexión en el ala sujeta a compresión generadas por las diferentes cargas, es decir, **DC1**, **DC2**, **DW** y **LL+IM**, que actúan sobre sus secciones respectivas; tensión en el ala sujeta a compresión en la sección considerada (6.10.4.2.2) (6.12.2.2.2) (D6.3.1), en MPa.
- f'_c resistencia mínima especificada a la compresión del hormigón a los **28 días** (6.9.5.1) (6.10.4.2.1), en MPa.
- f_{cf} máxima tensión de flexión debida a las cargas mayoradas en la mitad del espesor del ala determinante en un punto de empalme (6.13.6.1.4c), en MPa.

- f_d tensión de corte en el ala de una sección tipo cajón en una pila interior generada por el corte vertical del diafragma interno debido a las cargas mayoradas (C 6.11.8.1.1), en MPa.
- f_{DC1} tensión en el ala sujeta a compresión generada por la carga permanente mayorada aplicada antes de que el tablero de hormigón haya endurecido o se haya vuelto compuesto, calculada sin considerar la flexión lateral del ala (6.10.1.10.2), en MPa.
- f_{DC2} tensión en el ala sujeta a compresión generada por la carga permanente mayorada que actúa sobre la sección compuesta a largo plazo, calculada sin considerar la flexión lateral del ala (C 6.10.11.3.1), en MPa.
- f_f tensión en el ala, debida a las cargas correspondientes a la combinación de cargas para el estado límite de servicio II, calculada sin tener en cuenta la flexión lateral del ala (6.10.4.2.2), en MPa.
- f_ℓ tensión de flexión lateral del ala; tensión de flexión lateral de segundo orden en el ala sujeta a compresión; tensión de flexión lateral del ala, debida a las cargas correspondientes a la combinación de cargas para el estado límite de servicio II; tensión de flexión lateral en el ala considerada en una sección de la pila interior (6.10.1.6) (6.10.4.2.2) (B6.4.2.1), en MPa.
- f_{ℓ_1} tensión de flexión lateral de primer orden del ala sujeta a compresión en una sección, o la máxima tensión de flexión lateral de primer orden en el ala sujeta a compresión a lo largo de la longitud no arriostrada, según corresponda (6.10.1.6), en MPa.
- f_{LL+IM} tensión del ala sujeta a compresión generada por la sobrecarga vehicular mayorada más el impacto que actúan sobre la sección compuesta a corto plazo, calculada sin considerar la flexión lateral del ala (C 6.10.11.3.1), en MPa.
- f_{mid} tensión debida a las cargas mayoradas, sin tener en cuenta la flexión lateral del ala, en la mitad de la longitud no arriostrada del ala en consideración, calculada a partir del valor de la envolvente de momentos que produce la mayor compresión en este punto, o la menor tracción si este punto nunca está comprimido; se considera positivo para tensiones de compresión y negativo para tracción (6.10.8.2.3), en MPa.
- f_n tensión normal en el ala inferior inclinada de una barra de altura de alma variable; el mayor de las tensiones de fluencia mínimas especificadas de cada componente incluido en el cálculo de A_m para una sección híbrida cuando se produce la primer fluencia en uno de los componentes, o el mayor de las tensiones elásticas en cada componente sobre el lado del eje neutro correspondiente a D_n cuando se produce la primer fluencia sobre el lado opuesto del eje neutro (C 6.10.1.4) (6.10.1.10.1), en MPa.
- f_{ncf} tensión de flexión debida a las cargas mayoradas en la mitad del espesor del ala no determinante en un punto de empalme concurrente con f_{cf} (C 6.13.6.1.4b), en MPa.
- f_{os} tensión de flexión, debida a las cargas correspondientes a la combinación de cargas para el estado límite de servicio II, en la mitad del espesor de la otra ala en

un punto de empalme concurrente con f_s , en el ala en consideración (C 6.13.6.1.4b), en MPa.

- f_r módulo de rotura del hormigón (6.10.1.7) (6.10.4.2.1), en MPa.
- f_s tensión de flexión debida a las cargas mayoradas en un rigidizador de alma longitudinal; mayor valor de las tensiones longitudinales debidas a las cargas mayoradas en los paneles del ala de una sección tipo cajón en cualquiera de los lados de un rigidizador de ala transversal; máxima tensión de flexión, debida a las cargas correspondientes a la combinación de cargas para el estado límite de servicio II, en la mitad del espesor del ala en consideración en un punto de empalme (6.10.11.3.1) (C 6.11.11.2) (C 6.13.6.1.4b), en MPa.
- f_{sr} rango de tensión de flexión en la armadura longitudinal sobre una pila interior (6.10.10.3), en MPa.
- f_t tensión debida a las cargas mayoradas en el área bruta de un ala sujeta a tracción calculada sin considerar la flexión lateral del ala; sumatoria de las diferentes tensiones de flexión en el ala sujeta a tracción generadas por las diferentes cargas, es decir, **DC1**, **DC2**, **DW** y **LL+IM**, que actúan sobre sus secciones respectivas (6.10.1.8) (D6.3.1), en MPa.
- f_v tensión de corte por torsión de St. Venant en el ala de una sección tipo cajón debida a las cargas mayoradas; tensión de corte por torsión de St. Venant en el ala debida a las cargas mayoradas en la sección considerada (6.11.3.2) (6.11.8.2.2), en MPa.
- f_{xx} diversas tensiones de flexión en el ala sujeta a compresión generadas por las diferentes cargas mayoradas, es decir, **DC1**, **DC2**, **DW** y **LL+IM**, que actúan sobre sus secciones respectivas (C 6.10.11.3.1), en MPa.
- G** módulo de corte del acero; módulo de elasticidad al corte para el acero = **0,385·E** (6.9.4.1.3) (C 6.12.2.2.2) (6.12.2.2.4), en MPa.
- g** distancia entre líneas de bulones; paso horizontal de los bulones en un empalme de alma (6.8.3) (C 6.13.6.1.4b), en mm.
- H** altura total del miembro HSS rectangular, medido en el plano de la conexión (6.8.2.2), en mm.
- H_{uw} fuerza horizontal de diseño resultante en la mitad de la altura del alma en un punto de empalme (C 6.13.6.1.4b), en N.
- h** distancia entre baricentros de los perfiles componentes individuales perpendiculares al eje de pandeo de la barra; distancia entre ejes de las alas; distancia entre baricentros de las alas (6.9.4.3.1) (C 6.9.4.1.3) (C 6.10.8.2.3), en mm.
- h_o distancia entre baricentros de las alas (6.12.2.2.5), en mm.
- I** momento de inercia de la sección compuesta a corto plazo, u opcionalmente en regiones de flexión negativa de vigas primarias rectas solamente, el momento de inercia de la sección de acero más la armadura longitudinal si el hormigón no se

considera efectivo en tracción para calcular el rango de tensión longitudinal; momento de inercia del diafragma interno efectivo de la pila interior dentro de una sección tipo cajón (6.10.10.1.2) (C 6.11.8.1.1), en mm^4 .

- I_e momento de inercia de un rigidizador de alma longitudinal, que incluye un ancho efectivo de alma, tomado respecto del eje neutro de la sección combinada; momento de inercia requerido de un rigidizador de ala longitudinal respecto de un eje paralelo al ala de una sección tipo cajón y tomado en la base del rigidizador (6.10.11.1.3) (6.11.11.2), en mm^4 .
- I_p momento de inercia polar de un grupo de bulones en un empalme de alma (C 6.13.6.1.4b), en mm^2 .
- I_s momento de inercia real de un rigidizador de ala longitudinal respecto de un eje paralelo al ala de una sección tipo cajón y tomado en la base del rigidizador; momento de inercia de un rigidizador de nervadura de arco (6.11.8.2.3) (6.14.4.2), en mm^4 .
- I_t momento de inercia de un rigidizador de alma transversal respecto del borde en contacto con el alma para el caso de rigidizadores individuales y respecto del espesor medio del alma en el caso de pares de rigidizadores; momento de inercia de un rigidizador de ala transversal respecto de un eje que pasa por su baricentro y es paralelo a su borde inferior (6.10.11.1.3) (C 6.11.11.2), en mm^4 .
- I_x momento de inercia respecto del eje principal fuerte de la sección transversal (6.9.4.1.3), en mm^4 .
- I_y momento de inercia de una barra de sección tipo cajón respecto de un eje perpendicular al eje de flexión; momento de inercia respecto del eje principal débil de la sección transversal; momento de inercia respecto al eje **y** (6.9.4.1.3) (6.12.2.2.2) (6.12.2.2.4) (6.12.2.2.5), en mm^4 .
- I_{yc} momento de inercia del ala sujeta a compresión de una sección de acero respecto del eje vertical en el plano del alma (6.10.2.2), en mm^4 .
- I_{yt} momento de inercia del ala sujeta a tracción de una sección de acero respecto del eje vertical en el plano del alma (6.10.2.2), en mm^4 .
- IM** incremento por carga dinámica, ver el artículo 3.6.2.
- J** constante de torsión de St. Venant, en mm^4 ; parámetro de rigidez a la flexión del rigidizador (C 6.7.4.3) (6.9.4.1.3) (6.10.11.1.3) (6.12.2.2.4) (6.12.2.2.5).
- K** factor de longitud efectiva; factor de longitud efectiva en el plano de pandeo determinado como se especifica en el artículo 4.6.2.5 (6.9.3) (6.9.4.1.2).
- K_h** factor que considera el tamaño de orificio en las uniones abulonadas (6.13.2.8).
- K_s** factor que considera la condición de superficie en las uniones abulonadas (6.13.2.8).
- K_xℓ_x** longitud efectiva para el pandeo por flexión alrededor del eje **x** (6.9.4.1.3), en mm.

$K_y \ell_y$	longitud efectiva para el pandeo por flexión alrededor del eje y (6.9.4.1.3), en mm.
$K_z \ell_z$	longitud efectiva para el pandeo por torsión (6.9.4.1.3), en mm.
$K \ell / r$	relación de esbeltez (6.9.3).
k	coeficiente de pandeo de la chapa especificado en la Tabla 6.9.4.2.1-1; coeficiente de pandeo elástico por flexión del alma; coeficiente de pandeo por corte para almas; coeficiente de pandeo de chapa para tensión normal uniforme en alas de una sección tipo cajón; distancia desde la cara externa del ala hasta el talón del chaflán del alma de una barra de pórtico rígido a ser rigidizada, en mm; coeficiente de pandeo de chapa para tensión normal uniforme; distancia desde la cara externa del ala que resiste una carga concentrada, o una reacción de apoyo, hasta el talón del chaflán del alma, en mm, (6.9.4.2.1) (6.9.4.3.2) (6.10.1.9.1) (6.10.9.3.2) (6.11.8.2.2) (6.13.7.2) (6.14.4.2) (D6.5.2).
k_c	coeficiente de pandeo local del ala (6.9.4.2.1).
k_s	coeficiente de pandeo de chapa para tensión de corte (6.11.8.2.2).
k_{sf}	coeficiente de pandeo elástico por flexión del alma para condiciones de borde longitudinal totalmente restringido (C 6.10.1.9.1).
k_{ss}	coeficiente de pandeo elástico por flexión del alma para condiciones de borde longitudinal simplemente apoyadas (C 6.10.1.9.1).
L	longitud efectiva del tramo para determinar la contraflecha adicional para compensar la posible pérdida de contraflecha en una viga primaria curvada por calor; longitud máxima de las soldaduras longitudinales de la unión o distancia entre los bulones extremos de la unión paralela a la línea de fuerza; longitud de una parte de viga primaria para su despacho; distancia desde un único bulón hasta el borde libre de la barra medida de forma paralela a la línea de fuerza aplicada (6.6.1.2.3) (6.7.7.3) (6.8.2.2) (C 6.10.3.4) (C 6.13.2.9), en mm.
L_b	longitud no arriostrada; longitud no arriostrada para el desplazamiento lateral o giro, según corresponda (6.7.4.2) (6.12.2.2.4) (6.12.2.2.5) (6.12.2.2.7), en mm.
L_c	longitud de un conector de corte tipo canal; distancia libre entre los orificios de bulones o entre el orificio del bulón y el extremo de la barra en dirección de la fuerza de apoyo aplicada (6.10.10.4.3) (6.13.2.9), en mm.
L_{cp}	longitud de una platabanda (6.10.12.1), en mm.
LFD	diseño por factores de carga (LFD, "load factor design").
LL	sobrecarga vehicular.
L_n	longitud de arco entre el punto de máximo momento positivo de sobrecarga más el impacto y el eje de un apoyo interior adyacente (6.10.10.4.2), en mm.
L_p	longitud no arriostrada límite para alcanzar la resistencia nominal a la flexión de $R_b R_h F_{yc}$ bajo flexión uniforme; longitud de arco entre un extremo de la viga primaria y el punto adyacente de máximo momento positivo debido a la sobrecarga

más impacto; longitud no arriostrada límite para alcanzar la resistencia nominal a la flexión M_p bajo flexión uniforme (6.10.1.6) (6.10.10.4.2) (6.12.2.2.5), en mm.

- L_r** longitud no arriostrada límite para alcanzar el inicio de fluencia nominal en cualquiera de las alas bajo flexión uniforme teniendo en cuenta los efectos de la tensión residual en el ala sujeta a compresión (6.7.4.2) (6.12.2.2.5), en mm.
- LRFD** diseño por factores de carga y resistencia (LRFD, “load and resistance factor design”).
- LTB** pandeo lateral torsional (LTB, “lateral torsional buckling”) (C 6.10.8.2.1) (C 6.10.8.2.3) (C A6.3.1) (C A6.3.3) (C D6.4.1) (C D6.4.2).
- L_v** distancia entre puntos de corte máximo y nulo (6.12.1.2.3c), en mm.
- ℓ** longitud no arriostrada de la barra; longitud no arriostrada en el plano de pandeo; distancia entre los puntos de trabajo de las juntas medida a lo largo de la longitud del ángulo (6.8.4) (6.9.4.1.2) (6.9.4.4), en mm.
- M** momento flexor alrededor del eje fuerte de la sección transversal (C 6.10.1.4), en Nmm.
- M_0** momento flexor debido a las cargas mayoradas en un punto arriostrado opuesto al correspondiente a M_2 , calculado a partir del valor de la envolvente de momentos que produce la mayor compresión en este punto en el ala considerada, o la menor tracción si este punto nunca está comprimido; en el ala en consideración cuando el momento genera compresión se considera positivo y negativo cuando genera tracción (A6.3.3), en Nmm.
- M_1** momento flexor en el extremo de una longitud no arriostrada opuesto a M_2 que representa la intercepción de la supuesta distribución de tensión lineal más crítica a través de ya sea M_2 o M_{mid} , o bien a través de M_2 o M_0 , tomado como $2 \cdot M_{mid} - M_2 \geq M_0$; momento flexor alrededor del eje fuerte de la sección transversal en el punto de arriostamiento con el menor momento debido a las cargas mayoradas adyacente a una sección de pila interior a partir de la cual se redistribuyen los momentos, tomado ya sea como el valor máximo o mínimo de la envolvente de momentos, cualquiera sea el valor que produzca la menor longitud no arriostrada admisible (A6.3.3) (B6.2.4), en Nmm.
- M_2** mayor momento flexor alrededor del eje fuerte debido a las cargas mayoradas en cualquiera de los extremos de una longitud no arriostrada que genera compresión en el ala considerada, calculado a partir del valor crítico de la envolvente de momentos; el valor de M_2 siempre se considera positivo a menos que el momento sea nulo o genere tracción en el ala considerada en ambos extremos de la longitud no arriostrada, en cuyo caso M_2 se toma igual a cero; momento flexor alrededor del eje fuerte de la sección transversal en el punto de arriostamiento con el mayor momento debido a las cargas mayoradas adyacente a una sección de pila interior a partir de la cual se redistribuyen los momentos, tomado como el valor crítico de la envolvente de momentos. (A6.3.3) (B6.2.4), en Nmm.
- M_{AD}** momento flexor adicional que se debe aplicar a la sección compuesta a corto plazo para generar la fluencia nominal en cualquiera de las alas de acero (D6.2.2), en Nmm.

- M_c momento de la columna debido a las cargas mayoradas en un pórtico rígido (6.13.7.2), en Nmm.
- M_{cr} momento de pandeo lateral torsional elástico (C 6.12.2.2.2), en Nmm.
- M_{D1} momento flexor generado por la carga permanente mayorada aplicada antes de que el tablero de hormigón haya endurecido o se haya vuelto compuesto (D6.2.2), en Nmm.
- M_{D2} momento flexor generado por la carga permanente mayorada aplicada a la sección compuesta a largo plazo (D6.2.2), en Nmm.
- M_e valor crítico de la envolvente de momentos elásticos debido a las cargas mayoradas en una sección de pila interior a partir de la cual se redistribuyen los momentos (B6.3.3.1), en Nmm.
- M_{fb} momento aplicado, debido a las cargas mayoradas, en una viga transversal que soporta un tablero ortótropo (6.14.3.4), en Nmm.
- M_{ft} momento transversal, debido a las cargas mayoradas aplicadas en una placa de tablero ortótropo, como resultado de que la placa transmite las cargas de rueda a los nervios longitudinales adyacentes (6.14.3.4), en Nmm.
- M_ℓ momento de flexión lateral en las alas debido a las cargas excéntricas de los apoyos en voladizo del tablero de hormigón (C 6.10.3.4), en Nmm.
- $M_{m\acute{a}x}$ máxima resistencia potencial a la flexión en base al ala comprimida (C 6.10.8.2.1), en Nmm.
- M_{mid} momento flexor respecto del eje fuerte, debido a las cargas mayoradas en la mitad de la longitud no arriostrada, calculado a partir del valor de la envolvente de momentos que produce la mayor compresión en este punto en el ala considerada, o la menor tracción si este punto nunca está comprimido; en el ala en consideración cuando el momento genera compresión se considera positivo y negativo cuando genera tracción (A6.3.3), en Nmm.
- M_n resistencia nominal a la flexión de una sección (6.10.7.1.1), en Nmm.
- M_{nc} resistencia nominal a la flexión en base al ala comprimida (C 6.8.2.3), en Nmm.
- $M_{nc(FLB)}$ resistencia nominal a la flexión en base al pandeo local del ala comprimida (C D6.4.2), en Nmm.
- M_{nt} resistencia nominal a la flexión en base al ala traccionada (C 6.8.2.3), en Nmm.
- M_p momento plástico (6.10.7.1.2) (6.12.2.2.2) (6.12.2.2.3) (6.12.2.2.4) (6.12.2.2.5) (6.12.2.2.7), en Nmm.
- M_{pe} momento plástico efectivo en flexión negativa, en las secciones de una pila interior a partir de la cual se redistribuyen los momentos (B6.3.3.1), en Nmm.

- M_{ps}** resistencia al momento plástico de la sección de acero de una barra revestida de hormigón (6.12.2.3.1), en Nmm.
- M_r** resistencia minorada a la flexión (6.12.1.2.1), en Nmm.
- M_{rb}** resistencia minorada a la flexión de una viga transversal que soporta un tablero ortótropo (6.14.3.4), en Nmm.
- M_{rd}** momento de redistribución (B6.3.3.1), en Nmm.
- M_{rt}** resistencia minorada a la flexión de una placa de tablero ortótropo que transmite las cargas de rueda a los nervios adyacentes (6.14.3.4), en Nmm.
- M_{rx}** resistencia minorada a la flexión respecto del eje **x** tomada igual a ϕ_f veces la resistencia nominal a la flexión respecto del eje **x** determinada como se especifica en el artículo 6.10, 6.11 o 6.12, según corresponda (6.9.4.2.1), en Nmm.
- M_{ry}** resistencia minorada a la flexión respecto del eje **y** tomada igual a ϕ_f veces la resistencia nominal a la flexión respecto del eje **y** determinada como se especifica en el artículo 6.12, según corresponda (6.9.4.2.1), en Nmm.
- M_{rx}, M_{ry}** resistencia minorada a la flexión respecto de los ejes **x** e **y**, respectivamente (6.8.2.3), en Nmm.
- M_u** momento debido a las cargas mayoradas; mayor valor del momento flexor respecto del eje fuerte a lo largo de la longitud no arriostrada que genera compresión en el ala considerada (6.7.6.2.1) (6.10.1.6), en Nmm.
- M_{uw}** momento de diseño en la mitad de la altura del alma en un punto de empalme (C 6.13.6.1.4b), en Nmm.
- M_{ux}, M_{uy}** momentos flexores debidos a las cargas mayoradas respecto de los ejes **x** e **y**, respectivamente (6.8.2.3) (6.9.4.2.1), en Nmm.
- M_y** momento de fluencia; momento de fluencia basado en la distancia al extremo del alma (6.10.7.1.2) (6.12.2.2.4) (6.12.2.2.7), en Nmm.
- M_{yc}** momento de fluencia con respecto al ala comprimida; momento de fluencia de la sección compuesta de un perfil revestido de hormigón (C 6.8.2.3) (6.12.2.3.1), en Nmm.
- M_{yt}** momento de fluencia con respecto al ala traccionada (C 6.8.2.3), en Nmm.
- m** número de filas verticales de bulones en un empalme de alma (C 6.13.6.1.4b).
- N** número de ciclos del rango de tensión; longitud de apoyo, tomada mayor o igual a **k** en los apoyos ubicados en los extremos, en mm, (6.6.1.2.5) (D6.5.2).
- NDT** ensayos no destructivos (NDT, “Nondestructive testing”), (6.6.1.2.3).
- N_s** número de planos de corte por bulón; número de planos de deslizamiento por bulón (6.13.2.7) (6.13.2.8).

- n** número de ciclos por paso de camión; relación de módulos; número de conectores de corte en una sección transversal; número mínimo de conectores de corte sobre la región en consideración; número de rigidizadores longitudinales del ala igualmente separados; número de bulones en una fila vertical de un empalme de alma (6.6.1.2.5) (6.9.5.1) (6.10.10.1.2) (6.10.10.4.1) (6.11.8.2.3) (C 6.13.6.1.4b).
- n_{ac}** número de conectores adicionales de corte necesarios en las regiones de puntos de contraflecha por carga permanente para secciones que no son compuestas en regiones de flexión negativa (6.10.10.3).
- P** fuerza total de corte nominal en el tablero de hormigón para el diseño de los conectores de corte en el estado límite de resistencia (6.10.10.4.1), en N.
- P_{1n}** fuerza longitudinal en la viga primaria sobre un apoyo interior para el diseño de los conectores de corte en el estado límite de resistencia (6.10.10.4.2), en N.
- P_{1p}** fuerza longitudinal en el tablero de hormigón en el punto de máximo momento positivo, por sobrecarga más el impacto, para el diseño de los conectores de corte en el estado límite de resistencia (6.10.10.4.2), en N.
- P_{2n}** fuerza longitudinal en el tablero de hormigón sobre un apoyo interior para el diseño de los conectores de corte en el estado límite de resistencia (6.10.10.4.2), en N.
- P_{2p}** fuerza longitudinal en la viga primaria en el punto de máximo momento positivo, por sobrecarga más el impacto, para el diseño de los conectores de corte en el estado límite de resistencia (6.10.10.4.2), en N.
- P_c** fuerza plástica en el ala comprimida utilizada para calcular el momento plástico (D6.1), en N.
- P_e** resistencia al pandeo crítico elástico determinada según se especifica en el artículo 6.9.4.1.2 para el pandeo por flexión, y de acuerdo con el artículo 6.9.4.1.3 para el pandeo por torsión o pandeo flexotorsional, según corresponda (6.9.4.1.1), en N.
- P_h** componente horizontal de la fuerza del ala aplicada en el ala inferior inclinada de una barra con altura de alma variable (C 6.10.1.4), en N.
- P_ℓ** fuerza lateral concentrada estáticamente equivalente de los apoyos del voladizo del tablero de hormigón colocada en la mitad de la longitud no arriostrada (C 6.10.3.4), en N.
- P_n** resistencia nominal al aplastamiento en chapas con pernos; resistencia nominal a la compresión axial; fuerza longitudinal total en el tablero de hormigón sobre un apoyo interior para el diseño de los conectores de corte en el estado límite de resistencia, tomada como el menor valor entre **P_{1n}** y **P_{2n}** (6.8.7.2) (6.9.2.1) (6.10.10.4.2), en N.
- P_{ny}** resistencia nominal a la tracción axial por fluencia en la sección bruta (6.8.2.1), en N.
- P_o** resistencia de fluencia nominal equivalente = **$Q \cdot F_y \cdot A_g$** (6.9.4.1.1), en N.

- P_p** fuerza longitudinal total en el tablero de hormigón en el punto de máximo momento positivo, por sobrecarga más el impacto, para el diseño de los conectores de corte en el estado límite de resistencia, tomada como el menor valor entre P_{1p} y P_{2p} (6.10.10.4.2), en N.
- P_r** resistencia minorada a tracción o compresión axial; resistencia minorada al aplastamiento en chapas con pernos; resistencia axial minorada de los rigidizadores de apoyo; resistencia nominal a la flexión de un tablero ortótropo, considerando el ancho efectivo del tablero; resistencia minorada a la compresión axial de un pilote de acero; resistencia minorada a la compresión determinada como se especifica en el artículo 6.9.2.1 (6.8.2.1) (6.8.7.2) (6.9.2.2) (6.9.4.2.1) (6.9.4.3.2) (6.10.11.2.4a) (6.15.3.1), en N.
- P_{rb}** fuerza plástica en la capa inferior de la armadura longitudinal del tablero utilizada para calcular el momento plástico (D6.1), en N.
- P_{rt}** fuerza plástica en la capa superior de la armadura longitudinal del tablero utilizada para calcular el momento plástico (D6.1), en N.
- P_s** fuerza plástica de compresión en el tablero de hormigón utilizada para calcular el momento plástico (D6.1), en N.
- P_T** fuerza longitudinal total en el tablero de hormigón entre el punto de máximo momento positivo, por la sobrecarga más el impacto, y el eje de un apoyo interior adyacente para el diseño de los conectores de corte en el estado límite de resistencia, tomada como la suma de P_p y P_n (6.10.10.4.2), en N.
- P_t** tracción mínima requerida del bulón; fuerza plástica en el ala traccionada utilizada para calcular el momento plástico (6.13.2.8) (D6.1), en N.
- P_u** fuerza axial aplicada debida a las cargas mayoradas; tracción directa o fuerza de corte que actúa sobre un bulón debido a las cargas mayoradas; tracción global debida a las cargas mayoradas que actúan sobre un tablero ortótropo; efecto de la fuerza de compresión axial resultante de las cargas mayoradas (6.8.2.3) (6.9.4.2.1) (6.13.2.10.4) (6.13.2.11), en N.
- P_v** componente vertical de la fuerza del ala aplicada en el ala inferior inclinada de una barra con altura de alma variable (C 6.10.1.4), en N.
- P_w** fuerza plástica en el alma utilizada para calcular el momento plástico (D6.1), en N.
- p** paso de los conectores de corte a lo largo del eje longitudinal; paso alternado entre dos líneas adyacentes de agujeros de bulones en tresbolillo (6.10.10.1.2) (6.13.2.6.3), en mm.
- Q** primer momento del área transformada a corto plazo del tablero de hormigón respecto del eje neutro de la sección compuesta a corto plazo, u opcionalmente en regiones de flexión negativa de vigas primarias rectas solamente, el primer momento de la armadura longitudinal respecto del eje neutro de la sección compuesta si al calcular el rango de tensión longitudinal el hormigón no se considera efectivo para resistir tracción, en mm^3 ; primer momento de la mitad del área efectiva del ala de la sección tipo cajón en una pila interior respecto del eje neutro de la sección efectiva del diafragma interno, en mm^3 ; factor de reducción

del elemento esbelto determinado según lo especificado en el artículo 6.9.4.2. Q será igual a **1,0** para rigidizadores de apoyo (6.9.4.1.1) (6.10.10.1.2) (C 6.11.8.1.1).

- Q_n resistencia nominal al corte de un conector de corte individual (6.10.10.4.1), en N.
- Q_r resistencia minorada al corte de un conector de corte individual (6.10.10.4.1), en N.
- Q_u tracción debida a la acción de palanca en cada bulón debido a las cargas mayoradas (6.13.2.10.4), en N.
- R radio de transición de los accesorios soldados como se indica en la Tabla 6.6.1.2.3-1, en mm; radio mínimo de la viga primaria dentro de un panel, en mm; radio de curvatura, en mm; factor de reducción aplicado a la resistencia minorada al corte de los bulones que pasan a través de rellenos (6.6.1.2.3) (6.7.4.2) (6.7.7.2) (6.13.6.1.5).
- R_1 constante que cuando se multiplica por $\sqrt{(k E / F_{yc})}$ define la relación de esbeltez para el ala de una sección tipo cajón igual a **0,6 veces** la esbeltez del ala en el cual la tensión de pandeo elástico del ala es igual a la resistencia de fluencia bajo la acción combinada de esfuerzos normal y de corte (6.11.8.2. 2).
- R_2 constante que cuando se multiplica por $\sqrt{(k E / F_{yc})}$ define la relación de esbeltez para el ala de una sección tipo cajón igual a la esbeltez del ala en el cual la tensión de pandeo elástico del ala es igual a F_{yr} (6.11.8.2.2).
- R_b factor de balanceo de las cargas del alma (6.10.1.6) (6.10.1.10.2) (6.11.8.2.2).
- R_{cf} valor absoluto de la relación entre F_{cf}/f_{cf} en un punto de empalme (C 6.13.6.1.4b).
- R_h factor de híbridez (6.10.1.10.1) (6.11.8.2.2).
- R_n resistencia nominal de un bulón, unión o material conectado, en N o MPa; resistencia nominal a una carga concentrada, en N, (6.13.2.2) (D6.5.2).
- R_p factor de reducción para orificios, igual a **0,90** para agujeros de bulón punzonados completamente y **1,0** para agujeros de bulón taladrados completamente o subpunzonado y luego fresados hasta alcanzar el tamaño total (6.8.2.1) (6.13.4) (6.13.5.3).
- $(R_{pB})_n$ resistencia nominal al aplastamiento sobre pernos (6.7.6.2.2), en N.
- $(R_{pB})_r$ resistencia minorada al aplastamiento sobre pernos (6.7.6.2.2), en N.
- R_{pc} factor de plastificación del alma por el ala sujeta a compresión (A6.1.3).
- R_{pt} factor de plastificación del alma por el ala sujeta a tracción (A6.1.4).
- R_r resistencia minorada de un bulón, unión o material conectado (6.13.2.2), en N o MPa.

- $(R_{sb})_n$ resistencia nominal al aplastamiento para el extremo recortado del rigidizador de apoyo (6.10.11.2.3), en N.
- $(R_{sb})_r$ resistencia minorada al aplastamiento para el extremo recortado del rigidizador de apoyo (6.10.11.2.3), en N.
- R_u carga concentrada o reacción del apoyo mayorada (D6.5.2), en N.
- r radio mínimo de giro de una barra sujeta a tracción o compresión; radio de giro de una barra armada alrededor de un eje perpendicular a una chapa perforada; radio de giro de un rigidizador de alma longitudinal que incluye un ancho efectivo de alma tomado alrededor del eje neutro de la sección combinada (6.8.4) (6.9.4.3.2) (6.10.11.3.3), en mm.
- r_i radio mínimo de giro de un componente individual del perfil (C 6.9.4.3.1), en mm.
- r_{ib} radio de giro de un componente individual del perfil con respecto a su eje baricéntrico paralelo al eje de pandeo de la barra (6.9.4.3.1), en mm.
- r_n presión de aplastamiento nominal en los agujeros de los bulones (C 6.13.2.9), en MPa.
- r_s radio de giro de un perfil, tubo o tubería de acero estructural alrededor del plano de pandeo; radio de giro alrededor del eje normal al plano de pandeo (6.9.4.1.2), en mm.
- r_t radio efectivo de giro para el pandeo lateral torsional (6.10.8.2.3), en mm.
- r_{ts} radio de giro utilizado en la determinación de L_r (6.12.2.2.5), en mm.
- r_x radio de giro alrededor del eje geométrico del perfil ángulo paralelo al ala conectada; radio de giro alrededor del eje x (6.9.4.1.3) (6.9.4.4), en mm.
- r_y radio de giro de una sección de acero con respecto a un eje vertical en el plano del alma; radio de giro alrededor del eje y (6.9.4.1.3) (6.12.2.2.5) (C B6.2.4), en mm.
- r_{yc} radio de giro del ala sujeta a compresión con respecto a un eje vertical en el plano del alma (C 6.10.8.2.3), en mm.
- r_z radio de giro alrededor del eje principal menor del perfil ángulo (6.9.4.4), en mm.
- r_σ relación de tensión de flexión deseada en una viga I curvada horizontalmente, tomada igual a $|f_t/f_{bu}|$ (C 6.7.4.2).
- \bar{r}_o radio de giro polar alrededor del centro de corte (6.9.4.1.3), en mm.
- S módulo elástico de la sección; módulo elástico de la sección alrededor del eje de flexión (C 6.12.2.2.1) (6.12.2.2.2) (6.12.2.2.3), en mm^3 .
- S_{eff} módulo elástico efectivo de la sección alrededor del eje de flexión determinado utilizando un ancho efectivo del ala sujeto a compresión b_e (6.12.2.2.2), en mm^3 .

S_{LT}	módulo elástico de la sección compuesta a largo plazo (D6.2.2), en mm^3 .
S_{NC}	módulo elástico de la sección no compuesta (D6.2.2), en mm^3 .
S_s	módulo elástico de la sección de un rigidizador transversal del ala (C 6.11.11.2), en mm^3 .
S_{ST}	módulo elástico de la sección compuesta a corto plazo (D6.2.2), en mm^3 .
S_x	módulo elástico de la sección con el ala inferior inclinada de una barra con altura de alma variable; módulo elástico de la sección alrededor del eje x ; módulo de la sección alrededor del eje geométrico fuerte (6.12.2.2.5) (6.12.2.2.7) (C 6.10.1.4), en mm^3 .
S_{xc}	módulo elástico de la sección alrededor del eje fuerte de la sección para el ala sujeta a compresión tomado como M_{yc} / F_{yc} ; módulo elástico de la sección con respecto al ala sujeta a compresión (C 6.8.2.3) (6.12.2.2.4), en mm^3 .
S_{xt}	módulo elástico de la sección alrededor del eje fuerte de la sección para el ala sujeta a tracción tomado como M_{yt} / F_{yt} (C 6.8.2.3), en mm^3 .
S_y	módulo elástico de la sección alrededor del eje paralelo al del alma (6.12.2.2.1), en mm^3 .
s	paso de dos bulones consecutivos en una cadena alternada en tresbolillo; separación longitudinal de la armadura transversal en un perfil revestido de hormigón; separación de bulones en una sola línea o en un patrón alternado en tresbolillo adyacente a un borde libre de una chapa o perfil exterior; paso vertical de bulones en un empalme de alma (6.8.3) (6.12.3.1) (6.13.2.6.2) (C 6.13.6.1.4b), en mm.
s_t	máxima separación transversal entre conectores de corte en el ala de una sección tipo cajón compuesta (6.11.10), en mm.
T	par torsor interno en una sección tipo cajón debido a las cargas mayoradas, en Nmm; par torsor interno debido a las cargas mayoradas, en Nmm; espesor del metal base de la parte más gruesa unida mediante una conexión soldada de filete indicado en la Tabla 6.13.3.4-1, en mm, (C 6.11.1.1) (6.13.3.4).
T_n	resistencia nominal de un bulón solicitado a tracción axial o a una combinación de tracción axial y corte (6.13.2.2), en N.
T_r	resistencia minorada de un bulón solicitado a tracción axial o a una combinación de tracción axial y corte (6.13.2.2), en N.
T_u	fuerza de tracción por bulón debida a la combinación de cargas correspondiente al estado límite de servicio II (6.13.2.11), en N.
t	espesor de chapa o chapas; espesor de la pared del tubo; espesor del perfil o la chapa exterior más delgado; espesor del material conectado; espesor de la parte conectada más delgada; espesor del tubo; ancho de la barra rectangular paralelo al eje de flexión (C 6.7.4.3) (6.9.4.2.1) (6.12.1.2.3c) (6.12.2.2.3) (6.12.2.2.7) (6.13.2.6.2) (6.13.2.9) (6.13.2.10.4), en mm.

- t_b espesor del ala que transmite la fuerza concentrada en una conexión de pórtico rígido (6.13.7.2), en mm.
- t_c espesor del ala de la barra a ser rigidizada en una conexión de pórtico rígido (6.13.7.2), en mm.
- t_f espesor del ala; espesor del ala de un conector de corte tipo canal; espesor del ala que resiste una carga concentrada o una reacción de apoyo (C 6.9.4.1.3) (6.10.2.2) (6.10.10.4.3) (6.12.2.2.4) (6.12.2.2.5) (D6.5.3), en mm.
- t_{fc} espesor del ala sujeta a compresión; espesor de diseño del ala sujeta a compresión tomado igual a **0,93 veces** el espesor de la pared nominal para HSS soldado por resistencia eléctrica y tomado igual al espesor de la pared nominal para todos los demás (6.10.1.10.2) (6.12.2.2.2), en mm.
- t_{ft} espesor del ala sujeta a tracción (C 6.10.9.1), en mm.
- t_p espesor de una chapa cargada transversalmente; espesor de un elemento rigidizador saliente (6.6.1.2.5) (6.10.11.1.2), en mm.
- t_s espesor de un tablero de hormigón; espesor de un rigidizador longitudinal de alma o ala; espesor de un rigidizador de nervadura (6.10.1.10.2) (6.10.11.3.2) (6.14.4.2), en mm.
- t_w espesor del alma; espesor del alma o tubo; espesor del alma de un conector de corte tipo canal; espesor del alma a ser rigidizado en una conexión de pórtico rígido; espesor del alma de una nervadura de arco; espesor de diseño del alma tomado igual a **0,93 veces** el espesor de la pared nominal para HSS soldado por resistencia eléctrica y tomado igual al espesor de la pared nominal para todos los demás (6.7.7.2) (6.9.4.2) (6.10.10.4.3) (6.12.2.2.2) (6.12.2.2.5) (6.13.7.2) (6.14.4.2), en mm.
- U factor de reducción para tener en cuenta el arrastre por cortante en conexiones sujetas a una carga de tracción (6.6.1.2.3) (6.8.2.1).
- U_{bs} factor de reducción de resistencia a la rotura del bloque de corte tomado igual a **0,50** cuando la tensión de tracción no es uniforme y **1,0** cuando la tensión de tracción es uniforme (6.13.4).
- V fuerza de corte adicional para barras armadas con chapas perforadas; fuerza de corte vertical mayorada en el diafragma interno de la pila interior de una sección tipo cajón debido a la flexión más la torsión de St. Venant (6.9.4.3.2) (C 6.11.8.1.1), en N.
- V_{cr} resistencia al pandeo por corte (6.10.3.3), en N.
- V_f rango de fuerza de corte vertical bajo la combinación de carga de fatiga (6.10.10.1.2), en N.
- V_{fat} rango de corte por fatiga longitudinal por unidad de longitud (6.10.10.1.2), en N/mm.

V_n	resistencia nominal al corte (6.10.9.1) (6.12.1.2.3a), en N.
V_p	fuerza de corte plástico (6.10.9.2), en N.
V_r	resistencia minorada al corte (6.12.1.2.3), en N.
V_{sr}	rango de corte por fatiga horizontal por unidad de longitud; suma vectorial del rango de corte por fatiga horizontal y el rango de corte por fatiga torsional en el tablero de hormigón para un ala de una sección tipo cajón compuesta (6.10.10.1.2) (6.11.10), en N/mm.
V_u	corte debido a las cargas mayoradas; corte vertical debido a las cargas mayoradas en un alma inclinada de una sección tipo cajón (6.7.6.2.1) (6.11.9), en N.
V_{ui}	corte debido a las cargas mayoradas a lo largo de un alma inclinada de una sección tipo cajón (6.11.9), en N.
V_{uw}	corte de diseño para el alma en un punto de empalme (6.13.6.1.4b), en N.
w	distancia centro a centro entre las alas superiores de una sección tipo cajón; ancho de chapa; longitud efectiva del tablero suponiendo que actuará de forma radial a la viga primaria; mayor ancho de un ala de una sección tipo cajón entre los rigidizadores longitudinales del ala o la distancia desde un alma al rigidizador longitudinal del ala más cercano (C 6.7.5.3) (6.8.2.2) (6.10.10.1.2) (6.11.8.2.3), en mm.
x_o	distancia a lo largo del eje x entre el centro de corte y el baricentro de la sección transversal (6.9.4.1.3), en mm.
\bar{x}	distancia desde el baricentro de la barra a la superficie de la chapa de nudo o conexión; distancia perpendicular desde el plano de la conexión al baricentro de la sección transversal de la barra traccionada o la parte tributaria de la sección transversal a la conexión; parámetro dimensional utilizado en el cálculo del factor de reducción de arrastre por cortante U (6.6.1.2.3) (6.8.2.2), en mm.
Y_o	distancia del eje neutro a la fibra externa más extrema de la sección transversal (6.7.7.3), en mm.
y_o	distancia a lo largo del eje y entre el centro de corte y el baricentro de la sección transversal (6.9.4.1.3), en mm.
\bar{Y}	distancia desde el eje neutro plástico a la parte superior del elemento donde se encuentra el eje neutro plástico (D6.1), en mm.
Z	parámetro de curvatura para determinar la rigidez requerida del rigidizador longitudinal del alma; módulo plástico de la sección; módulo plástico de la sección respecto del eje de flexión (6.10.11.3.3) (6.12.2.2.2) (6.12.2.2.3) (6.12.2.2.7) (6.12.2.3.1), en mm ³ .
Z_r	resistencia a la fatiga por corte de un conector de corte individual (6.10.10.1.2), en N.
Z_x	módulo plástico de la sección respecto del eje x (6.12.2.2.4) (6.12.2.2.5), en mm ³ .

- Z_y módulo plástico de la sección respecto al eje paralelo al alma (6.12.2.2.1), en mm^3 .
- α relación de separación = $h / 2 \cdot r_{ib}$; factor que define la línea recta inclinada que representa la porción de vida finita de la resistencia al corte por fatiga de un conector de corte individual tipo stud; factor para el diseño de empalme de alas generalmente igual a **1,0**, excepto que se puede utilizar un valor menor igual a F_n / F_{yf} para alas donde F_n es menor que F_{yf} (6.9.4.3.1) (6.10.10.2) (6.13.6.1.4c).
- β factor igual a **dos veces** el área del alma en base a D_n dividido por A_{fn} utilizado para calcular el factor híbrido; factor que define la relación aproximada entre D_p y $D_t / 7,5$ en la cual una sección compuesta en flexión positiva alcanza M_p ; factor de corrección de curvatura por la rigidez del rigidizador longitudinal del alma (6.10.1.10.1) (C 6.10.7.1.2) (6.10.11.3.3).
- η modificador de carga relacionado con la ductilidad, redundancia e importancia operativa (C 6.6.1.2.2).
- γ factor de carga especificado en la Tabla 3.4.1-1; relación entre A_f y A_p para el diseño de la chapa de relleno (6.6.1.2.2) (6.13.6.1.5).
- Δ contraflecha total en cualquier sección a lo largo de la longitud efectiva del tramo de una viga primaria curvada por calor, incluida la contraflecha compensatoria para tener en cuenta la posible pérdida de contraflecha, en mm; factor de reducción para la tensión máxima en el ala de una sección tipo cajón (6.7.7.3) (6.11.3.2).
- Δ_{DL} contraflecha en cualquier punto a lo largo de la longitud efectiva del tramo de una viga primaria curvada por calor para compensar la flecha debida a las cargas permanentes o a cualquier otra carga especificada (6.7.7.3), en mm.
- (Δf) rango de tensión por sobrecarga debido al paso de la carga de fatiga (6.6.1.2.2), en MPa.
- $(\Delta F)_n^c$ resistencia nominal a la fatiga para la categoría de detalle **C** (6.6.1.2.5), en MPa.
- $(\Delta F)_n$ resistencia nominal a la fatiga (6.6.1.2.2) (6.6.1.2.5), en MPa.
- (ΔF_{TH}) umbral de fatiga de amplitud constante (6.6.1.2.5), en MPa.
- Δ_M valor máximo de Δ_{DL} dentro de la longitud efectiva del tramo de una viga primaria curvada por calor (6.7.7.3), en mm.
- Δ_R contraflecha adicional para compensar la posible pérdida de contraflecha en una viga primaria curvada por calor (6.7.7.3), en mm.
- λ factor de esbeltez normalizada de columna (6.9.5.1).
- λ_f relación de esbeltez para el ala sujeta a compresión; relación de esbeltez para el ala; esbeltez del ala sujeta a compresión = b_{fc} / t_{fc} ; esbeltez del ala = $b_f / 2 \cdot t_f$; esbeltez del ala del tipo canal = b_f / t_f (6.10.8.2.2) (6.11.8.2.2) (6.12.2.2.1) (6.12.2.2.2) (6.12.2.2.4) (6.12.2.2.5).

λ_{pf}	relación de esbeltez límite para un ala compacta; esbeltez límite para un ala compacta (6.10.8.2.2) (6.12.2.2.2) (6.12.2.2.4) (6.12.2.2.5).
λ_{pw}	esbeltez límite para un alma compacta (6.12.2.2.2) (6.12.2.2.5).
$\lambda_{pw(Dc)}$	relación de esbeltez límite para un alma compacta correspondiente a $2 \cdot D_c / t_w$ (A6.2.2).
$\lambda_{pw(Dcp)}$	relación de esbeltez límite para un alma compacta correspondiente a $2 \cdot D_{cp} / t_w$ (A6.2.1).
λ_{rf}	relación de esbeltez límite para un ala no compacta; esbeltez límite para un ala no compacta (6.10.8.2.2) (6.12.2.2.2) (6.12.2.2.4).
λ_{rw}	relación de esbeltez límite para un alma no compacta (6.10.1.10.2).
λ_w	relación de esbeltez para el alma en base al momento elástico (A6.2.2).
ψ	relación entre el área total de la sección transversal y el área de la sección transversal de ambas alas; constante utilizada para determinar el momento de inercia requerido de los rigidizadores longitudinales para alas de una sección tipo cajón (6.7.7.2) (6.11.11.2).
ρ	factor igual al menor valor entre F_{yw}/f_n y $1,0$ utilizado para calcular el factor híbrido (6.10.1.10.1).
ρ_t	mayor valor entre F_{yw}/F_{crs} y $1,0$ (6.10.11.1.3).
θ	ángulo de inclinación del ala inferior de una barra de altura de alma variable; ángulo de inclinación de la chapa de alma de una sección tipo cajón respecto a la vertical (C 6.10.1.4) (6.11.9), en grados.
θ_p	rotación plástica en una sección sobre la pila interior (B6.6.2), en radianes.
θ_{RL}	rotación plástica en la cual el momento, en una sección sobre la pila interior, comienza nominalmente a disminuir al aumentar θ_p (6.10.7.1.2), en radianes.
σ_{flg}	rango de tensión longitudinal por fatiga en el ala inferior sin considerar la flexión lateral del ala (6.10.10.1.2), en MPa.
ϕ	factor de resistencia; factor de resistencia durante el hincado de pilotes; factor de resistencia para el hormigón sujeto a tracción especificado en el artículo 5.5.4.2.1 (6.5.4.2) (6.10.1.7).
ϕ_b	factor de resistencia al aplastamiento (6.5.4.2).
ϕ_{bb}	factor de resistencia de bulones que apoyan sobre material (6.5.4.2).
ϕ_{bs}	factor de resistencia para el bloque de corte (6.5.4.2).
ϕ_c	factor de resistencia para compresión axial (6.5.4.2).

ϕ_{e1}	factor de resistencia para el corte en el área efectiva del metal de soldadura en soldaduras de penetración completa; factor de resistencia para la tracción normal al área efectiva del metal de soldadura en soldaduras de penetración parcial (6.5.4.2).
ϕ_{e2}	factor de resistencia para el corte paralelo al eje del metal de soldadura en soldaduras de penetración parcial; factor de resistencia para el corte en la garganta del metal de soldadura en soldaduras de filete (6.5.4.2).
ϕ_f	factor de resistencia a la flexión (6.5.4.2) (6.11.8.2.2).
ϕ_s	factor de resistencia al corte en bulones (6.5.4.2).
ϕ_{sc}	factor de resistencia de los conectores de corte (6.5.4.2).
ϕ_{sd}	factor de resistencia para el shakedown (C B6.4.2.1).
ϕ_t	factor de resistencia a la tracción de bulones (6.5.4.2).
ϕ_u	factor de resistencia a la fractura en la sección neta de las barras traccionadas (6.5.4.2).
ϕ_v	factor de resistencia al corte (6.5.4.2) (6.11.8.2.2).
ϕ_{vu}	factor de resistencia a la ruptura por corte de los elementos de conexión como se especifica en el artículo 6.5.4.2 (6.13.5.3).
ϕ_w	factor de resistencia a la abolladura del alma (6.5.4.2).
ϕ_y	factor de resistencia a la fluencia en la sección bruta de las barras traccionadas (6.5.4.2).

6.4. MATERIALES

6.4.1. Aceros estructurales

Los aceros estructurales deberán satisfacer los requisitos especificados en la Tabla 6.4.1-1, y el diseño se deberá realizar en base a las propiedades mínimas indicadas.

El módulo de elasticidad y el coeficiente de expansión térmica se supondrán iguales a **200000 MPa** y **$11,7 \times 10^{-6}$ mm/mm/°C**, respectivamente, para todos los aceros estructurales.

Los materiales especificados en este artículo deberán cumplir las normas IRAM-IAS mencionadas en el texto. Cuando se especifiquen algunos materiales no cubiertos por las normas IRAM-IAS vigentes, se mencionarán los documentos internacionales AASHTO y ASTM a consultar hasta que se encuentren redactadas las correspondientes normas IRAM-IAS.

Se podrán utilizar chapas de acero grado F36 de acuerdo con la **norma IRAM-IAS U 500-42 - Chapas de acero al carbono, laminadas en caliente, para uso estructural**, en

espesores mayores que **100 mm** para aplicaciones no estructurales o componentes de elementos de apoyo.

En caso de ser necesario complementar las especificaciones anteriores se podrá utilizar la especificación **AASHTO M 270M/M 270**, o su equivalente **ASTM A 709 / A 709M** - Standard Specification for Structural Steel for Bridges.

Se podrán utilizar perfiles estructurales de acero aleado templado y revenido, de acuerdo con la **norma IRAM-IAS U 500-503 - Aceros al carbono para uso estructural**, y tubos sin costura, de acuerdo con la **norma IRAM-IAS 2592 - Tubos de acero al carbono para uso estructural**, con una resistencia especificada mínima a la tracción no mayor que **965 MPa** en el caso de los perfiles estructurales ni mayor que **1000 MPa** en el caso de los tubos sin costura, siempre y cuando:

- El material satisfaga todos los demás requisitos mecánicos y químicos del acero especificado en AASHTO M 270M/M 270 (ASTM A 709M), Grado HPS 100W, y
- El diseño esté basado en las propiedades mínimas especificadas para el acero AASHTO M 270M/M 270 (ASTM A 709/A709M), Grado HPS 100W.

Los tubos estructurales deberán ser tubos soldados conformados en frío o tubos sin costura de acuerdo con la norma IRAM-IAS U 500-2592 (o ASTM A 500, Grado B o Grado C, o con la norma ASTM A 847) o bien tubos soldados conformados en caliente o tubos sin costura de acuerdo con la norma IRAM IAS U 500-2592 (o las normas ASTM A 501 o ASTM A 618).

Las limitaciones del espesor relativas a los perfiles y grupos laminados deberán satisfacer lo establecido en la norma IRAM-IAS U 500-503 (en caso de ser necesario complementar las especificaciones consultar AASHTO M 160M/M 160 - Standard Specification for General Requirements for Steel Plates, Shapes, Sheet Piling and Bars for Structural Use o su equivalente ASTM A6/A6M).

Tabla 6.4.1-1. Propiedades mecánicas mínimas del acero estructural según su forma, resistencia y espesor.

Denominación AASHTO	M 270M / M 270 Grado 250 (36)	M 270M / M 270 Grado 345 (50)	M 270M / M 270 Grado 345S (50S)	M 270M / M 270 Grado 345W (50W)	M 270M / M 270 Grado HPS 345W (50W)	M 270M / M 270 Grado HPS 485W (70W)	M 270M / M 270 Grado 690/690W (100W)	
Denominación ASTM equivalente	A 709 / A 709M Grado 250	A 709 / A 709M Grado 345	A 709 / A 709M Grado 345S	A 709 / A 709M Grado 345W	A 709 / A 709M Grado HPS 345W	A 709 / A 709M Grado HPS 485W	A 709 / A 709M Grado 690/690W	
Denominación IRAM IAS	IRAM/IAS U 500-42 Grado F26	IRAM/IAS U 500-42 Grado F36	IRAM/IAS U 500-42 Grado F36					
Espesor de las chapas, mm.	Hasta 100 incl.	Hasta 100 incl.	No aplicable	Hasta 100 incl.	Hasta 100 incl.	Hasta 100 incl.	Hasta 65 incl.	Más de 65 hasta 100 incl.
Perfiles	Todos los grupos IRAM/IAS U 500-503 grado F26	Todos los grupos IRAM/IAS U 500-503 Grado F36	Todos los grupos IRAM/IAS U 500-503 Grado F36	Todos los grupos	No aplicable	No aplicable	No aplicable	No aplicable
Resistencia mínima a la tracción, F_u , MPa	400	450	450	485	485	585	760	690
Punto mínimo especificado de fluencia o resistencia mínima especificada de fluencia, F_y , MPa	250	345	345	345	345	485	690	620

6.4.2. Pernos, rodillos (rollers) y balancines (rockers)

El acero para los pernos, rodillos y balancines de expansión deberá satisfacer los requisitos de la Tabla 6.4.2-1, la Tabla 6.4.1-1, o el artículo 6.4.7.

Los rodillos de expansión no deberán tener menos de **100 mm** de diámetro.

Tabla 6.4.2-1. Propiedades mecánicas mínimas de los pernos, rodillos y balancines según su tamaño y resistencia.

Denominación AASHTO con limitación de tamaño	M 169 diám. 100 mm o menos	M 102M / M 102 diám. hasta 500 mm	M 102M / M 102 diám. hasta 500 mm	M 102M / M 102 diám. hasta 250 mm	M 102M / M 102 diám. hasta 500 mm
Denominación ASTM Grado o Clase	A 108 Grados 1016 a 1030 inclusive	A 668 / A 668M Clase C	A 668 / A 668M Clase D	A 668 / A 668M Clase F	A 668 / A 668M Clase G
Punto mínimo especificado de fluencia, F_y , MPa	250	230	260	345	345

6.4.3. Bulones, tuercas y arandelas

6.4.3.1. Bulones

Los bulones utilizados como sujetadores estructurales deberán cumplir con una de las siguientes especificaciones:

- Especificación estándar para bulones y pernos de acero al carbono, con resistencia a la tracción de **420 MPa**, ASTM A307 Grado A o B,
- Especificación estándar para bulones estructurales de acero, tratados térmicamente, con una resistencia mínima a la tracción de **830/725 MPa**, con una resistencia mínima requerida a la tracción de **830 MPa** para diámetros de **13 mm a 25 mm** y de **725 MPa** para diámetros de **29 mm a 38 mm**, AASHTO M 164 (ASTM A325), o
- Especificación estándar para bulones estructurales de acero tratados térmicamente, con una resistencia mínima a la tracción de **1035 MPa** de acuerdo con AASHTO M 253 (ASTM A490).

Los **bulones tipo 1** se deberán utilizar con aceros distintos de los aceros intemperizables. Con los aceros intemperizables se deberán utilizar bulones tipo **3** de acuerdo con la norma AASHTO M 164 (ASTM A325) o con la norma AASHTO M 253 (ASTM A490).

Los **bulones tipo 1** de acuerdo con la norma AASHTO M 164 (ASTM A325) pueden ser galvanizados por inmersión en caliente de acuerdo con la norma AASHTO M 232M /M 232 (ASTM A153/A153M), Clase C, o galvanizados mecánicamente de acuerdo con AASHTO M 298 (ASTM B695), Clase 345 (50), cuando así lo apruebe el Ingeniero Responsable.

Los bulones galvanizados deberán ser sometidos a ensayos adicionales después del galvanizado, según lo requerido por AASHTO M 164 (ASTM A325).

Los bulones de acuerdo con la norma AASHTO M253 (ASTM A490) no deberán ser galvanizados.

Las arandelas, tuercas y bulones de cualquier conjunto deberán ser galvanizados por el mismo proceso.

Las tuercas deberán tener una rosca suficiente, lo mínimo necesario para sujetar el ensamble, y se deberán lubricar con un lubricante que contenga un colorante visible.

Los bulones de anclaje se ajustarán a una de las siguientes normas:

- ASTM A307 Grado C, o
- ASTM F1554.

6.4.3.2. Tuercas

6.4.3.2.1. Tuercas utilizadas con los medios estructurales de unión

Las tuercas utilizadas con los medios estructurales de unión deberán satisfacer las siguientes disposiciones, según corresponda.

Con excepción de lo que se indica a continuación, las tuercas para bulones según AASHTO M 164 (ASTM A325) deberán cumplir con la especificación estándar para tuercas de acero al carbono y de aleación, AASHTO M 291 (ASTM A563), Grados DH, DH3, C, C3 y D.

Las tuercas para bulones según AASHTO M 253 (ASTM A490) se deberán ajustar a los requisitos de AASHTO M 291 (ASTM A563), Grados DH y DH3.

Las tuercas a ser galvanizadas deberán ser tratadas térmicamente como Grado DH. Se aplicarán las disposiciones del artículo 6.4.3.1. Todas las tuercas galvanizadas deberán ser lubricadas con un lubricante que contenga un colorante visible.

Las tuercas simples deberán tener una dureza mínima de 89 HRB.

Las tuercas a ser utilizadas con bulones según AASHTO M 164 (ASTM A325) tipo **3** deberán ser de Grado C3 o DH3. Las tuercas a ser utilizadas con bulones según AASHTO M 253 (ASTM A490) tipo **3** deberán ser de Grado DH3.

6.4.3.2.2. Tuercas utilizadas con bulones de anclaje

Las tuercas utilizadas con bulones de anclaje deberán satisfacer las siguientes disposiciones, según corresponda.

Las tuercas para bulones de anclaje según ASTM A307 Grado C y ASTM F1554 se deben ajustar a la norma AASHTO M 291 (ASTM A563) para el grado y tamaño correspondientes del bulón de anclaje.

Las tuercas a ser galvanizadas deberán ser tratadas térmicamente al Grado DH o DH3. Se aplicarán las disposiciones del artículo 6.4.3.1. Todas las tuercas galvanizadas se deberán lubricar con un lubricante que contenga un colorante visible.

6.4.3.3. Arandelas

Las arandelas se deberán ajustar a las especificaciones estándar para arandelas de acero endurecidas, AASHTO M 293 (ASTM F436).

Para las arandelas galvanizadas se aplicarán las disposiciones del artículo 6.4.3.1.

6.4.3.4. Medios alternativos de unión

Otros medios de unión o conjuntos de sujeción no especificados en los artículos precedentes, tales como los que se ajustan a los requisitos de la norma ASTM F1852, se podrán utilizar con la aprobación del Ingeniero Responsable, siempre y cuando:

- Se cumplan los requisitos de materiales, fabricación y composición química de la norma AASHTO M 164 (ASTM A325) o la norma AASHTO M 253 (ASTM A490),
- Se cumplan los requisitos de propiedades mecánicas de la misma norma en ensayos a escala real, y
- El diámetro del cuerpo y las áreas de apoyo debajo de la cabeza y la tuerca, o su equivalente, no sean menores que los proporcionados por un bulón y una tuerca de las mismas dimensiones nominales prescritas en los artículos 6.4.3.1 y 6.4.3.2.

Las restantes dimensiones, de dichos medios alternativos de unión, podrán diferir de las correspondientes para los bulones, tuercas y arandelas especificadas en los artículos 6.4.3.1 a 6.4.3.3.

6.4.3.5. Dispositivos indicadores de carga

Los dispositivos indicadores de carga que se ajusten a los requisitos de la norma ASTM F959 se podrán utilizar conjuntamente con bulones, tuercas y arandelas. Este Reglamento permite el uso de dispositivos indicadores de carga incorporados en conjuntos de sujeción con tuercas hexagonales pesadas endurecidas AASHTO M 291 (ASTM A563) Grado DH, siempre y cuando tanto el dispositivo indicador de carga como la tuerca hexagonal pesada cumplan los requisitos de propiedades mecánicas de las normas ASTM correspondientes.

Cuando lo apruebe el Ingeniero responsable, se podrán utilizar dispositivos alternativos que indiquen la tracción directa.

6.4.4. Conectores de corte tipo stud

Los conectores de corte tipo stud se deben fabricar a partir de barras estiradas en frío, Grados 1015, 1018 o 1020, ya sean de acero calmado o semicalmado, de conformidad con la norma AASHTO M 169 (ASTM A108), con una resistencia mínima especificada a la fluencia de **345 MPa** y una resistencia a la tracción de **415 MPa**. Cuando se utilicen topes para contener el fundente, éstos deberán ser de un acero de bajo carbono apto para soldadura y se deberán ajustar a la norma ASTM A109.

6.4.5. Metal de soldadura

El metal de soldadura deberá cumplir con los requisitos de las normas IRAM-IAS correspondientes. En ausencia de esas normas se deberán utilizar los requisitos del Código AASHTO/AWS D1.5M/D1.5 - Bridge Welding Code (Código de Soldadura de Puentes de AWS).

6.4.6. Metal fundido

6.4.6.1. Acero fundido y hierro dúctil

El acero fundido se deberá ajustar a una de las siguientes especificaciones:

- AASHTO M 103M/M 103 (ASTM A27/A27M), Grado 485-250 (70-36), a menos que se especifique lo contrario;
- AASHTO M 163M/M 163 (ASTM A743/A743M) Grado CA 15, a menos que se especifique lo contrario.

Las fundiciones de hierro dúctil deberán cumplir con la norma ASTM A536, Grado 415-275-18 (60-40-18), a menos que se especifique lo contrario.

6.4.6.2. Fundiciones maleables

Las fundiciones maleables deberán cumplir con la norma ASTM A47, Grado 241. La resistencia mínima especificada de fluencia no deberá ser inferior a **241 MPa**.

6.4.6.3. Hierro fundido

Las piezas de hierro fundido deberán satisfacer la norma AASHTO M 105 (ASTM A48), Clase 30.

6.4.7. Acero inoxidable

El acero inoxidable deberá cumplir una de las siguientes especificaciones:

- ASTM A176,
- ASTM A240,
- ASTM A276, o
- ASTM A666.

El acero inoxidable que no se ajuste a ninguna de las especificaciones arriba mencionadas, se podrá utilizar siempre que cumpla con los requisitos químicos y mecánicos de una de ellas o de otras especificaciones publicadas que establezcan sus propiedades e idoneidad y que estén sujetas a análisis, ensayos y otros controles en la medida y en la forma prescrita por una de las especificaciones indicadas.

6.4.8. Cables

6.4.8.1. Alambre brillante

El alambre brillante deberá cumplir con las especificaciones de la norma ASTM A510.

6.4.8.2. Alambre galvanizado

El alambre galvanizado deberá cumplir con las especificaciones de la norma ASTM A641.

6.4.8.3. Alambre recubierto de epoxi

El alambre recubierto de epoxi deberá cumplir con las especificaciones de la norma ASTM A99.

6.4.8.4. Cordones para puentes

Los cordones para puentes deberán cumplir con la norma ASTM A586 o la ASTM A603.

6.5. ESTADOS LÍMITE

6.5.1. Requisitos generales

Se debe analizar el comportamiento estructural de los componentes de acero o acero en combinación con otros materiales para cada etapa que pueda ser crítica durante la construcción, manipulación, transporte, y montaje, así como durante la vida de servicio de la estructura de la que forman parte.

Los componentes estructurales se deben dimensionar para satisfacer los requisitos en los estados límite de resistencia, evento extremo, servicio, y fatiga.

6.5.2. Estado límite de servicio

Se aplicarán, según corresponda, los requisitos del artículo 2.5.2.6.

Las barras sujetas a flexión serán analizadas en el estado límite de servicio como se especifican en los artículos 6.10 y 6.11.

6.5.3. Estado límite de fractura y fatiga

Los componentes y detalles se analizarán para fatiga como se especifica en el artículo 6.6.

Se aplicarán las combinaciones de carga de fatiga especificadas en la Tabla 3.4.1-1 y la sobrecarga de fatiga especificada en el artículo 3.6.1.4.

Las barras sujetas a flexión se analizarán en el estado límite de fatiga y fractura como se especifican en los artículos 6.10 y 6.11.

Los bulones sujetos a fatiga por tracción deberán cumplir con las disposiciones del artículo 6.13.2.10.3.

Los requisitos de tenacidad a la fractura deberán cumplir con el artículo 6.6.2.

6.5.4. Estado límite de resistencia

6.5.4.1. Requisitos generales

La resistencia y la estabilidad se considerarán utilizando las combinaciones de carga de resistencia aplicables, especificadas en la Tabla 3.4.1-1.

6.5.4.2. Factores de resistencia

Los factores de resistencia, ϕ , para el estado límite de resistencia se tomarán de la siguiente manera:

- Para flexión $\phi_f = 1,00$
- Para corte $\phi_v = 1,00$
- Para compresión axial, solo acero $\phi_c = 0,90$
- Para compresión axial, compuesto $\phi_c = 0,90$
- Para tracción, fractura en la sección neta $\phi_u = 0,80$
- Para tracción, fluencia en la sección bruta $\phi_y = 0,95$
- Para aplastamiento sobre pernos en agujeros fresados, taladrados o perforados y en superficies cepilladas $\phi_b = 1,00$
- Para bulones que apoyan sobre material $\phi_{bb} = 0,80$
- Para conectores de corte $\phi_{sc} = 0,85$
- Para bulones A 325 y A 490 en tracción $\phi_t = 0,80$
- Para bulones A 307 en tracción $\phi_t = 0,80$
- Para bulones F 1554 en tracción $\phi_t = 0,80$
- Para bulones A 307 en corte $\phi_s = 0,75$
- Para bulones F 1554 en corte $\phi_s = 0,75$
- Para bulones A 325 y A 490 en corte $\phi_s = 0,80$
- Para bloque de corte $\phi_{bs} = 0,80$
- Para corte, ruptura en el elemento de conexión $\phi_{vu} = 0,80$

- Para abolladura del alma $\phi_w = 0,80$

- Para metal de soldadura en soldaduras de penetración completa:
 - corte en el área efectiva $\phi_{e1} = 0,85$
 - tracción o compresión normal al área efectiva igual que el metal base
 - tracción o compresión paralela al eje de la soldadura igual que el metal base

- Para metal de soldadura en soldaduras de penetración parcial:
 - corte paralelo al eje de soldadura $\phi_{e2} = 0,80$
 - tracción o compresión paralela al eje de la soldadura igual que el metal base
 - compresión normal al área efectiva igual que el metal base
 - tracción normal al área efectiva $\phi_{e1} = 0,80$

- Para metal de soldadura en soldaduras de filete:
 - tracción o compresión paralela al eje de la soldadura igual que el metal base
 - corte en la garganta del metal de soldadura $\phi_{e2} = 0,80$

- Para resistencia durante el hincado de pilotes $\phi = 1,00$

- Para la resistencia axial de los pilotes en compresión y sujetos a daños debido a las condiciones severas de hincado donde es necesario el uso de una punta de pilote:
 - pilotes en H $\phi_c = 0,50$
 - pilotes de tubería $\phi_c = 0,60$

- Para la resistencia axial de los pilotes en compresión bajo buenas condiciones de hincado donde no es necesario el uso de una punta de pilote:
 - pilotes en H $\phi_c = 0,60$
 - pilotes de tubería $\phi_c = 0,70$

- Para la resistencia combinada a carga axial y flexión en pilotes no dañados:
 - resistencia axial para pilotes en H $\phi_c = 0,70$
 - resistencia axial para pilotes de tubería $\phi_c = 0,80$
 - resistencia a la flexión $\phi_f = 1,00$

- Para conectores de corte sujetos a tracción $\phi_{st} = 0,75$

6.5.5. Estado límite de evento extremo

Se deben analizar todas las combinaciones de carga de eventos extremos aplicables en la Tabla 3.4.1-1. Para el evento extremo I, γ_p para las cargas **DC** y **DW** se debe considerar igual a **1,0**.

Todos los factores de resistencia para el estado límite de evento extremo, excepto los especificados para bulones y conectores de corte, se considerarán igual a **1,0**.

Todos los factores de resistencia para bulones según ASTM A307 Grado C y ASTM F1554 utilizados como bulones de anclaje para el estado límite de evento extremo se considerarán iguales a **1,0**.

Las uniones abulonadas, críticas de deslizamiento, dentro de un recorrido de carga sísmica deben ser dimensionadas de acuerdo con los requisitos del artículo 6.13.2.1.1. Las conexiones también deben ser dimensionadas para proporcionar resistencia al corte, al aplastamiento y a la tracción de acuerdo con los artículos 6.13.2.7, 6.13.2.9 y 6.13.2.10, según corresponda, en el estado límite de evento extremo. Los agujeros estándar o los agujeros ovalados cortos, normales a la línea de fuerza, se deben utilizar en tales conexiones.

6.6. CONSIDERACIONES SOBRE EL ESTADO LÍMITE DE FATIGA Y FRACTURA

6.6.1. Fatiga

6.6.1.1. Requisitos generales

La fatiga se deberá clasificar como fatiga inducida por las cargas o fatiga inducida por las distorsiones.

6.6.1.2. Fatiga inducida por las cargas

6.6.1.2.1. Aplicación

La sollicitación a considerar para el diseño a fatiga de los detalles de un puente de acero será el rango de esfuerzos debido a la sobrecarga. Para las barras sujetas a flexión que están provistos de conectores de corte en toda su longitud y cuyo tablero de hormigón está reforzado de acuerdo con los requisitos del artículo 6.10.1.7, los esfuerzos y rangos de esfuerzos debidos a la sobrecarga para el diseño por fatiga se podrán calcular utilizando la sección compuesta a corto plazo suponiendo que el tablero de hormigón es efectivo tanto para flexión positiva como para flexión negativa.

Al analizar la fatiga no se deberán considerar las tensiones residuales, excepto que el Ingeniero considere lo contrario.

Estos requisitos serán aplicables únicamente a los detalles sujetos a un esfuerzo aplicado neto de tracción. En zonas donde las cargas permanentes no mayoradas produzcan compresión, se deberá considerar la fatiga solamente cuando dicho esfuerzo de compresión sea menor que el máximo esfuerzo de tracción por sobrecarga que resulte de la combinación de cargas Fatiga I especificada en la Tabla 3.4.1-1.

6.6.1.2.2. Criterios de diseño

En lo relativo a la fatiga inducida por las cargas, cada detalle deberá satisfacer la siguiente relación:

$$\gamma(\Delta f) \leq (\Delta F)_n \quad (6.6.1.2.2-1)$$

donde:

γ = factor de carga especificado en la Tabla 3.4.1-1 para la combinación de cargas correspondiente a fatiga.

(Δf) = sollicitación, rango de tensión por sobrecarga debido al paso de la carga de fatiga tal como se especifica en el artículo 3.6.1.4, en MPa.

$(\Delta F)_n$ = resistencia nominal a la fatiga tal como se especifica en el artículo 6.6.1.2.5, en MPa.

6.6.1.2.3. Categorías para diseño a fatiga

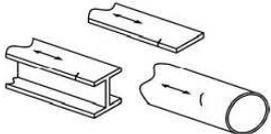
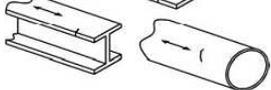
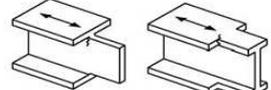
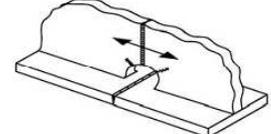
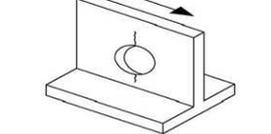
Los componentes y detalles se deberán diseñar de manera que satisfagan los requisitos de sus respectivas categorías para diseño a fatiga, las cuales se resumen en la Tabla 6.6.1.2.3-1. Cuando en esta tabla se representan agujeros para bulones, su fabricación se deberá ajustar a los requisitos del artículo 11.4.8.5 de la norma AASHTO LRFD Bridge Construction Specifications, hasta tanto se desarrolle un documento específico al respecto. Excepto cuando se especifique lo contrario, se supondrán para el diseño que los agujeros para bulones en arriostramientos transversales, diafragmas, y miembros de arriostramiento lateral y sus chapas de conexión serán punzonadas a tamaño completo.

Excepto lo que aquí se indica para miembros críticos de fractura, si el tránsito medio diario de camiones en un único carril durante 75 años ($ADTT_{SL}$) es menor o igual al especificado en la Tabla 6.6.1.2.3-2 para el componente o detalle en consideración, éste deberá ser diseñado para vida finita utilizando la combinación de cargas Fatiga II especificada en la Tabla 3.4.1-1. En caso contrario, el componente o detalle se diseñará para vida infinita utilizando la combinación de cargas Fatiga I. El tránsito medio diario de camiones en un único carril ($ADTT_{SL}$) se calculará como se indica en el artículo 3.6.1.4.2.

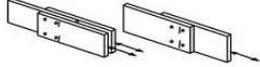
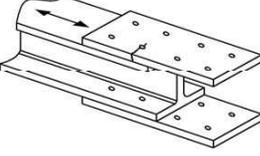
Para componentes y detalles en miembros de fractura críticas, se debe utilizar la combinación de cargas Fatiga I especificada en la Tabla 3.4.1-1 en combinación con la resistencia nominal a la fatiga para vida infinita especificada en el artículo 6.6.1.2.5.

Los componentes y detalles de tableros ortótropos se deberán diseñar para satisfacer los requisitos de sus respectivas categorías para diseño a fatiga, resumidas en la Tabla 6.6.1.2.3-1, para el nivel de diseño que se haya seleccionado en la tabla y de acuerdo con lo especificado en el artículo 9.8.3.4.

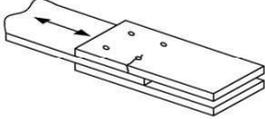
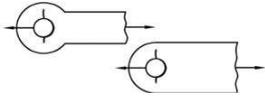
Tabla 6.6.1.2.3-1. Categorías para diseño a fatiga inducida por carga

Descripción	Categoría del detalle	Constante A (MPa ³)	Umbral (ΔF) _{TH} MPa	Punto de inicio de fisura potencial	Ejemplos ilustrativos
Sección 1 – Material en zonas alejadas de soldaduras					
1.1 – Metal base, excepto acero autoprotegido sin pintar, con acabado de laminación o limpieza superficial. Bordes cortados con llama con un valor de rugosidad superficial de 25 μm o menos, pero sin esquinas reentrantes.	A	81,9 × 10 ¹¹	165,4	Alejado de cualquier soldadura o conexión estructural	
1.2 – Metal base de acero autoprotegido sin pintar, con acabado de laminación o limpieza superficial, diseñado y detallado de acuerdo con la norma FHWA (1989). Bordes cortados con llama con un valor de rugosidad superficial de 25 μm o menos, pero sin esquinas reentrantes.	B	39,3 × 10 ¹¹	110,3	Alejado de cualquier soldadura o conexión estructural	
1.3 – Miembros con esquinas reentrantes en rebajes, cortes, bloqueos u otras discontinuidades geométricas ejecutadas de acuerdo con AASHTO/AWS D1.5, sin incluir agujeros de acceso de soldadura.	C	14,4 × 10 ¹¹	68,9	En cualquier borde externo	
1.4 – Perfiles laminados con agujeros de acceso de soldadura que cumplan con los requisitos de AASHTO/AWS D1.5, Artículo 3.2.4.	C	14,4 × 10 ¹¹	68,9	En el metal base, en la esquina reentrante del agujero de acceso de soldadura	
1.5 – Agujeros abiertos en miembros (Brown et al., 2007).	D	7,2 × 10 ¹¹	48,2	Se origina en la sección neta al lado del agujero	

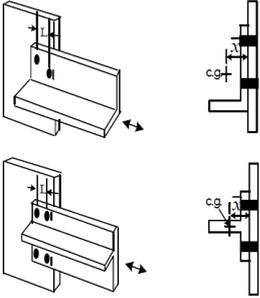
Continúa en siguiente página

Descripción	Categoría del detalle	Constante A (MPa ³)	Umbral (ΔF) _{TH} MPa	Punto de inicio de fisura potencial	Ejemplos ilustrativos
Sección 2 – Material conectado en juntas unidas mecánicamente					
<p>2.1 – Metal base en la sección bruta de juntas con bulones de alta resistencia pretensionados, diseñadas como conexiones de deslizamiento crítico, con los bulones instalados en agujeros taladrados al tamaño completo o subpunzonados y fresados a la medida - por ejemplo, empalmes abulonados en el ala y el alma y rigidizadores abulonados. (Nota: véase la Condición 2.3 para agujeros de bulones punzonados al tamaño completo; véase la Condición 2.5 para conexiones abulonadas de perfiles ángulos o secciones en Te a chapas de nudo o de unión.)</p>	B	$39,3 \times 10^{11}$	110,3	A través de la sección bruta cercana al agujero	
<p>2.2 – Metal base en la sección neta de juntas con bulones de alta resistencia pretensionados, diseñadas como conexiones tipo aplastamiento pero fabricadas e instaladas cumpliendo con todos los requisitos aplicables a uniones de deslizamiento crítico, con los bulones instalados en agujeros taladrados al tamaño completo o subpunzonados y fresados a la medida. (Nota: véase la Condición 2.3 para agujeros punzonados al tamaño completo; véase la Condición 2.5 para conexiones abulonadas de perfiles ángulos o secciones en Te a chapas de nudo o de unión.)</p>	B	$39,3 \times 10^{11}$	110,3	Se origina en la sección neta al lado del agujero	

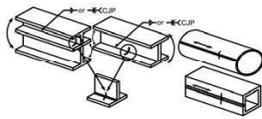
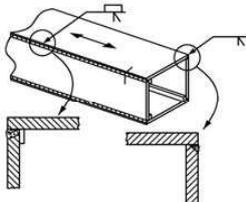
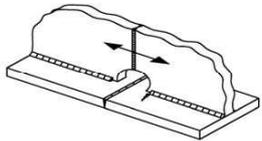
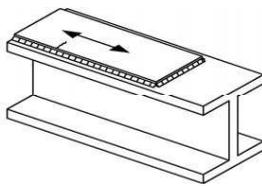
Continúa en siguiente página

Descripción	Categoría del detalle	Constante A (MPa ³)	Umbral (ΔF) _{TH} MPa	Punto de inicio de fisura potencial	Ejemplos ilustrativos
Sección 2 (Cont.) – Material conectado en juntas unidas mecánicamente					
<p>2.3 – Metal base en la sección neta de toda conexión abulonada en miembros galvanizados en caliente (Huhn y Valtinat, 2004); metal base en la sección apropiada definida en la Condición 2.1 o 2.2, según sea aplicable, de juntas con bulones de alta resistencia pretensionados instalados en agujeros punzonados al tamaño completo (Brown et al., 2007); y metal base en la sección neta de otras juntas conectadas mecánicamente, con excepción de las barras de ojo y las chapas con perno, por ejemplo, juntas con bulones ASTM A307 o bulones de alta resistencia no pretensionados. (Nota: véase la Condición 2.5 para conexiones abulonadas de perfiles ángulos o secciones en Te a chapas de nudo o de unión.)</p>	D	$7,2 \times 10^{11}$	48,2	Se inicia en la sección neta al lado del agujero o a través de la sección bruta cercana al agujero, según sea aplicable	
<p>2.4 – Metal base en la sección neta de las cabezas de las barras de ojo o las chapas con pernos. (Nota: para el metal base en el cuerpo de las barras de ojo o a través de la sección bruta de las chapas con pernos, véase la Condición 1.1 o 1.2, según sea aplicable.)</p>	E	$3,6 \times 10^{11}$	31,0	Se inicia en la sección neta al lado del agujero	

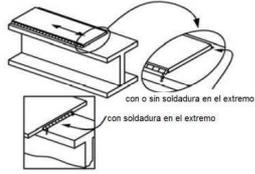
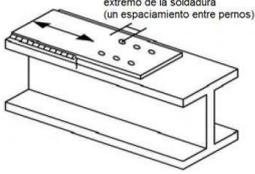
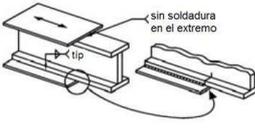
Continúa en siguiente página

Descripción	Categoría del detalle	Constante A (MPa ³)	Umbral $(\Delta F)_{TH}$ MPa	Punto de inicio de fisura potencial	Ejemplos ilustrativos
Sección 2 (Cont.) – Material conectado en juntas unidas mecánicamente					
<p>2.5 – Metal base para conexiones de perfiles ángulos o secciones en Te a chapas de nudo o de unión con bulones de alta resistencia en condición de deslizamiento crítico. El rango de esfuerzos de fatiga se deberá calcular sobre el área neta efectiva del miembro, $A_e = U \cdot A_g$, donde $U = (1 - \bar{x} / L)$ y donde A_g es la sección bruta del miembro. \bar{x} es la distancia del baricentro del miembro a la superficie de la chapa de nudo o de unión y L es la distancia entre los bulones extremos de la conexión en dirección paralela a la línea de fuerza. El efecto del momento debido a las excentricidades en la conexión no se tiene en cuenta al calcular el rango de esfuerzos (McDonald and Frank, 2009). La categoría de fatiga se tomará como la especificada para la Condición 2.1. Para todos los demás tipos de conexiones abulonadas, reemplazar A_g con el área neta del miembro, A_n, al calcular el área neta efectiva de acuerdo con la ecuación anterior y usar la categoría de fatiga adecuada para el tipo de conexión según la Condición 2.2 o 2.3, según sea aplicable.</p>	Ver la categoría aplicable de arriba	Ver la constante aplicable de arriba	Ver el umbral aplicable de arriba	Se inicia a través de la sección bruta cercana al agujero, o en la sección neta al lado del agujero, según sea aplicable	

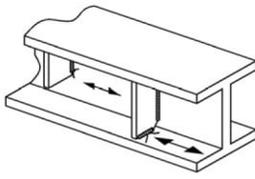
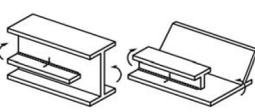
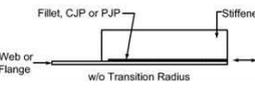
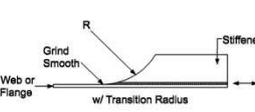
Continúa en siguiente página

Descripción	Categoría del detalle	Constante A (MPa ³)	Umbral (ΔF) _{TH} MPa	Punto de inicio de fisura potencial	Ejemplos ilustrativos
Sección 3 – Juntas soldadas entre componentes de miembros armados					
3.1 – Metal base y metal de soldadura en miembros sin accesorios, armados a partir de chapas o perfiles unidos por soldaduras continuas. Estas pueden ser soldaduras longitudinales acanaladas de penetración completa, buscando la raíz y soldando desde el otro lado, o por soldaduras de filete continuas paralelas a la dirección del esfuerzo aplicado.	B	$39,3 \times 10^{11}$	110,3	Desde discontinuidades superficiales o internas en la soldadura, lejos del extremo de la soldadura	
3.2 – Metal base y metal de soldadura en miembros sin accesorios, armados a partir de chapas o perfiles unidos por soldaduras continuas. Estas pueden ser soldaduras longitudinales acanaladas de penetración completa con barras de respaldo que no se remueve o soldaduras acanaladas de penetración parcial continua paralelas a la dirección del esfuerzo aplicado.	B'	20×10^{11}	82,7	Desde discontinuidades superficiales o internas en la soldadura, incluyendo las soldaduras de fijación de las barras de respaldo	
3.3 – Metal base y metal de soldadura en el extremo de una soldadura longitudinal próximo a un agujero de acceso de soldadura ejecutado de acuerdo con la norma AASHTO/AWS D1.5, Artículo 3.2.4, en miembros armados (Nota: no se incluye el empalme a tope del ala).	D	$7,2 \times 10^{11}$	48,2	Desde la terminación de la soldadura entrando en el alma o ala	
3.4 – Metal base y metal de soldadura en platabandas soldadas de longitud parcial conectadas por soldaduras de filete continuas, paralelas a la dirección del esfuerzo aplicado.	B	$39,3 \times 10^{11}$	110,3	Desde discontinuidades superficiales o internas en la soldadura, lejos del extremo de la soldadura	

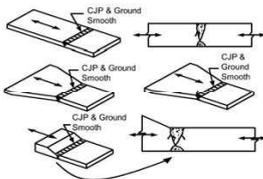
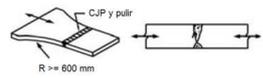
Continúa en siguiente página

Descripción	Categoría del detalle	Constante A (MPa ³)	Umbral (ΔF) _{TH} MPa	Punto de inicio de fisura potencial	Ejemplos ilustrativos
Sección 3 (Cont.) – Juntas soldadas entre componentes de miembros armados					
<p>3.5 – Metal base en el extremo de las platabandas soldadas de longitud parcial que tienen extremos cuadrados o con reducción del ancho que son más estrechos que el ala, con o sin soldaduras transversales en los extremos, o platabandas de ancho mayor que el ala con soldaduras transversales en los extremos:</p> <p>Espesor del ala ≤ 20 mm</p> <p>Espesor del ala > 20 mm</p>	<p>E</p> <p>E'</p>	<p>$3,6 \times 10^{11}$</p> <p>$1,2 \times 10^{11}$</p>	<p>31,0</p> <p>17,9</p>	<p>En el ala en el talón de la soldadura del extremo, o en el ala donde termina la soldadura longitudinal, o en el borde del ala con platabandas anchas</p>	
<p>3.6 – Metal base en la terminación de platabandas soldadas de longitud parcial, con conexiones de extremo abulonadas con deslizamiento crítico que satisfacen los requisitos del artículo 6.10.12.2.3.</p>	<p>B</p>	<p>$39,3 \times 10^{11}$</p>	<p>110,3</p>	<p>En el ala, en la terminación de la soldadura longitudinal</p>	
<p>3.7 – Metal base en donde terminan las platabandas soldadas de longitud parcial que son más anchas que el ala y sin soldaduras transversales en los extremos.</p>	<p>E'</p>	<p>$1,2 \times 10^{11}$</p>	<p>17,9</p>	<p>En el borde del ala, en el extremo de la soldadura de la platabanda</p>	

Continúa en siguiente página

Descripción	Categoría del detalle	Constante A (MPa ³)	Umbral (ΔF) _{TH} MPa	Punto de inicio de fisura potencial	Ejemplos ilustrativos
Sección 4 – Uniones de rigidizadores soldados					
4.1 – Metal base en el talón de la soldadura de filete entre un rigidizador transversal y el ala, o el alma. (Nota: incluye soldaduras similares en rigidizadores de apoyo y chapas de unión).	C'	14,4 × 10 ¹¹	82,7	Se inicia desde la discontinuidad geométrica en el talón de la soldadura de filete y se extiende en el metal base	
4.2 – Metal base y metal de soldadura en un rigidizador longitudinal del alma o del ala de una sección tipo cajón, conectado por soldaduras de filete continuas y paralelas a la dirección del esfuerzo aplicado.	B	39,3 × 10 ¹¹	110,3	Desde las discontinuidades superficiales o internas en la soldadura, lejos del extremo de la soldadura	
4.3 – Metal base en donde termina la soldadura de un rigidizador longitudinal al alma o al ala de una sección tipo cajón:					
Con el rigidizador unido por soldaduras de filete y sin proveer un radio de transición en la terminación:					
Espesor del rigidizador < 25 mm	E	3,6 × 10 ¹¹	31,0	En el miembro principal donde termina la soldadura, sobre el borde de la soldadura	
Espesor del rigidizador ≥ 25 mm	E'	1,2 × 10 ¹¹	17,9		
Con el rigidizador unido por soldaduras y con un radio de transición R provisto donde termina la soldadura, puliendo este tramo final de la soldadura:					
R ≥ 600 mm	B	39,3 × 10 ¹¹	68,9	En el miembro principal, cerca al punto de tangencia del radio	
600 mm > R ≥ 150 mm	C	14,4 × 10 ¹¹	17,9		
150 mm > R ≥ 50 mm	D	7,2 × 10 ¹¹	48,2		
50 mm > R	E	3,6 × 10 ¹¹	31,0		

Continúa en siguiente página

Descripción	Categoría del detalle	Constante A (MPa ³)	Umbral (ΔF) _{TH} MPa	Punto de inicio de fisura potencial	Ejemplos ilustrativos
Sección 5 – Juntas soldadas transversales a la dirección de los esfuerzos primarios					
<p>5.1 – Metal base y metal de soldadura en, o adyacente a, empalmes a tope con soldaduras acanaladas de penetración completa, con la calidad de la soldadura establecida mediante ensayos no destructivos (NDT) y con las soldaduras pulidas a ras y paralelas a la dirección del esfuerzo. Las transiciones en el espesor o ancho se harán con una pendiente no mayor que 1:2,5 (ver también la figura 6.13.6.2-1).</p> <p>$F_y < 690 \text{ MPa}$</p> <p>$F_y \geq 690 \text{ MPa}$</p>	<p>B</p> <p>B'</p>	<p>$39,3 \times 10^{11}$</p> <p>$20,0 \times 10^{11}$</p>	<p>110,3</p> <p>82,7</p>	<p>Desde discontinuidades internas en el metal de relleno o a lo largo del límite de fusión o al principio de la transición</p>	
<p>5.2 – Metal base y metal de soldadura en, o adyacente a, empalmes a tope con soldaduras acanaladas de penetración completa, con la calidad de la soldadura establecida mediante ensayos no destructivos (NDT) y con las soldaduras pulidas y paralelas a la dirección del esfuerzo en transiciones en el ancho hechas con un radio no menor que 0,60 m, con el punto de tangencia en el extremo de la soldadura acanalada (ver también la figura 6.13.6.2-1).</p>	<p>B</p>	<p>$39,3 \times 10^{11}$</p>	<p>110,3</p>	<p>Desde discontinuidades internas en el metal de relleno o discontinuidades a lo largo del límite de fusión</p>	

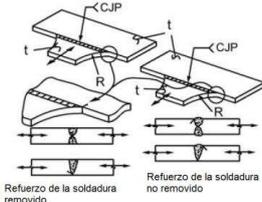
Continúa en siguiente página

Descripción	Categoría del detalle	Constante A (MPa ³)	Umbral (ΔF) _{TH} MPa	Punto de inicio de fisura potencial	Ejemplos ilustrativos
Sección 5 (Cont.) – Juntas soldadas transversales a la dirección de los esfuerzos primarios					
5.3 – Metal base y metal de soldadura en, o adyacente a, el talón de juntas en “T” o de esquina con soldaduras acanaladas de penetración completa, o en empalmes a tope con soldaduras acanaladas de penetración completa, con o sin transiciones en espesor, teniendo la transición una pendiente no mayor de 1:2,5 cuando no se remueve el refuerzo de la soldadura (Nota: se pueden presentar fisuras en el ala de la “T” debido a los esfuerzos de flexión fuera del plano inducidos por el alma).	C	$14,4 \times 10^{11}$	68,9	Desde la discontinuidad superficial en el talón de la soldadura, extendiéndose en el metal base o a lo largo del límite de fusión	
5.4 – Metal base y metal de soldadura en detalles donde elementos de chapas discontinuos sujetos a carga están conectados con un par de soldaduras de filete o soldaduras acanaladas de penetración parcial sobre lados opuestos de la chapa perpendicular a la dirección del esfuerzo primario.	C tal como fue ajustado en Ecuación 6.6.1.2.5-4	$14,4 \times 10^{11}$	68,9	Se inicia en la discontinuidad geométrica en el talón de la soldadura y se extiende en el metal base, o se inicia en la raíz de la soldadura sujeta a tracción y se extiende hacia arriba y luego a través de la soldadura	

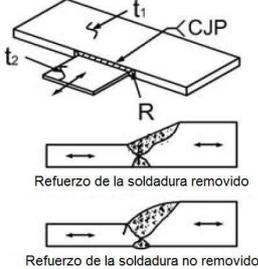
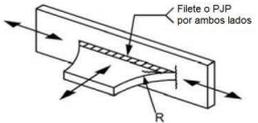
Continúa en siguiente página

Descripción	Categoría del detalle	Constante A (MPa ³)	Umbral (ΔF) _{TH} MPa	Punto de inicio de fisura potencial	Ejemplos ilustrativos
Sección 6 – Aditamentos soldados con carga transversal					
<p>6.1 – Metal base en un componente cargado longitudinalmente al cual se conecta un aditamento con carga transversal (por ejemplo, una chapa de unión lateral) unido por una soldadura paralela a la dirección del esfuerzo primario, incorporando un radio de transición R y puliendo la terminación de la soldadura.</p> <p>$R \geq 600 \text{ mm}$</p> <p>$600 \text{ mm} > R \geq 150 \text{ mm}$</p> <p>$150 \text{ mm} > R \geq 50 \text{ mm}$</p> <p>$50 \text{ mm} > R$</p> <p>Para cualquier radio de transición sin pulir la terminación de la soldadura (Nota: se verificará también la Condición 6.2, 6.3 o 6.4 según corresponda.)</p>	<p>B</p> <p>C</p> <p>D</p> <p>E</p> <p>E</p>	<p>$39,3 \times 10^{11}$</p> <p>$14,4 \times 10^{11}$</p> <p>$7,2 \times 10^{11}$</p> <p>$3,6 \times 10^{11}$</p> <p>$3,6 \times 10^{11}$</p>	<p>110,3</p> <p>68,9</p> <p>48,2</p> <p>31,0</p> <p>31,0</p>	<p>Cerca del punto de tangencia del radio en el borde del componente cargado longitudinalmente o en el borde de la terminación de la soldadura cuando ésta no ha sido pulida.</p>	<p>The diagram shows two views of a welded detail. The top view shows a longitudinal component with a transverse plate attached by a weld. A transition radius R is indicated at the junction. Labels 'CPJ, PJP o filete' point to the weld toe. The bottom view shows a similar detail with a circular hole in the longitudinal component, also showing the transition radius R and the weld toe location.</p>

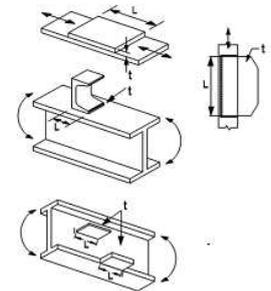
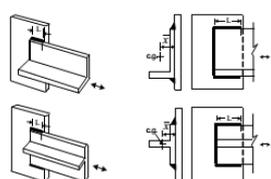
Continúa en siguiente página

Descripción	Categoría del detalle	Constante A (MPa ³)	Umbral (ΔF) _{TH} MPa	Punto de inicio de fisura potencial	Ejemplos ilustrativos
Sección 6 (Cont.) – Aditamentos soldados con carga transversal					
<p>6.2 – Metal base en un aditamento cargado transversalmente (por ejemplo, una chapa de unión lateral) unido a un componente del mismo espesor cargado longitudinalmente por una soldadura acanalada de penetración completa paralela a la dirección del esfuerzo principal e incorporando un radio de transición R, con la calidad de la soldadura establecida mediante NDT y con acabado pulido en la terminación de la soldadura.</p> <p>Cuando se remueve el refuerzo de la soldadura:</p> <p>$R \geq 600 \text{ mm}$</p> <p>$600 \text{ mm} > R \geq 150 \text{ mm}$</p> <p>$150 \text{ mm} > R \geq 50 \text{ mm}$</p> <p>$50 \text{ mm} > R$</p> <p>Cuando no se remueve el refuerzo de la soldadura:</p> <p>$R \geq 600 \text{ mm}$</p> <p>$600 \text{ mm} > R \geq 150 \text{ mm}$</p> <p>$150 \text{ mm} > R \geq 50 \text{ mm}$</p> <p>$50 \text{ mm} > R$</p> <p>(Nota: se debe verificar también la Condición 6.1)</p>					
	B	$39,3 \times 10^{11}$	110,3	Cerca de los puntos de tangencia del radio o en la soldadura o en el límite de fusión del componente cargado longitudinalmente o del aditamento cargado transversalmente	 <p>Refuerzo de la soldadura removido</p> <p>Refuerzo de la soldadura no removido</p>
	C	$14,4 \times 10^{11}$	68,9		
	D	$7,2 \times 10^{11}$	48,2		
	E	$3,6 \times 10^{11}$	31,0	En el talón de la soldadura, ya sea a lo largo del borde del componente cargado longitudinalmente o a lo largo del borde del aditamento cargado transversalmente	
	E	$3,6 \times 10^{11}$	31,0		

Continúa en siguiente página

Descripción	Categoría del detalle	Constante A (MPa ³)	Umbral (ΔF) _{TH} MPa	Punto de inicio de fisura potencial	Ejemplos ilustrativos
Sección 6 (Cont.) – Aditamentos soldados con carga transversal					
<p>6.3 – Metal base en un aditamento cargado transversalmente (por ejemplo, una chapa de unión lateral) unido a un componente de diferente espesor cargado longitudinalmente por una soldadura acanalada de penetración completa paralela a la dirección del esfuerzo principal e incorporando un radio de transición R, con la calidad de la soldadura establecida mediante NDT y con acabado pulido en la terminación de la soldadura:</p> <p>Cuando se remueve el refuerzo de la soldadura:</p> <p>R ≥ 50 mm</p> <p>R < 50 mm</p> <p>Para cualquier radio de transición de la soldadura cuando no se remueve el refuerzo de la soldadura (Nota: se debe verificar también la Condición 6.1)</p>				<p>En el talón de la soldadura a lo largo del borde de la chapa más delgada</p> <p>En la terminación de la soldadura con radio de transición pequeño</p>	 <p>Diagrama superior: Vista tridimensional de una soldadura acanalada en un aditamento de espesor t₂ unido a una chapa de espesor t₁. Se muestra el radio de transición R y el punto de inicio de fisura potencial (CJP).</p> <p>Diagrama inferior izquierdo: Vista lateral de la soldadura con el refuerzo removido, mostrando un talón de soldadura.</p> <p>Diagrama inferior derecho: Vista lateral de la soldadura con el refuerzo no removido, mostrando un talón de soldadura con un radio de transición pequeño.</p>
<p>6.4 – Metal base en un aditamento cargado transversalmente (por ejemplo, una chapa de unión lateral) unido a un componente cargado longitudinalmente por una soldadura de filete o una soldadura acanalada de penetración parcial paralela a la dirección del esfuerzo principal (Nota: se debe verificar también la Condición 6.1)</p>	Ver la Condición 5.4				 <p>Diagrama: Vista tridimensional de una soldadura de filete o PJP en un aditamento de espesor t₂ unido a una chapa de espesor t₁. Se muestra el radio de transición R y el filete o PJP por ambos lados.</p>

Continúa en siguiente página

Descripción	Categoría del detalle	Constante A (MPa ³)	Umbral $(\Delta F)_{TH}$ MPa	Punto de inicio de fisura potencial	Ejemplos ilustrativos
Sección 7 – Aditamentos soldados con carga longitudinal					
<p>7.1 – Metal base en un componente cargado longitudinalmente al cual se conecta un aditamento de espesor t y longitud L en la dirección del esfuerzo primario con soldaduras acanaladas o de filete paralelas o transversales a la dirección del esfuerzo primario, donde el detalle no incorpora un radio de transición:</p> <p>$L < 50 \text{ mm}$</p> <p>$50 \text{ mm} \leq L \leq 12 \cdot t$ o 100 mm</p> <p>$L > 12 \cdot t$ o 100 mm:</p> <p>$t < 25 \text{ mm}$</p> <p>$t \geq 25 \text{ mm}$</p> <p>(Nota. Ver la Condición 7.2 para conexiones soldadas de miembros en perfil ángulo o de sección "T" a chapas de nudo o de unión)</p>	<p>C</p> <p>D</p> <p>E</p> <p>E'</p>	<p>$14,4 \times 10^{11}$</p> <p>$7,2 \times 10^{11}$</p> <p>$3,6 \times 10^{11}$</p> <p>$1,2 \times 10^{11}$</p>	<p>68,9</p> <p>48,2</p> <p>31,0</p> <p>17,9</p>	<p>En el miembro primario en el extremo de la soldadura en el talón de la misma</p>	
<p>7.2 – Metal base en miembros de perfil ángulo o de sección "T" conectados a chapas de nudo o de unión por soldaduras longitudinales de filete a lo largo de ambos lados del elemento conectado de la sección transversal del miembro. El rango de los esfuerzos de fatiga se calculará sobre el área neta efectiva del miembro, $A_e = U \cdot A_g$, donde: $U = (1 - \bar{x}/L)$ y donde A_g es la sección bruta del miembro. \bar{x} es la distancia del baricentro del miembro a la superficie de la chapa de nudo o de unión y L es la máxima longitud de las soldaduras longitudinales. Al calcular el rango de esfuerzos no se tendrá en cuenta el efecto del momento debido a las excentricidades en la conexión (McDonald and Frank, 2009).</p>	<p>E</p>	<p>$3,6 \times 10^{11}$</p>	<p>31,0</p>	<p>Talón de las soldaduras de filete en el elemento conectado</p>	

Continúa en siguiente página

Descripción	Categoría del detalle	Constante A (MPa ³)	Umbral (ΔF) _{TH} MPa	Punto de inicio de fisura potencial	Ejemplos ilustrativos
Sección 8 – Misceláneos					
<p>8.1 – Soldadura de nervaduras al tablero, desde un lado, con penetración del 80% (mínimo 70%) y abertura en la raíz \leq 0,5 mm antes soldar:</p> <p>Nivel de diseño admisible 1, 2 o 3</p>	C	$14,4 \times 10^{11}$	68,9	Ver figura	
<p>8.2 – Empalme de nervadura soldado. Soldadura acanalada a tope desde un solo lado, con barra de soporte permanente dejado en el lugar. Abertura de la soldadura mayor que el espesor de la pared de la nervadura.</p> <p>Nivel de diseño admisible 1, 2 o 3</p>	D	$7,2 \times 10^{11}$	48,2	Ver figura	
<p>8.3 – Empalme de nervadura abulonado - Metal base en la sección bruta de una conexión de deslizamiento crítico de alta resistencia.</p> <p>Nivel de diseño admisible 1, 2 o 3</p>	B	$39,3 \times 10^{11}$	110,3	Ver figura	
<p>8.4 – Chapa de empalme del tablero (en el plano del tablero) – Empalme longitudinal o transversal a tope con soldadura acanalada desde un solo lado, con barra de soporte permanente dejado en el lugar.</p> <p>Nivel de diseño admisible 1, 2 o 3</p>	D	$7,2 \times 10^{11}$	48,2	Ver figura	
<p>8.5 – Soldadura de la nervadura a la vigueta de piso (en la nervadura) – Espesor de la nervadura en la soldadura (de filete o penetración completa) entre la nervadura y la vigueta de piso.</p> <p>Nivel de diseño admisible 1, 2 o 3</p>	C	$14,4 \times 10^{11}$	68,9	Ver figura	

Continúa en siguiente página

Descripción	Categoría del detalle	Constante A (MPa ³)	Umbral (Δf) _{TH} MPa	Punto de inicio de fisura potencial	Ejemplos ilustrativos
Sección 8 (Cont.) – Misceláneos					
8.6 – Soldadura de la nervadura a la vigueta de piso (en el alma de la vigueta de piso) – Alma de la vigueta de piso en la soldadura (de filete, de penetración parcial o completa) entre la nervadura y la vigueta de piso. Nivel de diseño admisible 1, 2 o 3	C (Ver Nota 1)	14,4 × 10 ¹¹	68,9	Ver figura	
8.7 – Recorte en la vigueta de piso – Metal base en el borde con corte por flama alisado de acuerdo con AWS D1.5 Nivel de diseño admisible 1, 2 o 3	A	81,9 × 10 ¹¹	165,4	Ver figura	
8.8 – Espesor de la nervadura en el recorte – Espesor de la nervadura en la soldadura (de filete, de penetración parcial o completa) entre la nervadura y la vigueta de piso. Nivel de diseño admisible 1, 2 o 3	C	14,4 × 10 ¹¹	68,9	Ver figura	
8.9 – Nervadura a chapa de tablero en la vigueta de piso. Nivel de diseño admisible 1, 2 o 3	C	14,4 × 10 ¹¹	68,9	Ver figura	

Nota 1: si los esfuerzos están controlados por las componentes en el plano en soldaduras de filete o de penetración parcial, se tendrá en cuenta la Ecuación 6.6.1.2.5-4. En este caso, se debe calcular Δf en la mitad del espesor y no se requiere aplicar el procedimiento de extrapolación especificado en el artículo 9.8.3.4.3.

Continúa en siguiente página

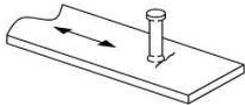
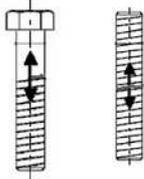
Descripción	Categoría del detalle	Constante A (MPa ³)	Umbral (ΔF) _{TH} MPa	Punto de inicio de fisura potencial	Ejemplos ilustrativos
Sección 9 – Misceláneos					
9.1 – Metal base en los conectores de corte tipo stud utilizando soldaduras de filete o automática.		14,4 × 10 ¹¹	68,9	En el talón de la soldadura en el metal base	
9.2 – Bulones no pretensados de alta resistencia, bulones comunes, varillas de anclaje roscadas y de suspensión con roscas cortadas, rectificadas o laminadas. Se debe utilizar el rango de esfuerzos sobre el área a tracción debido a la sobrecarga más la acción de palanca cuando sea aplicable.				En la raíz de las roscas, extendiéndose hacia el área a tracción	
(Fatiga II) Vida finita	E'	1,2 × 10 ¹¹	N/A		
(Fatiga I) Vida infinita	D	N/A	48,2		

Tabla 6.6.1.2.3-2. (ADTT)_{SL} para 75 años equivalente a vida infinita

Categoría del detalle para diseño a fatiga	(ADTT) _{SL} para 75 años equivalente a vida infinita (camiones por día)
A	530
B	860
B'	1035
C	1290
C'	745
D	1875
E	3530
E'	6485

6.6.1.2.4. Detallado para reducir las restricciones

Las estructuras soldadas se detallarán para evitar condiciones que generen juntas altamente restringidas y discontinuidades geométricas que se asimilen a fisuras susceptibles a fracturas inducidas por restricción. Las soldaduras que son paralelas al esfuerzo primario pero interrumpidas por miembros que se cruzan se deben detallar para permitir un espacio mínimo de **25 mm** entre los talones de soldaduras.

6.6.1.2.5. Resistencia a la fatiga

A excepción de lo especificado a continuación, la resistencia nominal a la fatiga se deberá tomar como sigue:

- Para la combinación de cargas Fatiga I y vida infinita:

$$(\Delta F)_n = (\Delta F)_{TH} \quad (6.6.1.2.5-1)$$

- Para la combinación de cargas Fatiga II y vida finita:

$$(\Delta F)_n = \left(\frac{A}{N} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (6.6.1.2.5-2)$$

con N calculado como sigue:

$$N = (365)(75)n(ADTT)_{SL} \quad (6.6.1.2.5-3)$$

donde:

A = constante tomada de la Tabla 6.6.1.2.5-1, en MPa³.

n = número de ciclos del rango de tensiones por pasada de camión, tomado de la Tabla 6.6.1.2.5-2.

(ADTT)_{SL} = ADTT en un solo carril tal como se especifica en el artículo 3.6.1.4.

(ΔF)_{TH} = umbral de fatiga para amplitud constante tomado de la Tabla 6.6.1.2.5-3, en MPa.

La resistencia nominal a la fatiga para el metal base y el metal de la soldadura en detalles donde los elementos discontinuos tipo chapa, cargados, se conectan con un par de soldaduras de filete o con soldaduras acanaladas de penetración parcial, aplicadas en lados opuestos de la chapa y en dirección perpendicular a la dirección de los esfuerzos principales, se deberá tomar como:

$$(\Delta F)_n = (\Delta F)_n^c \left(\frac{0,65 - 0,59 \left(\frac{2a}{t_p} \right) + 0,72 \left(\frac{w}{t_p} \right)}{t_p^{0,167}} \right) \leq (\Delta F)_n^c \quad (6.6.1.2.5-4)$$

donde:

(ΔF)_n^c = resistencia nominal a la fatiga correspondiente a la categoría **C** para el diseño a fatiga, en MPa.

2a = longitud no soldada de la cara de la raíz en dirección del espesor de la chapa cargada, en mm. Para conexiones con soldaduras de filete, el valor **(2a/t_p)** se deberá tomar igual a **1,0**.

t_p = espesor de la chapa cargada, en mm.

w = dimensión (cateto) del chaflán de refuerzo o de contorno, de existir, en dirección del espesor de la chapa cargada, en mm.

Tabla 6.6.1.2.5-1. Constante A, según la Categoría del detalle para diseño a fatiga

Categoría del detalle para diseño a fatiga	Constante A, $\times 10^{11}$ (MPa³)
A	82,0
B	39,3
B´	20,0
C	14,4
C´	14,4
D	7,21
E	3,61
E´	1,28
bulones M 164 (A325) en tracción axial	5,61
bulones M 253 (A490) en tracción axial	10,3

Tabla 6.6.1.2.5-2. Ciclos por pasada de camión, n

Miembros longitudinales	Longitud del tramo	
	> 12 m	≤ 12 m
Vigas primarias de un solo tramo	1,0	2,0
Vigas primarias continuas		
1. cerca de un apoyo interior	1,5	2,0
2. otras ubicaciones	1,0	2,0
Vigas primarias en voladizo	5,0	
Chapas de unión en tableros ortótropos sujetos al ciclo de carga de la rueda	5,0	
Reticulados	1,0	
Miembros transversales	Separación	
	> 6 m	≤ 6 m
	1,0	2,0

Tabla 6.6.1.2.5-3. Umbrales de fatiga para amplitud constante

Categoría del detalle para diseño a fatiga	Umbral, en MPa
A	165,0
B	110,0
B´	82,7
C	69,0
C´	82,7
D	48,3
E	31,0
E´	17,9
bulones M 164 (A325) en tracción axial	214,0
bulones M 253 (A490) en tracción axial	262,0

6.6.1.3. Fatiga inducida por distorsión

Se deberá proveer trayectorias de cargas suficientes para transmitir todas las fuerzas intencionales y no intencionales, conectando todos los miembros transversales a los componentes apropiados incluyendo entre éstos la sección transversal de los miembros longitudinales. Las trayectorias de carga se deberán proveer conectando los diferentes componentes ya sea mediante soldaduras o bulones.

Para controlar el pandeo del alma y la flexión elástica del alma, se deberán cumplir los requisitos del artículo 6.10.5.3.

6.6.1.3.1. Chapas transversales de unión

Excepto lo especificado en este artículo, las chapas de unión se deberán soldar o abulonar tanto al ala comprimida como al ala traccionada de la sección transversal cuando haya:

- Diafragmas o marcos transversales de unión, conectados a chapas transversales de unión o a rigidizadores transversales que funcionan como placas de unión,
- Diafragmas o marcos transversales internos o externos, conectados a chapas transversales de unión o a rigidizadores transversales que funcionan como placas de unión, y
- Vigas de piso o largueros, conectados a chapas transversales de unión o a rigidizadores transversales que funcionan como placas de unión.

En el caso de puentes rectos no oblicuos, y en ausencia de información más precisa, la conexión soldada o abulonada se debe diseñar para resistir una carga lateral de **90 kN**.

Se utilizan diafragmas intermedios de conexión en:

- puentes rectos sobre vigas laminadas con tableros reforzados de sección compuesta cuyos apoyos son perpendiculares u oblicuos en no más de **10°** de la normal, y
- con los diafragmas intermedios ubicados en líneas contiguas paralelas a los apoyos.

Se pueden utilizar perfiles ángulos o chapas de unión, inferiores a la altura total del extremo, abulonados o soldados al alma de la viga, para conectar los diafragmas. Los ángulos o chapas extremos deben tener al menos dos tercios de la altura del alma. Para ángulos abulonados, se debe proporcionar un espacio mínimo de **75 mm** entre los agujeros superior e inferior y en cada ala. Se deben cumplir las separaciones entre bulones especificadas en el artículo 6.13.2.6. Para ángulos o chapas soldadas, se debe proporcionar un espacio mínimo de **75 mm** entre los extremos superior e inferior de las soldaduras del ángulo o de la chapa y en cada ala; el talón y punta de los ángulos extremos o ambos lados de la chapa de unión, según sea aplicable, se deberán soldar al alma de la viga. No se deberá soldar a lo largo de la parte superior e inferior de los ángulos extremos o chapas de unión.

6.6.1.3.2. Chapas laterales de unión

Si no es posible conectar las chapas laterales de unión a las alas, las chapas laterales de unión sobre las almas rigidizadas se deben ubicar por encima o por debajo del ala a una distancia vertical no menor que la mitad del ancho del ala. Las chapas laterales de unión conectadas a las almas no rigidizadas se deben ubicar como mínimo a **0,15 m** por encima o por debajo del ala, sin que esta distancia sea menor que la mitad del ancho del ala, tal como se especificó anteriormente.

Los extremos de las barras del sistema de arriostramiento lateral sobre la chapa lateral de unión, se deberán mantener como mínimo a **0,10 m** del alma y de cualquier rigidizador transversal.

Si se utilizan rigidizadores, las chapas laterales de unión se deberán centrar sobre el rigidizador, ya sea que la chapa esté o no del mismo lado del alma que el rigidizador. Si la chapa lateral de unión está del mismo lado del alma que el rigidizador, el rigidizador transversal en esta ubicación deberá ser discontinuo y conectarse a ambas alas y a la chapa de unión. El detalle de soldaduras de las chapas laterales de unión, deberá también cumplir con los requisitos del artículo 6.6.1.2.4.

6.6.1.3.3. Tableros ortótropos

Los detalles deberán satisfacer todos los requisitos del artículo 9.8.3.6.

6.6.2. Fractura

Excepto lo especificado en este artículo, se requerirá de manera obligatoria la ejecución de ensayos Charpy con entalladura en V para todos los componentes y conexiones de la superestructura longitudinal primaria que soportan los esfuerzos de tracción debidos a la combinación de cargas correspondientes a Resistencia I, tal como se especifica en la Tabla 3.4.1-1, y para las vigas transversales de piso sujetas a dichos esfuerzos. A discreción del propietario, se podrán exigir ensayos Charpy con entalladura en V para otros componentes y conexiones primarios que soportan los esfuerzos de tracción debidos a la combinación de cargas correspondientes a Resistencia I. Los pliegos de especificaciones técnicas deberán señalar de manera clara todos los componentes y conexiones que requieran la ejecución de ensayos Charpy con entalladura en V.

A menos que en los pliegos de especificaciones técnicas se indique lo contrario, no se considerarán obligatorios los requerimientos de ensayos Charpy con entalladura en V en los siguientes elementos:

- Chapas de empalme y de relleno en empalmes abulonados conectados en doble corte;
- Rigidizadores transversales intermedios del alma que no actúen como chapas de unión;
- Apoyos, placas de bandeja superior del apoyo, y placas de asiento del apoyo;
- Juntas de expansión; y
- Material de drenaje.

La zona de temperatura apropiada se deberá determinar a partir de la mínima temperatura de servicio aplicable especificada en la Tabla 6.6.2-1 y deberá estar indicada en el pliego de condiciones.

Los requisitos de la energía de impacto, para el ensayo Charpy con entalladura en V, deberán estar de acuerdo con lo que se indica en la Tabla 6.6.2-2 para la zona de temperatura apropiada. La tensión de fluencia se deberá tomar como el valor indicado en el certificado de la siderúrgica.

El ingeniero tendrá la responsabilidad de determinar cuál componente, si lo hay, es un miembro de fractura crítica (FCM). A menos que un análisis riguroso con supuestos componentes fisurados hipotéticamente confirme la resistencia y estabilidad de la estructura hipotéticamente dañada, las ubicaciones de todos los FCM deberán estar claramente indicadas en los pliegos de especificaciones técnicas. Los pliegos de condiciones deberán requerir que los FCM sean fabricados de acuerdo con la Sección 12 del AASHTO/AWS D1.5M/D1.5 Bridge Welding Code, hasta tanto se desarrolle un documento específico al respecto.

Cualquier accesorio cuya longitud en la dirección del esfuerzo de tracción sea mayor que **0,10 m** y que esté soldado a un área de tracción de un componente de un FCM deberá ser considerado parte del componente solicitado a tracción y considerado también como un elemento de fractura crítica.

Tabla 6.6.2-1. Designaciones de las zonas de temperatura para los requisitos del ensayo Charpy con entalladura en V

Temperatura mínima de servicio	Zona de temperatura
Mayor o igual que -18°C	1
Entre -19°C y -34°C	2
Entre -35°C y -51°C	3

Tabla 6.6.2-2. Requisitos de la energía de impacto para el ensayo Charpy con entalladura en V

Grado (Punto Fluencia / Resist. Fluencia)	Espesor (mm)	Elementos críticos de fractura			Elementos no críticos de fractura			
		Mínimo valor de energía para ensayo (Joules)	Zona 1 (Joules a $^{\circ}\text{C}$)	Zona 2 (Joules a $^{\circ}\text{C}$)	Zona 3 (Joules a $^{\circ}\text{C}$)	Zona 1 (Joules a $^{\circ}\text{C}$)	Zona 2 (Joules a $^{\circ}\text{C}$)	Zona 3 (Joules a $^{\circ}\text{C}$)
250	$t \leq 100$	27	34 a 21	34 a 4	34 a -12	20 a 21	20 a 4	20 a -12
345/345S/345W	$t \leq 50$	27	34 a 21	34 a 4	34 a -12	20 a 21	20 a 4	20 a -12
	$50 < t \leq 100$	33	41 a 21	41 a 4	41 a -12	27 a 21	27 a 4	27 a -12
HPS 345W	$t \leq 100$	33	41 a -12	41 a -12	41 a -12	27 a -12	27 a -12	27 a -12
HPS 485W	$t \leq 100$	38	48 a -23	48 a -23	48 a -23	25 a -23	25 a -23	25 a -23
HPS 690W	$t \leq 65$	38	48 a -34	48 a -34	48 a -34	25 a -34	25 a -34	25 a -34
	$65 < t \leq 100$	49	No permitido	No permitido	No permitido	48 a -34	48 a -34	48 a -34

6.7. REQUISITOS GENERALES DE DIMENSIONAMIENTO Y DETALLADO

6.7.1. Longitud efectiva del tramo

Las longitudes efectivas de los tramos se deben tomar como la distancia entre los centros de los apoyos u otros puntos de soporte.

6.7.2. Contraflecha para carga permanente

En caso que se decida realizar una contraflecha, se debe generar la misma en las estructuras de acero durante la fabricación para compensar el alineamiento vertical y la flecha debida a la carga permanente.

Se deberán informar separadamente las flechas debidas al peso del acero y al peso del hormigón. Las flechas debidas a las superficies futuras de rodamiento u otras cargas que no se apliquen en la etapa constructiva deberán ser informadas separadamente.

Se debe especificar la contraflecha vertical para tener en cuenta la flecha calculada por la carga permanente.

Cuando se especifique un sistema de construcción por etapas, se debe considerar la secuencia de aplicación de cargas al determinar las contraflechas.

En los sistemas de reticulado, arco y atirantados, las longitudes de los componentes se podrán modificar de manera selectiva, según corresponda, para:

- Ajustar la flecha debida a la carga permanente para lograr la posición geométrica final,
- Reducir o eliminar el acortamiento de los nervios, y
- Ajustar el diagrama de momentos debido a las cargas permanentes en estructuras estáticamente indeterminadas.

Para puentes rectos oblicuos con vigas **I** y puentes con curvatura horizontal con vigas **I**, con o sin apoyos oblicuos, los pliegos de condiciones deben claramente especificar la posición en que deben quedar las vigas primarias después del montaje y la condición bajo la cual se debe llegar teóricamente a dicha posición. Se deben aplicar también los requisitos del artículo 2.5.2.6.1 relativas a las rotaciones de los apoyos.

6.7.3. Espesor mínimo del acero

El acero estructural, incluyendo el utilizado para el sistema de arriostramiento, marcos transversales, y todo tipo de chapas de nudo, pero exceptuando las almas de los perfiles laminados, las nervaduras cerradas en los tableros ortótropos, las placas de relleno, y las barandas de acero, no deberá tener menos de **8 mm** de espesor.

Para tableros ortótropos, el espesor del alma de las vigas laminadas o perfiles en canal laminados y las nervaduras cerradas en el tablero ortótropo no deberán ser menores que **6,5 mm**, el espesor de la chapa del tablero no deberá ser menor que **16 mm** ni menor que el cuatro por ciento de la mayor separación entre las nervaduras, y el espesor de las nervaduras cerradas no deberá ser menor que **4,8 mm**.

Si se espera que el metal esté expuesto a un ambiente corrosivo severo, se deberá proporcionar protección especial contra la corrosión o especificar un espesor adicional como metal de sacrificio.

6.7.4. Diafragmas y marcos transversales

6.7.4.1. Requisitos generales

Los diafragmas o marcos transversales se pueden colocar en el extremo de la estructura, a través de los apoyos interiores, y de manera intermitente a lo largo del tramo.

Se debe analizar la necesidad de utilizar diafragmas o marcos transversales para todas las etapas de los supuestos procedimientos constructivos y también para la condición final.

Este análisis debe incluir, pero no limitarse a, lo siguiente:

- Transferencia de cargas laterales de viento desde la parte inferior de la viga primaria al tablero y desde el tablero a los apoyos,
- Estabilidad del ala inferior para todas las cargas cuando se encuentra en compresión,
- Estabilidad del ala superior en compresión antes del curado del tablero,
- Consideración de cualquier efecto de la flexión lateral del ala, y
- Distribución de las cargas verticales permanentes y vivas, aplicadas a la estructura.

Se podrán especificar que los diafragmas o marcos transversales no requeridos para la condición definitiva sean temporales. No se debe suponer que los encofrados de tableros metálicos dejados en el lugar proporcionen al ala superior, sujeta a compresión, la adecuada estabilidad antes del curado del tablero.

Si el modelo estructural utilizado para determinar las solicitaciones incluye marcos transversales o diafragmas permanentes, éstos se deberán diseñar para las solicitaciones calculadas para todos los estados límite aplicables. Como mínimo, los diafragmas y marcos transversales se deben diseñar para transferir las cargas de viento de acuerdo con los requisitos del artículo 4.6.2.7 y deberán satisfacer todos los requisitos de esbeltez aplicables establecidos en los artículos 6.8.4 o 6.9.3. Los miembros de los diafragmas y marcos transversales, en puentes curvados horizontalmente, se deben considerar como miembros principales.

Las chapas de unión para los diafragmas y marcos transversales deben satisfacer los requisitos especificados en el artículo 6.6.1.3.1. Si las alas del diafragma o los cordones del marco transversal no están conectadas directamente a las alas de la viga primaria, se tomarán las medidas para transferir la fuerza horizontal calculada en estos diafragmas o marcos transversales a dichas alas a través de las placas de unión, excepto en aquellos casos donde para conectar diafragmas intermedios se utilicen ángulos o placas de unión extremos que no cubran la altura total, según se permite en el artículo 6.6.1.3.1.

En los extremos del puente y en los puntos intermedios donde se interrumpa la continuidad de la losa, los bordes de la losa deberán estar soportados mediante diafragmas u otros medios adecuados tal como se especifica en el artículo 9.4.4.

6.7.4.2. Barras de sección I

Los diafragmas o marcos transversales para vigas laminadas y vigas armadas deben ser tan altos como sea posible, como mínimo **0,5 veces** la altura de la viga para vigas laminadas y **0,75 veces** la altura de la viga para vigas armadas. Los marcos transversales en puentes curvados horizontalmente deben contener diagonales y cordones superiores e inferiores.

Los diafragmas de los extremos se deben diseñar para las fuerzas y la distorsión transmitidas por el tablero y la junta del tablero. Al diseñar la conexión entre el componente longitudinal y el diafragma se deben considerar los momentos extremos de los diafragmas. Los diafragmas con una relación entre el tramo y la altura mayor o igual que **4,0** pueden ser diseñados como vigas.

Si los apoyos no son oblicuos, los diafragmas o marcos transversales intermedios se deben colocar en líneas contiguas perpendiculares a las vigas primarias.

Si las líneas de apoyo no son oblicuas en más de **20°** de la normal, se pueden colocar diafragmas o marcos transversales intermedios en líneas oblicuas contiguas paralelas a las líneas de apoyo oblicuas.

Si las líneas de apoyo son oblicuas en más de **20°** de la normal, los diafragmas o marcos transversales intermedios deben ser perpendiculares a las vigas primarias y se pueden colocar en líneas continuas o discontinuas.

Si la línea de apoyo sobre una pila interior es oblicua en más de **20°** de la normal, a discreción del propietario se puede considerar la eliminación de los diafragmas o marcos transversales a lo largo de la línea de apoyo interior oblicua. Si se emplean líneas discontinuas de diafragmas o marcos transversales intermedios orientados perpendicularmente a las vigas primarias en la zona próxima de esa línea de apoyo, se debe hacer coincidir el diafragma o marco transversal, ya sea oblicuo o perpendicular, con cada apoyo que resiste la fuerza lateral.

Si el diafragma o marco transversal extremo es oblicuo, se debe considerar el efecto de la componente tangencial de la fuerza transmitida por el elemento oblicuo a la viga primaria.

Los diafragmas o marcos transversales en los apoyos se deben dimensionar para transmitir todas las componentes laterales de la fuerza desde la superestructura a los apoyos que provean la restricción lateral.

La separación, L_b , de los diafragmas o marcos transversales intermedios en puentes con vigas I curvadas horizontalmente no deberá exceder el siguiente límite en la condición de montaje:

$$L_b \leq L_r \leq R/10 \quad (6.7.4.2-1)$$

donde:

L_r = límite de la longitud no arriostrada determinado de la Ecuación 6.10.8.2.3-5, en mm.

R = radio mínimo de la viga primaria dentro del panel, en mm.

En ningún caso L_b deberá ser superior a **9 m**.

6.7.4.3. Miembros de sección tipo cajón

En las secciones tipo cajón se deberán proveer diafragmas internos sobre cada apoyo para resistir la distorsión de la sección transversal del cajón. Estos diafragmas se deberán diseñar para resistir los momentos de torsión en el cajón y para transmitir las fuerzas verticales y laterales del cajón a los apoyos.

Para las secciones transversales compuestas por dos o más cajones, se deberán utilizar diafragmas o marcos transversales externos entre los cajones sobre los apoyos extremos. En los apoyos internos se deberán igualmente utilizar diafragmas o marcos transversales externos entre las líneas de vigas primarias, excepto cuando el análisis indique que los cajones son torsionalmente estables sin estos miembros, particularmente durante el montaje. En ubicaciones donde se utilicen diafragmas o marcos transversales externos se deberán suministrar adicionalmente diafragmas o marcos transversales internos.

Si por razones de continuidad o para resistir las fuerzas de torsión generadas por los miembros estructurales se utiliza un diafragma interno tipo placa, éste se deberá conectar a las almas y alas de la sección tipo cajón. En los diafragmas internos intermedios se debe proveer aberturas de acceso con dimensiones mínimas de **0,45 m** de ancho y **0,60 m** de altura. El diseño del diafragma debe considerar el efecto de la abertura de acceso en los esfuerzos. Puede ser requerido el uso de refuerzo alrededor de la abertura.

Se deberán proveer diafragmas o marcos transversales internos intermedios. Para todas las secciones tipo cajón simple, secciones con curvatura horizontal, y secciones compuestas por dos o más cajones, en las secciones transversales de los puentes que no satisfacen los requisitos del artículo 6.11.2.3 o tengan alas de la sección tipo cajón que no sean plenamente efectivas de acuerdo con los requisitos del artículo 6.11.1.1, la separación entre los diafragmas o marcos transversales internos no deberá ser mayor de **12 m**.

Las almas de los diafragmas internos y externos deberán satisfacer la Ecuación 6.10.1.10.2-2. La resistencia nominal al corte de las almas de los diafragmas internos y externos se deberá determinar con la Ecuación 6.10.9.3.3-1.

6.7.4.4. Reticulados y arcos

Se deberán proveer diafragmas en las uniones a las vigas del tablero y en otras uniones o puntos de aplicación de cargas concentradas. También se podrán proveer diafragmas internos para mantener la alineación de los miembros.

Las chapas de nudo que soporten un perno del pedestal en el extremo de un reticulado se deberán conectar mediante un diafragma. Siempre que sea posible las almas del pedestal se deberán conectar entre sí mediante un diafragma.

Si el extremo de la chapa de alma o platabanda se encuentra a una distancia mayor o igual que **1,20 m** del punto de intersección de los miembros, se deberá proveer un diafragma entre las chapas de nudo que sujetan los miembros principales.

6.7.5. Arriostramiento lateral

6.7.5.1. Requisitos generales

Se deberá analizar la necesidad de utilizar un arriostramiento lateral para todas las etapas de los procedimientos constructivos previstos así como para la condición final.

Si es requerido, el arriostramiento lateral se debe colocar en, o en proximidad de, el plano del ala o cordón que se esté arriostrando. El análisis para determinar si se requiere el sistema de arriostramiento lateral deberá incluir, pero no limitarse, a lo siguiente:

- Transferencia de cargas laterales de viento a los apoyos tal como se especifica en el artículo 4.6.2.7,
- Transferencia de cargas laterales tal como se especifica en el artículo 4.6.2.8, y
- Control de las deformaciones y la geometría de la sección transversal durante la fabricación, el montaje, y la colocación del tablero.

Los miembros del arriostramiento lateral que no se requieran para la condición final no se deben considerar como miembros principales, y podrán ser retirados a discreción del propietario.

Si el modelo estructural, utilizado para determinar las solicitaciones debidas a la sobrecarga, incluye los miembros de arriostramiento lateral permanente, éstos se deberán diseñar para todos los estados límite aplicables y se deberán considerar como miembros principales. Se deben aplicar los requisitos de los artículos 6.8.4 y 6.9.3.

Las chapas de unión para los arriostramientos laterales deberán satisfacer los requisitos especificados en el artículo 6.6.1.3.2.

Cuando el arriostramiento lateral se diseñe para cargas sísmicas, se deberán aplicar los requisitos del artículo 4.6.2.8.

6.7.5.2. Miembros de sección I

Las alas que tengan un arriostramiento continuo no deben requerir de un arriostramiento lateral.

Para puentes con vigas I se debe considerar la necesidad de utilizar arriostramiento lateral, en las zonas adyacentes a los apoyos, para proporcionar rigidez durante la construcción.

6.7.5.3. Secciones tipo omega invertida

Se debe proveer arriostramiento lateral superior entre las alas comunes de las secciones individuales del tipo omega invertida. Para vigas primarias rectas, se debe analizar la necesidad de utilizar un sistema de arriostramiento lateral sobre toda la longitud para asegurar la estabilidad y el adecuado control de las deformaciones de la sección tanto durante el montaje como durante la colocación del tablero de hormigón. Se debe analizar la estabilidad de las alas sujetas a compresión entre puntos de panel del sistema de

arriostramiento lateral durante el hormigonado del tablero. Si no se proporciona un sistema de arriostramiento lateral sobre toda la longitud, se deberá analizar la estabilidad local de las alas superiores y la estabilidad global de las secciones individuales del tipo omega invertida para la secuencia constructiva supuesta por el Ingeniero. Para las vigas primarias con curvatura horizontal, se debe proveer un sistema de arriostramiento lateral sobre toda la longitud y se debe analizar la estabilidad de las alas sujetas a compresión entre puntos de panel del sistema de arriostramiento lateral durante el hormigonado del tablero.

El arriostramiento lateral superior se debe diseñar para resistir el flujo de corte en la sección pseudo-cajón debido a las cargas mayoradas antes que el hormigón del tablero haya endurecido o la acción compuesta sea efectiva. También se deben considerar las fuerzas en el arriostramiento debidas a la flexión generada en la sección durante la construcción en base a la secuencia constructiva supuesta por el Ingeniero.

Si el arriostramiento está unido a las almas, el área para el flujo de corte de la sección transversal de la omega invertida se deberá reducir de manera que refleje la ubicación real del arriostramiento, y se debe proporcionar un medio para transferir las fuerzas desde el arriostramiento al ala superior.

6.7.5.4. Reticulados

Los puentes de reticulado con tablero inferior y con tablero superior deberán tener arriostramiento lateral superior e inferior. Si se utiliza un sistema de arriostramiento en **X**, cada miembro puede ser considerado simultáneamente efectivo si satisfacen los requisitos de esbeltez tanto para miembros en tracción como para compresión. Estos miembros deben estar conectados en sus intersecciones.

El miembro que proporciona arriostramiento lateral a los cordones sujetos a compresión debe ser tan profundo como sea posible y estar conectado a ambas alas.

Las uniones de las vigas del tablero deben estar ubicadas de manera que el sistema de arriostramiento lateral sujete tanto a la viga de tablero como a los miembros principales de apoyo. Si el sistema de arriostramiento lateral intersecta una junta formada por una viga de piso y un miembro principal longitudinal, el miembro lateral se deberá conectar a ambos miembros.

6.7.6. Pernos

6.7.6.1. Ubicación

Los pernos se deben ubicar de manera tal que se minimicen las solicitaciones debidas a la excentricidad.

6.7.6.2. Resistencia

6.7.6.2.1. Combinación de flexión y corte

Los pernos sujetos a una combinación de flexión y corte se deben dimensionar de manera que satisfagan:

$$\frac{6 M_u}{\phi_f D^3 F_y} + \left(\frac{2,2 V_u}{\phi_v D^2 F_y} \right)^3 \leq 0,95 \quad (6.7.6.2.1-1)$$

donde:

D = diámetro del perno, en mm.

M_u = momento debido a las cargas mayoradas, en Nmm.

V_u = fuerza de corte debida a las cargas mayoradas, en N.

F_y = tensión de fluencia mínima especificada del perno, en MPa.

ϕ_f = factor de resistencia a la flexión, tal como se especifica en el artículo 6.5.4.2.

ϕ_v = factor de resistencia al corte, tal como se especifica en el artículo 6.5.4.2.

El momento, M_u , y el corte, V_u , se deben tomar en la misma sección de diseño a lo largo del perno.

6.7.6.2.2. Aplastamiento

La resistencia minorada al aplastamiento sobre los pernos se deberá tomar como:

$$(R_{pB})_r = \phi_b (R_{pB})_n \quad (6.7.6.2.2-1)$$

en el cual:

$$(R_{pB})_n = 1,5 t D F_y \quad (6.7.6.2.2-2)$$

donde:

t = espesor de la chapa, en mm.

D = diámetro del perno, en mm.

ϕ_b = factor de resistencia al aplastamiento, como se especifica en el artículo 6.5.4.2.

6.7.6.3. Tamaño mínimo del perno para las barras de ojo

El diámetro del perno, D , en mm, debe satisfacer:

$$D \geq \left(\frac{3}{4} + \frac{F_y}{2760} \right) b \quad (6.7.6.3-1)$$

donde:

F_y = tensión de fluencia mínima especificada de la barra de ojo, en MPa.

b = ancho del cuerpo de la barra de ojo, en mm.

6.7.6.4. Pernos y tuercas para pernos

Los pernos deberán tener una longitud suficiente para asegurar un apoyo completo de todas las partes conectadas sobre el cuerpo torneado del perno. El perno se deberá asegurar en su sitio mediante:

- Tuercas hexagonales rebajadas,
- Tuercas macizas hexagonales con arandelas, o
- Si los pernos están en orificios de paso, el vástago del perno se ensambla a un elemento de restricción.

Las tuercas para las varillas o pernos deberán ser de fundición maleable o acero y se deben asegurar correctamente en su posición mediante chavetas o retenedores a través de la rosca o bien con rebabas o daños en la rosca. Las tuercas de seguridad disponibles en el mercado se pueden utilizar como una alternativa a las rebabas en la rosca o al uso de pernos con chavetas.

6.7.7. Vigas laminadas y vigas armadas soldadas curvadas por calentamiento

6.7.7.1. Alcance

El artículo 6.7.7 se refiere a vigas laminadas y vigas armadas soldadas, de sección I, curvadas por calentamiento para obtener una curvatura horizontal.

Los aceros estructurales se podrán curvar por calentamiento de acuerdo con la norma IRAM IAS U 500-503, grados F26 y F36 (equivalentes a los grados 36, 50 y 50S de AASHTO M 270M/M 270 (ASTM A709/A709M).

6.7.7.2. Radio mínimo de curvatura

Para vigas curvadas por calentamiento, el radio horizontal de curvatura, medido a la línea media del alma de la viga primaria, no deberá ser menor que **46 m** ni menor que el mayor de los valores calculados con las siguientes dos ecuaciones:

$$R = \frac{36,75 b D}{\sqrt{F_{yw}} \psi t_w} \quad (6.7.7.2-1)$$

$$R = \frac{51700 b}{F_{yw} \psi} \quad (6.7.7.2-2)$$

donde:

ψ = relación entre el área total de la sección transversal y el área de la sección transversal de ambas alas.

b = mayor ancho del ala, en mm.

D = distancia libre entre alas, en mm.

F_{yw} = tensión de fluencia mínima especificada del alma, en MPa.

R = radio de curvatura, en mm.

Además de los requisitos indicados arriba, el radio no deberá ser menor que **300 m** cuando el espesor del ala sea superior a **75 mm** o el ancho del ala sea superior a **750 mm**.

6.7.7.3. Contraflecha

Cuando para vigas primarias, curvadas por calentamiento, el pliego de especificaciones técnicas especifique una contraflecha adicional que compense la posible pérdida de contraflecha que puede ocurrir bajo condiciones de servicio a medida que los esfuerzos residuales se disipan, la magnitud de dicha contraflecha en milímetros, Δ , en cualquier sección a lo largo de la longitud **L** de la viga primaria deberá ser igual a:

$$\Delta = \frac{\Delta_{DL}}{\Delta_M} (\Delta_M + \Delta_R) \quad (6.7.7.3-1)$$

siendo:

$$\Delta_R = \frac{0,02 L^2 F_{yf}}{E Y_o} \left(\frac{305000 - R}{260000} \right) \quad (6.7.7.3-2)$$

donde:

Δ_{DL} = contraflecha en cualquier punto a lo largo de la longitud **L**, calculada mediante procedimientos usuales, para compensar la flecha debida a las cargas permanentes o a cualquier otra carga especificada, en mm.

Δ_M = máximo valor de Δ_{DL} dentro de la longitud **L**, en mm.

F_{yf} = tensión de fluencia mínima especificada del ala, en MPa.

Y_o = distancia desde el eje neutro a la fibra exterior extrema de la sección transversal, en mm.

R = radio de curvatura, en mm.

L = longitud de tramo para luces simples o continuas, la distancia entre un apoyo extremo simple y el punto de inflexión bajo carga permanente, o la distancia entre los puntos de inflexión bajo carga permanente, en mm.

E = módulo de elasticidad del acero, en MPa.

La pérdida de contraflecha entre los puntos de inflexión, adyacentes a las pilas bajo carga permanente, es pequeña y se puede despreciar.

6.8. MIEMBROS EN TRACCIÓN

6.8.1. Requisitos generales

Los miembros y empalmes sujetos a tracción axial se deben analizar por:

- Fluencia en la sección bruta utilizando la Ecuación 6.8.2.1-1, y
- Fractura en la sección neta utilizando la Ecuación 6.8.2.1-2.

Al determinar el área de la sección bruta se deben descontar los orificios mayores que los típicamente utilizados para conectores tales como los bulones.

Para determinar la sección neta se deben considerar:

- El área bruta a partir de la cual se harán las reducciones o a la cual se aplicarán los factores de reducción, según corresponda;
- Las reducciones por todos los orificios en la sección transversal de diseño;
- La corrección de las reducciones por los orificios de bulones para la regla de alternado en tresbolillo, especificada en el Artículo 6.8.3;
- La aplicación del factor de reducción **U** para considerar el arrastre por cortante, especificado en el artículo 6.8.2.2 para los miembros y en el artículo 6.13.5.2 para las cubrejuntas y otros elementos de empalme; y
- La aplicación de un **85%** como máximo factor de eficiencia del área para las cubrejuntas y otros elementos de empalme, según lo especificado en el artículo 6.13.5.2.

Los miembros traccionados deberán satisfacer los requisitos de esbeltez especificados en el artículo 6.8.4 y los requisitos para fatiga del artículo 6.6.1. En las conexiones de los extremos se deben analizar las resistencias de los bloques de corte según se especifica en el artículo 6.13.4

6.8.2. Resistencia a la tracción

6.8.2.1. Requisitos generales

La resistencia minorada a tracción, P_r , se deberá tomar igual al menor de los valores obtenidos de las Ecuaciones 6.8.2.1-1 y 6.8.2.1-2.

$$P_r = \phi_y P_{ny} = \phi_y F_y A_g \quad (6.8.2.1-1)$$

$$P_r = \phi_u P_{nu} = \phi_u F_u A_n R_p U \quad (6.8.2.1-2)$$

donde:

P_{ny} = resistencia nominal a la tracción por fluencia en la sección bruta, en N.

F_y = tensión de fluencia mínima especificada, en MPa.

A_g = área bruta de la sección transversal del miembro, en mm².

F_u = resistencia a la tracción, en MPa.

A_n = área neta del elemento tal como se especifica en el artículo 6.8.3, en mm².

R_p = factor de reducción por agujeros, igual a **0,90** para agujeros de bulones punzonados al tamaño final, e igual a **1,0** para agujeros de bulones taladrados al tamaño final o punzonados a un tamaño menor y fresados al tamaño final.

U = factor de reducción que considera el arrastre por cortante; igual a **1,0** para componentes en los cuales los efectos de las fuerzas se transmiten a todos los elementos, y para todos los demás casos según lo especificado en el artículo 6.8.2.2.

ϕ_y = factor de resistencia por fluencia de los miembros traccionados tal como se especifica en el artículo 6.5.4.2.

ϕ_u = factor de resistencia por fractura de los miembros traccionados tal como se especifica en el artículo 6.5.4.2.

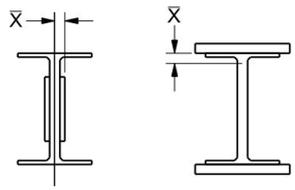
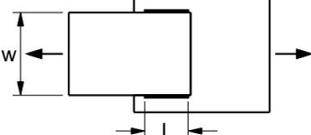
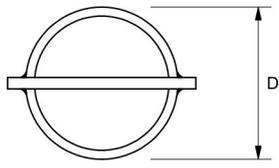
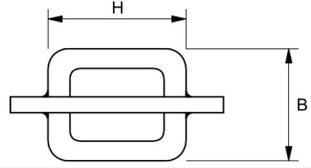
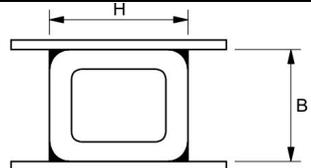
6.8.2.2. Factor de reducción, U

Al verificar la fractura en tracción, en el estado límite de resistencia especificado en el artículo 6.8.1, se debe utilizar el factor de reducción que considera el arrastre por cortante, **U**.

Para tener en cuenta el arrastre por cortante en las conexiones, y en ausencia de ensayos o de análisis más refinados, se podrán utilizar los factores de reducción aquí especificados.

El factor de reducción que considera el arrastre por cortante, **U**, se puede calcular como se especifica en la Tabla 6.8.2.2-1. Para miembros compuestos por más de un elemento, el valor calculado de **U** no se debe tomar menor que la relación entre el área bruta del elemento o los elementos conectados y el área bruta del miembro.

Tabla 6.8.2.2-1. Factores que consideran el arrastre por cortante para conexiones en miembros traccionados

Caso	Descripción del elemento		Factor por arrastre por cortante, U	Ejemplo
1	Todos los miembros traccionados donde la carga de tracción se transmite directamente a cada uno de los elementos de la sección transversal mediante bulones o soldaduras (excepto en los casos 3, 4, 5 y 6).		$U = 1,0$	
2	Todos los miembros traccionados, excepto las chapas y la HSS, donde la carga de tracción se transmite a algunos pero no a todos los elementos de la sección transversal mediante bulones o soldaduras longitudinales. (Alternativamente, para W, M, S, y HP, se puede usar el Caso 7).		$U = 1 - \frac{\bar{x}}{L}$	
3	Todos los miembros traccionados donde la carga de tracción se transmite mediante soldaduras transversales a algunos pero no a todos los elementos de la sección transversal.		$U = 1,0$ y A = área de los elementos directamente conectados	
4	Chapas donde la carga de tracción se transmite solo por soldaduras longitudinales.		$L \geq 2w \dots U = 1$ $2w > L \geq 1,5w \dots U = 0,87$ $1,5w > L \geq w \dots U = 0,75$	
5	HSS redonda con una sola chapa de nudo concéntrica.		$L \geq 1,3D \dots U = 1$ $D \leq L < 1,3D \dots U = 1 - \frac{\bar{x}}{L}$ $\bar{x} = \frac{D}{\pi}$	
6	HSS rectangular	con una sola chapa de nudo concéntrica	$L \geq H \dots U = 1 - \frac{\bar{x}}{L}$ $\bar{x} = \frac{B^2 + 2BH}{4(B+H)}$	
		con dos chapas de nudo laterales	$L \geq H \dots U = 1 - \frac{\bar{x}}{L}$ $\bar{x} = \frac{B^2}{4(B+H)}$	

Continúa en siguiente página

Tabla 6.8.2.2-1 (Cont.). Factores que consideran el arrastre por cortante para conexiones en miembros traccionados

Caso	Descripción del elemento	Factor por arrastre por cortante, U	Ejemplo
7	Las formas W, M, S, o HP, o bien las cortadas en T de estas formas (si se calcula U según el caso 2, se permite utilizar el mayor valor).	con el ala conectada con 3 o más medios de unión por línea en la dirección de carga $b_f \geq \frac{2}{3} d \quad \dots \quad U = 0,90$	-----
		con el alma conectada con 4 o más medios de unión en la dirección de carga $b_f < \frac{2}{3} d \quad \dots \quad U = 0,85$	-----
8	Ángulos simples (si se calcula U según el caso 2, se permite utilizar el mayor valor).	con 4 o más medios de unión por línea en la dirección de carga $U = 0,80$	-----
		con 2 o 3 medios de unión por línea en la dirección de carga $U = 0,60$	-----

donde:

L = longitud de la conexión, en mm.

w = ancho de la chapa, en mm.

\bar{x} = excentricidad de la conexión, en mm.

B = ancho total del miembro HSS rectangular, medido **90 grados** con respecto al plano de la conexión, en mm.

H = altura total del miembro HSS rectangular, medido en el plano de la conexión, en mm.

d = altura nominal total de la sección, en mm.

b_f = ancho del ala, en mm.

6.8.2.3. Combinación de tracción y flexión

Un componente sujeto a tracción y flexión deberá satisfacer la Ecuación 6.8.2.3-1 o la 6.8.2.3-2.

- Si $\frac{P_u}{P_r} < 0,20$, entonces

$$\frac{P_u}{2 P_r} + \left(\frac{M_{ux}}{M_{rx}} + \frac{M_{uy}}{M_{ry}} \right) \leq 1,0 \quad (6.8.2.3-1)$$

- Si $\frac{P_u}{P_r} \geq 0,20$, entonces

$$\frac{P_u}{P_r} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{ux}}{M_{rx}} + \frac{M_{uy}}{M_{ry}} \right) \leq 1,0 \quad (6.8.2.3-2)$$

donde:

P_r = resistencia minorada a tracción tal como se especifica en el artículo 6.8.2.1, en N.

M_{rx} = resistencia minorada a flexión respecto al eje **x**, tomada como ϕ_f por la resistencia nominal a la flexión respecto al eje **x** determinada como se especifica en los artículos 6.10, 6.11 o 6.12, según corresponda, en Nmm.

M_{ry} = resistencia minorada a flexión respecto al eje **y**, tomada como ϕ_f por la resistencia nominal a la flexión respecto al eje **y** determinada como se especifica en el artículo 6.12, según corresponda, en Nmm.

M_{ux} , M_{uy} = momentos debidos a las cargas mayoradas respecto a los ejes **x** e **y**, respectivamente, en Nmm.

P_u = fuerza axial debida a las cargas mayoradas, en N.

ϕ_f = factor de resistencia a la flexión, especificado en el artículo 6.5.4.2.

Cuando la combinación de tracción y flexión genere un esfuerzo neto de compresión en un ala, se deberá analizar su estabilidad para determinar si hay pandeo local.

6.8.3. Área neta

El área neta, A_n , de un elemento es igual al producto del espesor del elemento por su menor ancho neto. El ancho de cada agujero estándar para bulón se tomará como el diámetro nominal del agujero. El ancho de los agujeros de gran tamaño y ovalados, cuando su uso esté permitido por el artículo 6.13.2.4.1, se tomará como el diámetro o el ancho nominal del agujero, según corresponda, especificado en el artículo 6.13.2.4.2. Se debe determinar el ancho neto para cada cadena de agujeros que se extienda a través del miembro o elemento a lo largo de cualquier línea transversal, diagonal, o en zigzag.

El ancho neto de cada cadena se debe determinar restando del ancho del elemento la sumatoria de los anchos de todos los agujeros que haya en la cadena y sumando la cantidad de $s^2/4g$ por cada espacio entre agujeros consecutivos en la cadena, siendo:

s = es el espaciamiento longitudinal (o paso) entre dos agujeros cualesquiera consecutivos, en mm.

g = es el espaciamiento transversal (o gramil) de los mismos agujeros, en mm.

En perfiles ángulos, el gramil entre agujeros, en lados opuestos adyacentes, se considera igual a la suma de los gramiles medidos desde la espalda del ángulo menos el espesor de éste.

6.8.4. Límites de la relación de esbeltez

A excepción de las varillas, barras de ojo, cables, y chapas, los miembros solicitados a tracción deben satisfacer los requisitos de esbeltez especificados a continuación:

- Para miembros principales sujetos a inversión de esfuerzos: $\frac{\ell}{r} \leq 140$
- Para miembros principales no sujetos a inversión de esfuerzos: $\frac{\ell}{r} \leq 200$
- Para miembros secundarios: $\frac{\ell}{r} \leq 240$

donde:

ℓ = longitud no arriostrada, en mm.

r = radio de giro, en mm.

6.8.5. Miembros armados

6.8.5.1. Requisitos generales

Los elementos principales de los miembros armados en tracción, a partir de perfiles laminados o soldados, se deberán conectar mediante chapas continuas con o sin perforaciones o bien mediante chapas de unión con o sin barras de celosía "enrejado". Las soldaduras entre los perfiles y las chapas deberán ser continuas. Las uniones abulonadas entre los perfiles y las chapas deberán satisfacer los requisitos del artículo 6.13.2.

6.8.5.2. Chapas perforadas

La relación entre la longitud de los agujeros en la dirección del esfuerzo y su ancho no deberá ser mayor que **2,0**.

La distancia libre entre agujeros en la dirección del esfuerzo no deberá ser menor que la distancia transversal entre la línea de conexión, abulonada o soldada, más próxima. La distancia libre entre el extremo de la chapa y el primer agujero no deberá ser menor que **1,25 veces** la distancia transversal entre bulones o soldaduras.

La periferia de los agujeros deberá tener un radio mínimo de **38 mm**.

Se podrá suponer que los anchos no soportados en los bordes de los agujeros contribuyen al área neta del miembro. Si los agujeros están alternados en chapas perforadas opuestas, el área neta del miembro se deberá considerar igual que para una sección con agujeros en el mismo plano transversal.

6.8.6. Barras de ojo

6.8.6.1. Resistencia minorada

La resistencia minorada del cuerpo de la barra de ojo se deberá tomar como se especifica en la Ecuación 6.8.2.1-1.

6.8.6.2. Dimensiones

Las barras de ojo deben tener un espesor uniforme no menor que **13 mm** ni mayor que **50 mm**.

El radio de transición entre la cabeza y el cuerpo de una barra de ojo no deberá ser menor que el ancho de la cabeza en el eje del orificio para el perno.

El ancho neto de la cabeza en el eje del orificio para el perno no deberá ser menor que **1,35 veces** el ancho requerido para el cuerpo.

La dimensión neta de la cabeza más allá del orificio para el perno, tomada en dirección longitudinal, no deberá ser menor que **0,75 veces** el ancho del cuerpo.

El ancho del cuerpo no deberá ser mayor que **8 veces** su espesor.

El centro del orificio para el perno deberá estar ubicado sobre el eje longitudinal del cuerpo de la barra de ojo. El diámetro del orificio para el perno no deberá exceder en más de **0,8 mm** al diámetro del perno.

Para los aceros cuya tensión de fluencia mínima especificada es mayor que **485 MPa**, el diámetro del orificio no deberá ser mayor que **5 veces** el espesor de la barra de ojo.

6.8.6.3. Paquetes de barras de ojo

Las barras de ojo que forman un paquete deberán ser simétricas respecto del plano central del miembro y tan paralelas como sea posible. Deberán estar restringidas para evitar tanto el desplazamiento lateral sobre los pernos como la distorsión lateral por efecto de la oblicuidad del puente.

Las barras de ojo deberán estar dispuestas de tal manera que las barras adyacentes en un mismo panel tengan una separación de **13 mm** como mínimo. Se deberán proveer anillos separadores para llenar cualquier espacio entre las barras de ojos adyacentes sobre un perno. Las barras diagonales que se intersectan y que no están lo suficientemente separadas, como para evitar que en algún momento entren en contacto, se sujetarán juntas en la intersección.

6.8.7. Chapas conectadas mediante pernos

6.8.7.1. Requisitos generales

Siempre que sea posible, se deberá evitar el uso de chapas conectadas con pernos.

Se deben satisfacer los requisitos del artículo 6.8.2.1.

6.8.7.2. Chapas con pernos

La resistencia minorada al aplastamiento en las chapas con pernos, P_r , se deberá tomar como:

$$P_r = \phi_b P_n = \phi_b A_b F_y \quad (6.8.7.2-1)$$

donde:

P_n = resistencia nominal al aplastamiento, en N.

A_b = área de apoyo proyectada sobre la chapa, en mm².

F_y = tensión de fluencia mínima especificada de la chapa, en MPa.

ϕ_b = factor de resistencia al aplastamiento, como se especifica en el artículo 6.5.4.2.

La chapa principal se puede reforzar en la zona del orificio utilizando chapas con pernos para aumentar el espesor de la chapa principal.

Si se utilizan chapas con pernos, éstas se deberán disponer de tal manera que se minimice la excentricidad de la carga y se deberán unir a la chapa principal mediante soldaduras o bulones suficientes para transmitir las fuerzas de aplastamiento de las chapas con pernos a la chapa principal.

6.8.7.3. Dimensiones

El área neta combinada de la chapa principal y las chapas con pernos en una sección transversal que pasa a través del eje del agujero del perno no deberá ser menor que **1,4 veces** el área neta requerida de la chapa principal lejos del agujero.

El área neta combinada de la chapa principal y las chapas con pernos más allá del agujero del perno, tomada en dirección longitudinal, no deberá ser menor que el área neta requerida de la chapa principal lejos del agujero.

El centro del agujero del perno deberá estar ubicado sobre el eje longitudinal de la chapa principal. El diámetro del agujero del perno no deberá exceder en más de **0,80 mm** al diámetro del perno.

Para los aceros cuya tensión de fluencia mínima especificada sea mayor que **485 MPa**, el diámetro del agujero no deberá ser mayor que **cinco veces** el espesor combinado de la chapa principal y las chapas con pernos.

El espesor combinado de la chapa principal y las chapas con pernos no deberá ser menor que **0,12 veces** el ancho neto desde el borde del agujero hasta el borde de la chapa o chapas. El espesor de la chapa principal no deberá ser menor que **0,12 veces** el ancho requerido lejos del agujero.

6.8.7.4. Paquetes

Los miembros conectados con pernos deberán estar restringidos para evitar su desplazamiento lateral sobre el perno y su distorsión lateral debido a la oblicuidad del puente.

6.9. MIEMBROS EN COMPRESIÓN

6.9.1. Requisitos generales

Los requisitos de este artículo se deberán aplicar a los miembros de acero prismáticos de sección compuesta y no compuesta solicitados ya sea por compresión axial o por una combinación de compresión axial y flexión.

Los arcos también deberán satisfacer los requisitos del artículo 6.14.4.

Los cordones en compresión de los puentes de reticulado con tablero intermedio también deberán satisfacer los requisitos del artículo 6.14.2.9.

6.9.2. Resistencia a la compresión

6.9.2.1. Compresión axial

La resistencia minorada de los componentes en compresión, P_r , se deberá tomar como:

$$P_r = \phi_c P_n \quad (6.9.2.1-1)$$

donde:

P_n = resistencia nominal a la compresión, tal como se especifica en los artículos 6.9.4 o 6.9.5, según corresponda, en N.

ϕ_c = factor de resistencia para compresión, tal como se especifica en el artículo 6.5.4.2.

6.9.2.2. Combinación de compresión axial y flexión

Con excepción de lo permitido en el artículo 6.9.4.4, la carga de compresión axial, P_u , y los momentos concurrentes, M_{ux} y M_{uy} , calculados para las cargas mayoradas de acuerdo con métodos analíticos elásticos, deberán satisfacer las siguientes relaciones:

- Si $\frac{P_u}{P_r} < 0,20$, entonces

$$\frac{P_u}{2 P_r} + \left(\frac{M_{ux}}{M_{rx}} + \frac{M_{uy}}{M_{ry}} \right) \leq 1,0 \quad (6.9.2.2-1)$$

- Si $\frac{P_u}{P_r} \geq 0,20$, entonces

$$\frac{P_u}{P_r} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{ux}}{M_{rx}} + \frac{M_{uy}}{M_{ry}} \right) \leq 1,0 \quad (6.9.2.2-2)$$

donde:

P_r = resistencia minorada a compresión tal como se especifica en el artículo 6.9.2.1, en N.

M_{rx} = resistencia minorada a flexión respecto al eje **x**, tomada como ϕ_f por la resistencia nominal a la flexión respecto al eje **x** determinada como se especifica en los artículos 6.10, 6.11 o 6.12, según corresponda, en Nmm.

M_{ry} = resistencia minorada a flexión respecto al eje **y**, tomada como ϕ_f por la resistencia nominal a la flexión respecto al eje **y** determinada como se especifica en el artículo 6.12, según corresponda, en Nmm.

M_{ux} , M_{uy} = momentos respecto a los ejes **x** e **y**, debidos a las cargas mayoradas, calculados como se especifica más adelante, en Nmm.

ϕ_f = factor de resistencia para flexión especificado en el artículo 6.5.4.2.

Los momentos respecto a los ejes de simetría, M_{ux} y M_{uy} , se pueden determinar mediante:

- Un análisis elástico de segundo orden que tome en cuenta la amplificación de momentos debida a la carga axial mayorada, o
- El método de ajuste aproximado de un solo paso especificado en el artículo 4.5.3.2.2b.

6.9.3. Límites de la relación de esbeltez

Los miembros sujetos a compresión deberán satisfacer los requisitos de esbeltez especificados a continuación:

- Para miembros principales: $\frac{K \ell}{r} \leq 120$
- Para miembros secundarios: $\frac{K \ell}{r} \leq 140$

donde:

K = factor de longitud efectiva especificado en el artículo 4.6.2.5.

ℓ = longitud no arriostrada, en mm.

r = radio de giro, en mm.

Exclusivamente a los fines del presente artículo, el radio de giro se podrá calcular sobre una sección hipotética que desprece una parte del área de un componente, siempre que:

- La capacidad del componente, calculada con base en el área y radio de giro reales, sea mayor que la solicitación bajo cargas mayoradas, y
- La capacidad del componente con la sección hipotética, calculada con base en el área reducida y el radio de giro correspondiente, sea también mayor que la solicitación bajo cargas mayoradas.

6.9.4. Miembros de sección no compuesta

6.9.4.1. Resistencia nominal a la compresión

6.9.4.1.1. Requisitos generales

La resistencia nominal a la compresión, P_n , se deberá tomar como el menor valor entre los obtenidos por los modos aplicables de pandeo por flexión, pandeo por torsión, y pandeo por flexo-torsión, como sigue:

- Modos de pandeo aplicables a miembros de doble simetría:
 - Se deberá aplicar el pandeo por flexión. El pandeo por torsión se deberá aplicar también a miembros de sección abierta en los cuales la longitud efectiva no arriostrada para torsión sea mayor que la longitud efectiva sin soporte lateral.
- Modos de pandeo aplicables a miembros de simetría simple:
 - Se deberá aplicar el pandeo por flexión.
 - El pandeo por flexo-torsión se deberá aplicar también a miembros de sección abierta.
- Modos de pandeo aplicables a miembros asimétricos:
 - Para miembros de sección abierta se deberá aplicar únicamente el pandeo por flexo-torsión, excepto que para miembros en perfil angular simple, diseñados de acuerdo con los requisitos del artículo 6.9.4.4, se aplicará únicamente el pandeo por flexión.
 - Para miembros de sección cerrada se deberá aplicar únicamente el pandeo por flexión.

El pandeo por torsión y el pandeo por flexo-torsión no serán aplicables a los rigidizadores del apoyo.

P_n se determinará como sigue:

- Si $\frac{P_e}{P_o} \geq 0,44$, entonces:

$$P_n = \left[0,658 \left(\frac{P_o}{P_e} \right) \right] P_o \quad (6.9.4.1.1-1)$$

- Si $\frac{P_e}{P_o} < 0,44$, entonces:

$$P_n = 0,877 P_e \quad (6.9.4.1.1-2)$$

donde:

A_g = área bruta de la sección transversal del miembro, en mm^2 .

F_y = tensión de fluencia mínima especificada, en MPa.

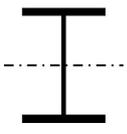
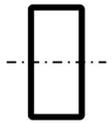
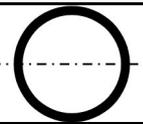
P_e = carga crítica de pandeo elástico, determinada como se especifica en el artículo 6.9.4.1.2 para pandeo por flexión, y como se especifica en el artículo 6.9.4.1.3 para pandeo por torsión o pandeo por flexo-torsión, según corresponda, en N.

P_o = resistencia de fluencia nominal equivalente = $Q F_y A_g$, en N.

Q = factor de reducción para elementos esbeltos, determinado como se especifica en el artículo 6.9.4.2. Q se deberá tomar igual a **1,0** para rigidizadores del apoyo.

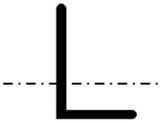
La Tabla 6.9.4.1.1-1 se puede utilizar como guía para seleccionar los modos potenciales de pandeo apropiados para determinar P_n , y las ecuaciones que se deben utilizar para calcular P_e y Q , según corresponda.

Tabla 6.9.4.1.1-1. Tabla de selección para determinar la resistencia nominal a la compresión, P_n

Sección transversal	Sin elementos esbeltos ($Q = 1,0$)		Con elementos esbeltos ($Q < 1,0$)	
	Modo potencial de pandeo	Ec. aplicable para P_e	Modo potencial de pandeo	Ecs. aplicables para P_e y Q
	FB	(6.9.4.1.2-1)	FB	(6.9.4.1.2-1)
	y si $K_z \ell_z > K_y \ell_y$: TB	(6.9.4.1.3-1) Nota: ver también art. C 6.9.4.1.3	y si $K_z \ell_z > K_y \ell_y$: TB	(6.9.4.1.3-1) Nota: ver también art. C 6.9.4.1.3
			y: FLB	(6.9.4.2.2-1) o (6.9.4.2.2-2) o (6.9.4.2.2-7) o (6.9.4.2.2-8)
			y/o: WLB	(6.9.4.2.2-11)
	FB	(6.9.4.1.2-1)	FB	(6.9.4.1.2-1)
	y: FTB	(6.9.4.1.3-2) Nota: ver también art. C 6.9.4.1.3	y: FTB	(6.9.4.1.3-2) Nota: ver también art. C 6.9.4.1.3
			y: FLB	(6.9.4.2.2-1) o (6.9.4.2.2-2) o (6.9.4.2.2-7) o (6.9.4.2.2-8)
			y/o: WLB	(6.9.4.2.2-11)
	FB	(6.9.4.1.2-1) Nota: para secciones armadas, ver también art. 6.9.4.3	FB	(6.9.4.1.2-1) Nota: para secciones armadas, ver también art. 6.9.4.3
			y: FLB	(6.9.4.2.2-10) o (6.9.4.2.2-11)
			y/o: WLB	(6.9.4.2.2-11)
	FB	(6.9.4.1.2-1)	FB	(6.9.4.1.2-1)
			y: LB	(6.9.4.2.2-12)
	FB	(6.9.4.1.2-1)	FB	(6.9.4.1.2-1)
	y: FTB	(6.9.4.1.3-2) Nota: ver también art. C 6.9.4.1.3	y: FTB	(6.9.4.1.3-2) Nota: ver también art. C 6.9.4.1.3
			Secciones T y: FLB	(6.9.4.2.2-1) o (6.9.4.2.2-2) o (6.9.4.2.2-7) o (6.9.4.2.2-8)
			y/o: SLB	(6.9.4.2.2-3) o (6.4.4.2.2-4)

Continúa en siguiente página

Tabla 6.9.4.1.1-1 (Cont.). Tabla de selección para determinar la resistencia nominal a la compresión, P_n

Sección transversal	Sin elementos esbeltos ($Q = 1,0$)		Con elementos esbeltos ($Q < 1,0$)	
	Modo potencial de pandeo	Ec. aplicable para P_e	Modo potencial de pandeo	Ecs. aplicables para P_e y Q
			Ángulos dobles en contacto continuo y: LLB	(6.9.4.2.2-1) o (6.4.4.2.2-2)
	FB	(6.9.4.1.2-1) Nota: ver también los artículos 6.9.4.4 y C 6.9.4.4	FB	(6.9.4.1.2-1) Nota: ver también los artículos 6.9.4.4 y C 6.9.4.4
			y: LLB	(6.9.4.2.2-5) o (6.9.4.2.2-6)
	FB	(6.9.4.1.2-1) Nota: ver también art. 6.9.4.3	Ángulos dobles con separadores FB	(6.9.4.1.2-1) Nota: ver también art. 6.9.4.3
	y: FTB	(6.9.4.1.3-2) Nota: ver también art. C 6.9.4.1.3	y: FTB	(6.9.4.1.3-2) Nota: ver también art. C 6.9.4.1.3
			y: LLB	(6.9.4.2.2-5) o (6.9.4.2.2-6)
	FB	(6.9.4.1.2-1)	NA	NA
Secciones abiertas asimétricas	FTB	(6.9.4.1.3-3) Nota: ver también art. C 6.9.4.1.3	FTB	(6.9.4.1.3-3) Nota: ver también art. C 6.9.4.1.3
			y: LB	Ver art. 6.9.4.2.2
Secciones cerradas asimétricas	FB	(6.9.4.1.2-1)	FB	(6.9.4.1.2-1)
			y: LB	Ver art. 6.9.4.2.2
Rigidizadores de apoyo	FB	(6.9.4.1.2-1) Nota: ver también art. 6.10.11.2.4	NA	NA
donde: FB = pandeo por flexión TB = pandeo por torsión FTB = pandeo por flexo-torsión FLB = pandeo local del ala WLB = pandeo local del alma SLB = pandeo local del alma de una sección T LLB = pandeo local del ala de un perfil angular LB = pandeo local NA = no aplica				

6.9.4.1.2. Resistencia al pandeo elástico por flexión

La carga crítica de pandeo elástico por flexión, P_e , se deberá tomar como:

$$P_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{K \ell}{r_s}\right)^2} A_g \quad (6.9.4.1.2-1)$$

donde:

A_g = área bruta de la sección transversal del miembro, en mm^2 .

K = factor de longitud efectiva en el plano de pandeo, determinado como se especifica en el artículo 4.6.2.5.

ℓ = longitud no arriostrada en el plano de pandeo, en mm.

r_s = radio de giro alrededor del eje normal al plano de pandeo, en mm.

6.9.4.1.3. Resistencia al pandeo elástico por torsión y por flexo-torsión

Para miembros de sección abierta con doble simetría, la carga crítica de pandeo elástico con base en el pandeo por torsión, P_e , se deberá tomar como:

$$P_e = \left[\frac{\pi^2 E C_w}{(K_z \ell_z)^2} + G J \right] \frac{A_g}{I_x + I_y} \quad (6.9.4.1.3-1)$$

donde:

A_g = área bruta de la sección transversal del miembro, en mm^2 .

C_w = constante torsional por alabeo, en mm^6 .

G = módulo de elasticidad a corte del acero = $0,385 E$, en N/mm^2 ($1 \text{ N/mm}^2 = 1 \text{ MPa}$).

I_x, I_y = momentos de inercia respecto a los ejes principales, mayor y menor, de la sección transversal, respectivamente, en mm^4 .

J = constante torsional de St. Venant, en mm^4 .

$K_z \ell_z$ = longitud efectiva para pandeo por torsión, en mm.

Para miembros de sección abierta con simetría simple donde el eje y es el eje de simetría de la sección transversal, la carga crítica de pandeo elástico con base en el pandeo por flexo-torsión, P_e , se deberá tomar como:

$$P_e = \left(\frac{P_{ey} + P_{ez}}{2H} \right) \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4 P_{ey} P_{ez} H}{(P_{ey} + P_{ez})^2}} \right] \quad (6.9.4.1.3-2)$$

en la cual:

$$H = 1 - \frac{y_o^2}{r_o^2} \quad (6.9.4.1.3-3)$$

$$P_{ey} = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{K_y \ell_y}{r_y} \right)^2} A_g \quad (6.9.4.1.3-4)$$

$$P_{ez} = \left[\frac{\pi^2 E C_w}{(K_z \ell_z)^2} + G J \right] \frac{1}{r_o^2} \quad (6.9.4.1.3-5)$$

$$\frac{1}{r_o^2} = y_o^2 + \frac{I_x + I_y}{A_g} \quad (6.9.4.1.3-6)$$

donde:

$K_y \ell_y$ = longitud efectiva para pandeo por flexión respecto al eje **y**, en mm.

r_o = radio de giro polar alrededor del centro de corte, en mm.

r_y = radio de giro alrededor del eje **y**, en mm.

y_o = distancia a lo largo del eje **y** entre el centro de corte y el baricentro de la sección transversal, en mm.

Para miembros de sección abierta asimétricos, la carga crítica de pandeo elástico con base en el pandeo por flexo-torsión, P_e , se deberá tomar como la menor raíz de la siguiente ecuación cúbica:

$$(P_e - P_{ex})(P_e - P_{ey})(P_e - P_{ez}) - P_e^2 (P_e - P_{ey}) \left(\frac{x_o}{r_o} \right)^2 - P_e^2 (P_e - P_{ex}) \left(\frac{y_o}{r_o} \right)^2 = 0 \quad (6.9.4.1.3-7)$$

en el cual:

$$P_{ex} = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{K_x \ell_x}{r_x} \right)^2} A_g \quad (6.9.4.1.3-8)$$

$$r_o^{-2} = x_o^2 + y_o^2 + \frac{I_x + I_y}{A_g} \quad (6.9.4.1.3-9)$$

donde:

$K_x \ell_x$ = longitud efectiva para pandeo por flexión respecto al eje x , en mm.

r_x = radio de giro alrededor del eje x , en mm.

x_o = distancia a lo largo del eje x entre el centro de corte y el baricentro de la sección transversal, en mm.

6.9.4.2. Elementos esbeltos y no esbeltos

6.9.4.2.1. Elementos no esbeltos

Los elementos no esbeltos deberán satisfacer los límites de esbeltez que aquí se especifican. El factor de reducción por elemento esbelto, Q , especificado en el artículo 6.9.4.1.1, se deberá tomar como **1,0** para miembros comprimidos cuya sección transversal esté compuesta únicamente por elementos no esbeltos.

A menos que se especifique lo contrario, la esbeltez de las chapas deberá satisfacer:

$$\frac{b}{t} \leq k \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (6.9.4.2.1-1)$$

donde:

k = coeficiente de pandeo de la chapa, tal como se especifica en la Tabla 6.9.4.2.1-1.

b = ancho de la chapa, tal como se especifica en la Tabla 6.9.4.2.1-1, en mm.

t = espesor de la chapa, en mm. Para las alas de perfiles en canal laminados, utilizar el espesor promedio.

Las alas de secciones armadas en **I**, y las chapas o alas del perfil ángulo salientes de las secciones armadas en **I**, deberán satisfacer:

$$\frac{b}{t} \leq 0,64 \sqrt{\frac{k_c E}{F_y}} \quad (6.9.4.2.1-2)$$

y:

$$0,35 \leq k_c \leq 0,76 \quad (6.9.4.2.1-3)$$

en el cual:

$$k_c = \frac{4}{\sqrt{\frac{D}{t_w}}} \quad (6.9.4.2.1-4)$$

donde:

b = un medio del ancho del ala, en mm.

D = altura del alma, en mm.

El espesor de la pared de tubos circulares, incluyendo los perfiles circulares HSS, deberá satisfacer:

$$\frac{D}{t} \leq 0,11 \frac{E}{F_y} \quad (6.9.4.2.1-5)$$

donde:

D = diámetro exterior del tubo, en mm.

t = espesor del tubo, en mm.

Para miembros diseñados para compresión axial y flexión combinadas, F_y , en el sentido en que aquí se lo utiliza, se puede reemplazar por el máximo esfuerzo calculado de compresión debido a la carga axial y el momento flexor concurrente mayorados, siempre y cuando las relaciones de interacción del artículo 6.9.2.2 se reemplacen por la siguiente relación lineal:

$$\frac{P_u}{P_r} + \frac{M_{ux}}{M_{rx}} + \frac{M_{uy}}{M_{ry}} \leq 1,0 \quad (6.9.4.2.1-6)$$

donde:

P_r = resistencia minorada a la compresión determinado como se especifica en el artículo 6.9.2.1, en N.

P_u = fuerza de compresión axial debida a las cargas mayoradas, en N.

M_{rx} = resistencia minorada a la flexión respecto al eje **x**, tomada como ϕ_f por la resistencia nominal a la flexión respecto al eje **x** determinada como se especifica en los artículos 6.10, 6.11 o 6.12, según corresponda, en Nmm.

M_{ry} = resistencia minorada a la flexión respecto al eje **y**, tomada como ϕ_f por la resistencia nominal a la flexión respecto del eje **y** determinada como se especifica en el artículo 6.12, según corresponda, en Nmm.

M_{ux} = momento flexor respecto al eje **x**, debido a las cargas mayoradas, en Nmm.

M_{uy} = momento flector respecto al eje y , debido a las cargas mayoradas, en Nmm.

Tabla 6.9.4.2.1-1. Coeficientes de pandeo de chapa y anchos de chapa a considerar para compresión axial

Chapas soportadas a lo largo de un borde (elementos no rigidizados)	k	b
Alas de secciones laminadas en I , en T y en canal; chapas salientes de secciones laminadas en I ; y alas salientes de ángulos dobles en contacto continuo	0,56	• Para secciones laminadas en I y en T , la mitad del ancho del ala
		• Para secciones en canal, el ancho total del ala
		• Para chapas, la distancia entre el borde libre y la primer línea de bulones o soldaduras
		• Para ángulos dobles en contacto continuo, el ancho total del ala saliente
Almas del perfil laminado en T	0,75	• Altura total de la sección T
Alas salientes del perfil ángulo simple; alas salientes de ángulos dobles con separadores; y todos los demás elementos no rigidizados	0,45	• Para ángulos simples o ángulos dobles con separadores, el ancho total del ala saliente
		• Para todos los demás casos, el ancho total del elemento que se proyecta
Chapas soportadas a lo largo de sus dos bordes (elementos rigidizados)	k	b
Alas y almas de secciones armadas tipo cajón cuadradas y rectangulares y perfiles HSS; y platabandas del ala no perforadas	1,40	• Para alas de secciones armadas tipo cajón, la distancia entre líneas adyacentes de bulones o soldaduras
		• Para almas de secciones armadas tipo cajón, la distancia entre líneas adyacentes de bulones o la distancia libre entre alas cuando se utilicen soldaduras
		• Para perfiles HSS, la distancia libre entre las almas o las alas menos el radio interior de la esquina a cada lado. Cuando no se conozca el radio de la esquina, utilizar la dimensión exterior menos tres veces el espesor de pared de diseño apropiado según se especifica en el artículo 6.12.2.2.2.
		• Para platabandas del ala, la distancia entre las líneas de soldaduras o bulones
Almas de secciones en I y en canal, y todos los demás elementos rigidizados	1,49	• Para almas de secciones laminadas en I y en canal, la distancia libre entre las alas menos el filete o el radio de esquina en cada ala
		• Para almas de secciones armadas en I y en canal, la distancia entre líneas adyacentes de bulones o la distancia libre entre las alas cuando se utilizan soldaduras
		• Para todos los demás casos, la distancia libre entre los soportes de los bordes
Platabandas perforadas	1,86	• La distancia libre entre los soportes de los bordes; ver también el párrafo al final del artículo 6.9.4.3.2

6.9.4.2.2. Elementos esbeltos

Los elementos que no satisfagan los límites de esbeltez especificados en el artículo 6.9.4.2.1 se deberán clasificar como elementos esbeltos y deberán cumplir los requisitos que aquí se especifican.

Para secciones transversales de miembros en compresión compuesto de únicamente elementos esbeltos no rigidizados, el factor de reducción por elementos esbeltos, Q , especificado en el artículo 6.9.4.1.1, se deberá tomar igual a Q_s , factor para elementos no rigidizados. Q_s se deberá tomar como el menor valor de todos los elementos esbeltos no rigidizados de la sección transversal. Para secciones transversales de miembros en compresión que incluyan únicamente elementos esbeltos rigidizados, Q se deberá tomar igual al factor para elementos rigidizados, Q_a . Para secciones transversales de miembros en compresión compuestos de elementos esbeltos tanto rigidizados como no rigidizados, Q se deberá tomar como el producto de Q_s por Q_a .

Para elementos esbeltos no rigidizados, Q_s se deberá tomar como:

- Para alas de secciones laminadas en **I**, en **T** y en canal; chapas salientes de secciones laminadas en **I**; y alas salientes de ángulos dobles en contacto continuo:

- Si: $0,56 \sqrt{\frac{E}{F_y}} < \frac{b}{t} \leq 1,03 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$, entonces:

$$Q_s = 1,415 - 0,74 \left(\frac{b}{t} \right) \sqrt{\frac{F_y}{E}} \quad (6.9.4.2.2-1)$$

- Si: $\frac{b}{t} > 1,03 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$, entonces:

$$Q_s = \frac{0,69 E}{F_y \left(\frac{b}{t} \right)^2} \quad (6.9.4.2.2-2)$$

- Para almas de secciones en **T** laminadas:

- Si: $0,75 \sqrt{\frac{E}{F_y}} < \frac{b}{t} \leq 1,03 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$, entonces:

$$Q_s = 1,908 - 1,22 \left(\frac{b}{t} \right) \sqrt{\frac{F_y}{E}} \quad (6.9.4.2.2-3)$$

- Si: $\frac{b}{t} > 1,03 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$, entonces:

$$Q_s = \frac{0,69 E}{F_y \left(\frac{b}{t}\right)^2} \quad (6.9.4.2.2-4)$$

- Para las alas salientes de ángulos simples; alas salientes de ángulos dobles con separadores; y todos los otros casos de elementos no rigidizados:

- Si: $0,45 \sqrt{\frac{E}{F_y}} < \frac{b}{t} \leq 0,91 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$, entonces:

$$Q_s = 1,34 - 0,76 \left(\frac{b}{t}\right) \sqrt{\frac{F_y}{E}} \quad (6.9.4.2.2-5)$$

- Si: $\frac{b}{t} > 0,91 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$, entonces:

$$Q_s = \frac{0,53 E}{F_y \left(\frac{b}{t}\right)^2} \quad (6.9.4.2.2-6)$$

- Para las alas de secciones armadas en I; y chapas o alas de ángulos salientes de secciones armadas en I:

- Si: $0,64 \sqrt{\frac{k_c E}{F_y}} < \frac{b}{t} \leq 1,17 \sqrt{\frac{k_c E}{F_y}}$, entonces:

$$Q_s = 1,415 - 0,65 \left(\frac{b}{t}\right) \sqrt{\frac{F_y}{k_c E}} \quad (6.9.4.2.2-7)$$

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

$$Q_s = \frac{0,90 k_c E}{F_y \left(\frac{b}{t}\right)^2} \quad (6.9.4.2.2-8)$$

- Para elementos esbeltos rigidizados, con excepción de tubos circulares y perfiles HSS redondos, Q_a se deberá tomar como:

$$Q_a = \frac{A_{eff}}{A} \quad (6.9.4.2.2-9)$$

donde:

A = área bruta total de la sección transversal del miembro, en mm².

A_{eff} = suma de las áreas efectivas de la sección transversal, con base en un ancho efectivo reducido para cada elemento esbelto rigidizado en la sección transversal = $A - \Sigma(b - b_e) t$, en mm^2 .

El ancho efectivo, b_e , se deberá calcular como sigue:

- Para alas de secciones tipo cajón, cuadrados y rectangulares, y perfiles HSS de espesor uniforme; y platabandas no perforadas:

$$b_e = 1,92 t \sqrt{\frac{E}{f}} \left[1 - \frac{0,38}{(b/t)} \sqrt{\frac{E}{f}} \right] \leq b \quad (6.9.4.2.2-10)$$

- Para almas; platabandas perforadas; y todos los otros casos de elementos rigidizados:

$$b_e = 1,92 t \sqrt{\frac{E}{f}} \left[1 - \frac{0,34}{(b/t)} \sqrt{\frac{E}{f}} \right] \leq b \quad (6.9.4.2.2-11)$$

donde:

$f_s = Q_s F_y$, en MPa.

Cuando todos los elementos no rigidizados en la sección transversal, donde los haya, se clasifiquen como no esbeltos, $Q_s = 1,0$.

Para tubos circulares, incluyendo los perfiles HSS redondos, con D/t no superior a $0,45 E/F_y$, Q_a se deberá tomar como:

$$Q_a = \frac{0,038 E}{F_y (D/t)} + \frac{2}{3} \quad (6.9.4.2.2-12)$$

En esta expresión, b , D , t y k_c se deberán tomar como se definió en el artículo 6.9.4.2.1 para el elemento en consideración.

6.9.4.3. Miembros armados

6.9.4.3.1. Requisitos generales

Se deberán aplicar los requisitos del artículo 6.9.4.2. Para miembros armados compuestos por dos o más perfiles, la relación de esbeltez de cada perfil entre bulones de conexión o soldaduras no deberá ser mayor que el **75 por ciento** de la relación de esbeltez que controla el diseño del miembro armado. Al calcular la relación de esbeltez de cada perfil entre conectores se utilizará el radio de giro mínimo.

Las barras de celosía "enrejado", incluyendo las barras planas, ángulos, canales, u otros perfiles utilizados como enrejado, así como las chapas de refuerzo, deberán estar separadas de manera que la relación de esbeltez de cada perfil entre los conectores no

sea mayor que el **75 por ciento** de la relación de esbeltez que controla el diseño del miembro armado.

La resistencia nominal a la compresión de los miembros armados compuestos por dos o más perfiles se debe determinar según lo especificado en el artículo 6.9.4.1 sujeto a la siguiente modificación. Si el modo de pandeo involucra deformaciones relativas que producen las fuerzas de corte en los conectores entre perfiles individuales, $K\ell/r$ se deberá reemplazar por $(K\ell/r)_m$ calculado como sigue cuando los conectores intermedios son mediante soldaduras o bulones completamente traccionados:

$$\left(\frac{K\ell}{r}\right)_m = \sqrt{\left(\frac{K\ell}{r}\right)_0^2 + 0,82\left(\frac{\alpha^2}{1+\alpha^2}\right)\left(\frac{a}{r_{ib}}\right)^2} \quad (6.9.4.3.1-1)$$

donde:

$(K\ell/r)_m$ = relación modificada de esbeltez del miembro armado.

$(K\ell/r)_0$ = relación de esbeltez del miembro armado, actuando como una unidad en la dirección de pandeo considerada.

α = relación de separación = $h/2 \cdot r_{ib}$

a = distancia entre conectores, en mm.

r_{ib} = radio de giro de un componente individual del perfil con respecto a su eje baricéntrico paralelo al eje de pandeo de la barra, en mm.

h = distancia entre los baricentros de los perfiles individuales, medida perpendicularmente al eje de pandeo del miembro, en mm.

6.9.4.3.2. Chapas perforadas

Las chapas perforadas deberán satisfacer los requisitos de los artículos 6.9.4.2 y 6.8.5.2, y se deberán diseñar para la sumatoria de las fuerzas de corte debido a las cargas mayoradas más una fuerza de corte adicional igual a:

$$V = \frac{P_r}{100} \left(\frac{100}{(\ell/r) + 10} + \frac{8,8(\ell/r)F_y}{E} \right) \quad (6.9.4.3.2-1)$$

donde:

V = fuerza de corte adicional, en N.

P_r = resistencia minorada a la compresión especificada en los artículos 6.9.2.1 o 6.9.2.2, en N.

ℓ = longitud del miembro, en mm.

r = radio de giro respecto a un eje perpendicular a la chapa perforada, en mm.

F_y = tensión de fluencia mínima especificada, en MPa.

En adición a la verificación de los requisitos del artículo 6.9.4.2.1 para la distancia libre entre los dos soportes de borde de la platabanda perforada, utilizando un coeficiente de pandeo de chapa k de **1,86**, se deberán verificar también de forma separada los requisitos del artículo 6.9.4.2.1 para el ancho que se proyecta desde el borde de la perforación hasta un soporte simple del borde, utilizando un coeficiente de pandeo de chapa k de **0,45**.

6.9.4.4. Miembros de perfil de ángulo simple

Los perfiles de ángulo simple están sujetos a la combinación de compresión axial y flexión respecto a uno o ambos ejes principales y satisfacen todas las siguientes condiciones, según corresponda:

- Las conexiones en los extremos son en una sola ala del ángulo, y son soldadas o utilizan un mínimo de dos bulones;
- El perfil ángulo es cargado a compresión en los extremos a través de la misma ala;
- El perfil ángulo no está sujeto a ninguna carga transversal intermedia; y
- Cuando se lo utiliza como un miembro del alma en un reticulado, todos los miembros adyacentes del alma se conectan por el mismo lado del cordón o chapa de nudo;

Se puede diseñar como un miembro cargado axialmente a compresión para pandeo por flexión únicamente, de acuerdo con los requisitos de los artículos 6.9.2.1, 6.9.4.1.1, y 6.9.4.1.2, siempre y cuando se utilice la siguiente relación de esbeltez efectiva, $(K\ell/r)_{eff}$, para determinar la resistencia nominal a la compresión, P_n :

- Para perfiles ángulos de alas iguales y desiguales, conectados a través del ala más larga:

- Si $\frac{\ell}{r_x} \leq 80$, entonces:

$$\left(\frac{K \ell}{r}\right)_{eff} = 72 + 0,75 \frac{\ell}{r_x} \quad (6.9.4.4-1)$$

- Si $\frac{\ell}{r_x} > 80$, entonces:

$$\left(\frac{K \ell}{r}\right)_{eff} = 32 + 1,25 \frac{\ell}{r_x} \quad (6.9.4.4-2)$$

- Para perfiles ángulos de alas desiguales, con una relación entre las longitudes del ala menor que **1,7**, conectados a través del ala más corta:

- Si $\frac{\ell}{r_x} \leq 80$, entonces:

$$\left(\frac{K \ell}{r}\right)_{eff} = 72 + 0,75 \frac{\ell}{r_x} + 4 \left[\left(\frac{b_\ell}{b_s}\right)^2 - 1 \right] \geq 0,95 \frac{\ell}{r_z} \quad (6.9.4.4-3)$$

- Si $\frac{\ell}{r_x} > 80$, entonces:

$$\left(\frac{K \ell}{r}\right)_{eff} = 32 + 1,25 \frac{\ell}{r_x} + 4 \left[\left(\frac{b_\ell}{b_s}\right)^2 - 1 \right] \geq 0,95 \frac{\ell}{r_z} \quad (6.9.4.4-4)$$

donde:

b_ℓ = ancho del ala mayor en un perfil ángulo de alas desiguales, en mm.

b_s = ancho del ala menor en un perfil ángulo de alas desiguales, en mm.

ℓ = distancia entre los puntos de trabajo de las juntas, medida a lo largo de la longitud del perfil ángulo, en mm.

r_x = radio de giro alrededor del eje geométrico del perfil ángulo paralelo al ala conectada, en mm.

r_z = radio de giro alrededor del eje principal menor del perfil ángulo, en mm.

La relación de esbeltez máxima real del perfil ángulo no deberá exceder el límite aplicable de la relación de esbeltez especificada en el artículo 6.9.3. Los perfiles de ángulos simples diseñados utilizando $(K\ell/r)_{eff}$ no se deberán verificar para pandeo por flexo-torsión.

6.9.5. Miembros de sección compuesta

6.9.5.1. Resistencia nominal a la compresión

Los requisitos de este artículo se deberán aplicar a las columnas de sección compuesta no solicitadas a flexión. Para columnas compuestas solicitadas a flexión se deberán aplicar los requisitos del artículo 6.12.2.3.

La resistencia nominal a compresión de una columna compuesta que satisface los requisitos del artículo 6.9.5.2 se deberá tomar como:

- Si $\lambda \leq 2,25$, entonces:

$$P_n = 0,66^\lambda F_e A_s \quad (6.9.5.1-1)$$

- Si $\lambda > 2,25$, entonces:

$$P_n = \frac{0,88 F_e A_s}{\lambda} \quad (6.9.5.1-2)$$

en las cuales:

$$\lambda = \left(\frac{K \ell}{r_s \pi} \right)^2 \frac{F_e}{E_e} \quad (6.9.5.1-3)$$

$$F_e = F_y + C_1 F_{yr} \left(\frac{A_r}{A_s} \right) + C_2 f'_c \left(\frac{A_c}{A_s} \right) \quad (6.9.5.1-4)$$

$$E_e = E \left[1 + \left(\frac{C_3}{n} \right) \left(\frac{A_c}{A_s} \right) \right] \quad (6.9.5.1-5)$$

donde:

A_s = área de la sección transversal de la sección de acero, en mm².

A_c = área de la sección transversal del hormigón, en mm².

A_r = área total de la sección transversal de la armadura longitudinal, en mm².

F_y = tensión de fluencia mínima especificada de la sección de acero, en MPa.

F_{yr} = tensión de fluencia mínima especificada de la armadura longitudinal, en MPa.

f'_c = resistencia mínima especificada a la compresión del hormigón a los **28 días**, en MPa.

E = módulo de elasticidad del acero, en MPa.

ℓ = longitud no arriostrada de la columna, en mm.

K = factor de longitud efectiva, tal como se especifica en el artículo 4.6.2.5.

n = relación modular del hormigón, tal como se especifica en el artículo 6.10.1.1.1b.

r_s = radio de giro de la sección de acero en el plano de flexión, pero no menor que **0,3 veces** el ancho del miembro compuesto en el plano de flexión para secciones compuestas tipo perfil de acero embebido en hormigón, en mm.

C_1 , C_2 , C_3 = constantes para columnas compuestas, especificadas en la Tabla 6.9.5.1-1.

Tabla 6.9.5.1-1. Constantes para columnas compuestas

	Tubos rellenos	Perfiles embebidos
C ₁	1,00	0,70
C ₂	0,85	0,60
C ₃	0,40	0,20

Al determinar la amplificación de momento para miembros compuestos sujetos a compresión axial y flexión combinada, de acuerdo con el método aproximado de un solo paso especificado en el artículo 4.5.3.2.2b, se deberá aplicar la siguiente relación:

$$P_e = \frac{A_s F_e}{\lambda} \quad (6.9.5.1-6)$$

6.9.5.2. Limitaciones

6.9.5.2.1. Requisitos generales

Si el área de la sección transversal del perfil de acero representa al menos un **4 por ciento** del área total de la sección transversal del miembro, la resistencia a la compresión se deberá calcular de acuerdo con el artículo 6.9.5.1.

Si el área de la sección transversal del perfil o tubo de acero representa menos del **4 por ciento** del área total de la sección transversal, la resistencia a la compresión se deberá calcular como una columna de hormigón armado de acuerdo con el Capítulo 5 del presente Reglamento.

La resistencia a la compresión del hormigón deberá estar entre **20 MPa** y **55 MPa**.

La tensión de fluencia mínima especificada del perfil de acero y de la armadura longitudinal utilizada para calcular la resistencia nominal a la compresión no deberá ser mayor que **420 MPa**.

Al diseñar los componentes de apoyo se deberá considerar la transferencia de la totalidad de la carga en la columna compuesta.

La sección transversal deberá tener como mínimo un eje de simetría.

6.9.5.2.2. Tubos rellenos de hormigón

Los requisitos sobre el espesor de pared para tubos sin relleno, especificados en el artículo 6.9.4.2, también se aplicarán a los tubos compuestos rellenos de hormigón.

6.9.5.2.3. Perfiles embebidos en hormigón

Los perfiles de acero embebidos en hormigón se deberán reforzar con armadura longitudinal y lateral. La armadura deberá satisfacer los requisitos del artículo 5.7.4.6, excepto que la separación vertical de los estribos cerrados laterales no deberá ser mayor que el menor valor entre:

- **16 diámetros** de la barra longitudinal,
- **48 diámetros** de la barra o alambre de los estribos, o
- **0,5 veces** la menor dimensión lateral del miembro compuesto.

Cuando se tengan múltiples perfiles de acero en una misma sección transversal de una columna compuesta, tales perfiles deberán estar conectados entre sí mediante barras de celosía “enrejado” y chapas de unión para evitar el pandeo de los perfiles individuales antes que el hormigón haya endurecido.

6.10. MIEMBROS DE SECCIÓN I SOLICITADOS A FLEXIÓN

6.10.1. Requisitos generales

Los requisitos de este artículo se aplican a la flexión de los miembros de acero de sección I, laminados o fabricados rectos, continuos con quiebres (puentes curvos, pero en tramos rectos) o curvadas horizontalmente, simétricos respecto al eje vertical en el plano del alma. Estos requisitos cubren el diseño de secciones compuestas y no compuestas, híbridas y no híbridas, y miembros con altura de alma constante y variable tal como se definen y quedan sujetos a las disposiciones de los artículos 6.10.1.1 a 6.10.1.8. Estos requisitos también abarcan los efectos combinados de la flexión respecto al eje fuerte y la flexión lateral del ala, cualquiera sea su origen.

Todos los miembros de sección I solicitados a flexión se deben diseñar de manera que satisfagan, como mínimo:

- Los límites aplicables a las dimensiones de la sección transversal especificadas en el artículo 6.10.2;
- Los requisitos constructivos especificados en el artículo 6.10.3;
- Los requisitos en el estado límite de servicio especificados en el artículo 6.10.4;
- Los requisitos en el estado límite de fatiga y fractura especificados en el Artículo 6.10.5;
- Los requisitos en el estado límite de resistencia especificados en el artículo 6.10.6.

En los miembros de alma esbelta, la resistencia al pandeo por flexión del alma se debe determinar tal como se especifica en el artículo 6.10.1.9. Los factores de reducción de la resistencia del ala en los miembros de alma esbelta y/o híbridos se deben determinar tal como se especifica en el artículo 6.10.1.10.

Los marcos transversales y diafragmas para secciones I deben satisfacer los requisitos del artículo 6.7.4. Cuando se requiera, el arriostramiento lateral para las secciones I deberá satisfacer los requisitos del artículo 6.7.5.

6.10.1.1. Secciones compuestas

Las secciones que constan de un tablero de hormigón que proporciona acción compuesta comprobada y apoyo lateral conectado a una sección de acero mediante conectores de corte diseñados de acuerdo con los requisitos del artículo 6.10.10 se deberán considerar secciones compuestas.

6.10.1.1.1. Esfuerzos

6.10.1.1.1a. Secuencia de carga

En cualquier ubicación de la sección compuesta, el esfuerzo elástico debido a las cargas aplicadas deberá ser igual a la sumatoria de los esfuerzos generados por las cargas aplicadas separadamente a:

- la sección de acero,
- la sección compuesta a corto plazo, y
- la sección compuesta a largo plazo.

Para el caso de las construcciones no apuntaladas, se debe suponer que la carga permanente aplicada antes que la losa de hormigón haya endurecido o se haya vuelto compuesta es soportada exclusivamente por la sección de acero; la carga permanente y sobrecarga aplicadas después de esta etapa se supondrá que serán soportadas por la sección compuesta. Para el caso de las construcciones apuntaladas, se supondrá que toda carga permanente se aplica después que la losa de hormigón haya endurecido o se haya vuelto compuesta y así lo debe indicar el pliego de especificaciones técnicas.

6.10.1.1.1b. Esfuerzos para secciones en flexión positiva

Para calcular los esfuerzos de flexión en las secciones sujetas a flexión positiva, la sección compuesta consistirá de la sección de acero y del área transformada del ancho efectivo del tablero de hormigón. El hormigón que se encuentra del lado traccionado del eje neutro no se debe considerar efectivo en el estado límite de resistencia.

Para las cargas transitorias que se suponen aplicadas a la sección compuesta a corto plazo, el área del tablero de hormigón se deberá transformar utilizando la relación de módulos a corto plazo, n . Para las cargas permanentes que se suponen aplicadas a la sección compuesta a largo plazo, el área del tablero de hormigón se deberá transformar utilizando la relación de módulos a largo plazo, $3 \cdot n$. Cuando en el estado límite de resistencia los momentos debidos a las cargas transitorias y permanentes sean de signo opuesto, la sección compuesta asociada se podrá utilizar con cada uno de estos momentos si el esfuerzo neto resultante en el tablero de hormigón, debido a la sumatoria de los momentos no mayorados, es de compresión. Caso contrario, para determinar los esfuerzos en la sección de acero se deberán utilizar los requisitos del artículo 6.10.1.1.1c. Los esfuerzos en el tablero de hormigón se deben determinar tal como se especifica en el Artículo 6.10.1.1.1d.

La relación de módulos se debe tomar como:

$$n = \frac{E}{E_c} \quad (6.10.1.1.1b-1)$$

donde:

E_c = módulo de elasticidad del hormigón determinado como se especifica en el artículo 5.4.2.4, en MPa.

6.10.1.1.1c. Esfuerzos para secciones en flexión negativa

Para calcular los esfuerzos por flexión en las secciones sujetas a flexión negativa, la sección compuesta tanto para los momentos a corto y largo plazo deberán consistir de la sección de acero más la armadura longitudinal que se encuentra dentro del ancho efectivo del tablero de hormigón, a menos que en los artículos 6.6.1.2.1, 6.10.1.1.1d o 6.10.4.2.1 se especifique lo contrario.

6.10.1.1.1d. Esfuerzos en el tablero de hormigón

Para calcular los esfuerzos de flexión longitudinal en el tablero de hormigón debidos a todas las cargas permanentes y transitorias, se deberá utilizar la relación de módulos a corto plazo, n .

6.10.1.1.1e. Ancho efectivo del tablero de hormigón

El ancho efectivo del tablero de hormigón se deberá determinar tal como se especifica en el artículo 4.6.2.6.

6.10.1.2. Secciones no compuestas

Las secciones en las cuales el tablero de hormigón no esté conectado a la sección de acero mediante conectores de corte, diseñados de acuerdo con los requisitos del artículo 6.10.10, se deberán considerar secciones no compuestas.

6.10.1.3. Secciones híbridas

La tensión de fluencia mínima especificada del alma no debe ser menor que el mayor valor entre el **70 por ciento** de la tensión de fluencia mínima especificada del ala de mayor resistencia y **250 MPa**.

Para miembros en los cuales el acero del alma es de mayor resistencia que el acero de una o ambas alas, la tensión de fluencia del alma utilizada para determinar la resistencia a la flexión y al corte no se deberá tomar mayor que **120 por ciento** de la tensión de fluencia mínima especificada del ala de menor resistencia. Para vigas primarias compuestas en flexión positiva para las cuales el acero del alma es de mayor resistencia que el acero del ala en compresión, se puede utilizar la tensión de fluencia total del alma para determinar su resistencia a flexión y corte.

6.10.1.4. Miembros de altura de alma variable

Al determinar el esfuerzo en el ala inferior generado por la flexión, respecto al eje fuerte de la sección transversal, se deberá considerar el efecto de la inclinación del ala inferior. Si las condiciones de equilibrio estático lo permiten, el corte en el alma debido a la carga permanente se puede reducir en una componente vertical de la fuerza en el ala inferior.

En los puntos donde el ala inferior se vuelve horizontal, se debe considerar la transferencia de la componente vertical de la fuerza del ala de vuelta al alma.

6.10.1.5. Rigidez

Para el análisis de miembros sujetos a flexión se deben utilizar las siguientes propiedades de rigidez:

- Para cargas aplicadas a secciones no compuestas: solamente las propiedades de rigidez de la sección de acero.
- Para cargas permanentes aplicadas a secciones compuestas: las propiedades de rigidez de la sección compuesta a largo plazo, suponiendo que el tablero de hormigón es efectivo sobre toda la longitud del tramo.
- Para cargas transitorias aplicadas a secciones compuestas: las propiedades de rigidez de la sección compuesta a corto plazo, suponiendo que el tablero de hormigón es efectivo sobre toda la longitud del tramo.

6.10.1.6. Esfuerzos en las alas y momentos flexores en los miembros

Para las verificaciones de diseño donde la resistencia a flexión se basa en el pandeo lateral torsional:

- El esfuerzo f_{bu} se debe determinar como el máximo valor del esfuerzo de compresión, a lo largo de la longitud no arriostrada en el ala considerada, calculado sin considerar la flexión lateral del ala.
- El momento M_u se debe determinar como el máximo valor del momento flexor, respecto al eje fuerte a lo largo de la longitud no arriostrada, que genera compresión en el ala considerada.
- El esfuerzo f_e se debe determinar como el máximo valor del esfuerzo debido a la flexión lateral, a lo largo de la longitud no arriostrada, en el ala considerada.

Para las verificaciones de diseño donde la resistencia a flexión se basa en la fluencia, en el pandeo local del ala o el pandeo por flexión del alma, f_{bu} , M_u y f_e , se pueden determinar como los valores correspondientes en la sección considerada.

Los valores de f_{bu} , M_u y f_e , se deben determinar con base en las cargas mayoradas, y se tomarán con signo positivo en todas las ecuaciones de resistencia.

Los esfuerzos de flexión lateral en las alas con arriostramiento continuo, se deberán tomar igual a **cero**. Los esfuerzos de flexión lateral en las alas con arriostramiento discreto, se deben determinar mediante un análisis estructural. Todas las alas con arriostramiento discreto deben satisfacer:

$$f_{\ell} \leq 0,6 F_{yf} \quad (6.10.1.6-1)$$

En las alas con arriostramiento discreto sujetas a compresión, el esfuerzo de flexión lateral en el ala, f_{ℓ} , se puede determinar directamente a partir de un análisis elástico de primer orden, en el cual:

$$L_b \leq 1,2 L_p \sqrt{\frac{C_b R_b}{f_{bu}/F_{yc}}} \quad (6.10.1.6-2)$$

o de forma equivalente:

$$L_b \leq 1,2 L_p \sqrt{\frac{C_b R_b}{M_u/M_{yc}}} \quad (6.10.1.6-3)$$

donde:

C_b = factor de modificación por gradiente de momentos, especificado en el artículo 6.10.8.2.3 o A6.3.3, según corresponda.

f_{bu} = máximo valor del esfuerzo de compresión a lo largo de la longitud no arriostrada en el ala considerada, calculado sin tener en cuenta la flexión lateral del ala, en MPa.

L_b = longitud no arriostrada, en mm.

L_p = longitud no arriostrada límite especificada en el artículo 6.10.8.2.3, en mm.

M_u = máximo valor del momento flexor respecto al eje fuerte, a lo largo de la longitud no arriostrada, que genera compresión en el ala considerada, en Nmm.

M_{yc} = momento de fluencia con respecto al ala comprimida, determinado como se especifica en el artículo D6.2, en Nmm.

R_b = factor de balanceo de las cargas del alma, determinado como se especifica en el artículo 6.10.1.10.2.

Si las Ecuaciones 6.10.1.6-2 ó 6.10.1.6-3, según corresponda, no satisfacen, se deberán determinar los esfuerzos de flexión lateral en el ala comprimida mediante un análisis elástico de segundo orden.

Los esfuerzos de flexión lateral de segundo orden en el ala comprimida se pueden determinar de forma aproximada amplificando los valores de primer orden, de la siguiente manera:

$$f_{\ell} = \left(\frac{0,85}{1 - \frac{f_{bu}}{F_{cr}}} \right) f_{\ell 1} \geq f_{\ell 1} \quad (6.10.1.6-4)$$

o de manera equivalente:

$$f_{\ell} = \left(\frac{0,85}{1 - \frac{M_u}{F_{cr} S_{xc}}} \right) f_{\ell 1} \geq f_{\ell 1} \quad (6.10.1.6-5)$$

donde:

f_{bu} = máximo valor del esfuerzo de compresión, a lo largo de la longitud no arriostrada en el ala considerada, calculado sin tener en cuenta la flexión lateral del ala, en MPa.

$f_{\ell 1}$ = esfuerzo de flexión lateral de primer orden del ala comprimida en la sección considerada, o máximo esfuerzo de flexión lateral de primer orden en el ala comprimida a lo largo de la longitud no arriostrada, según corresponda, en MPa.

F_{cr} = esfuerzo de pandeo lateral torsional elástico para el ala considerada determinado a partir de la Ecuación 6.10.8.2.3-8 o A6.3.3-8. La Ecuación A6.3.3-8 sólo se puede aplicar para longitudes no arriostradas de puentes rectos de vigas I, en las cuales el alma es compacta o no compacta.

M_u = máximo valor del momento flexor respecto al eje fuerte, a lo largo de la longitud no arriostrada, que genera compresión en el ala considerada, en Nmm.

S_{xc} = módulo elástico de la sección respecto al eje fuerte de la sección para el ala comprimida, tomado como M_{yc}/F_{yc} , en mm³.

6.10.1.7. Armadura mínima para flexión negativa en el tablero de hormigón

Donde el esfuerzo de tracción longitudinal en el tablero de hormigón, debido ya sea a las cargas constructivas mayoradas o a la combinación de cargas correspondiente al estado límite de servicio II de la Tabla 3.4.1-1, sea mayor que ϕf_r , el área total de la armadura longitudinal no debe ser menor al **1 por ciento** del área total de la sección transversal del tablero de hormigón. El factor ϕ se debe tomar como **0,9** y f_r se deberá tomar como el módulo de rotura del hormigón, determinado como se especifica a continuación:

- Para hormigón de peso normal: $f_r = 0,63 \sqrt{f'_c}$
- En el caso hormigón liviano: f_r se calcula según lo especificado en el artículo 5.4.2.6.

Los esfuerzos longitudinales en el tablero de hormigón se deberán determinar tal como se especifica en el artículo 6.10.1.1.1d. La armadura utilizada para satisfacer este requisito

deberá tener una tensión de fluencia mínima especificada mayor o igual que **420 MPa**; el diámetro no debe ser mayor que el de las barras **d_b20**.

La armadura requerida se debe colocar en dos capas uniformemente distribuidas en el ancho del tablero, y colocando dos tercios del refuerzo en la capa superior. La separación entre barras individuales no deberá ser mayor que **300 mm**.

Si en la zona de momento negativo se omiten los conectores de corte, toda la armadura longitudinal se deberá prolongar hacia la zona de momento positivo, más allá de los conectores de corte adicionales especificados en el artículo 6.10.10.3, a una distancia no menor que la longitud de anclaje especificada en el Capítulo 5.

6.10.1.8. Fractura de la sección neta

Al verificar los miembros a flexión en el estado límite de resistencia o para determinar su constructibilidad, en todas las secciones transversales que contengan agujeros en el ala sujeta a tracción se deberán satisfacer los siguientes requisitos adicionales:

$$f_t \leq 0,84 \left(\frac{A_n}{A_g} \right) F_u \leq F_{yt} \quad (6.10.1.8-1)$$

donde:

A_n = área neta del ala sujeta a tracción, determinada como se especifica en el artículo 6.8.3, en mm².

A_g = área bruta del ala sujeta a tracción, en mm².

f_t = esfuerzo sobre el área bruta del ala sujeta a tracción debido a las cargas mayoradas, calculado sin tener en cuenta la flexión lateral del ala, en MPa.

F_u = resistencia mínima especificada de rotura a tracción del ala sujeta a tracción, determinada como se especifica en la Tabla 6.4.1-1, en MPa.

6.10.1.9. Resistencia al pandeo por flexión del alma

6.10.1.9.1. Almas sin rigidizadores longitudinales

La resistencia nominal al pandeo por flexión se deberá tomar como:

$$F_{crw} = \frac{0,9 E k}{\left(\frac{D}{t_w} \right)^2} \quad (6.10.1.9.1-1)$$

pero no mayor que el menor valor entre **R_hF_{yc}** y **F_{yw}/0,7**.

en el cual:

k = coeficiente de pandeo por flexión

$$k = \frac{9}{(D_c/D)^2} \quad (6.10.1.9.1-2)$$

donde:

D_c = profundidad del alma en compresión en el rango elástico, en mm. Para las secciones compuestas, D_c se debe determinar tal como se especifica en el artículo D6.3.1.

R_h = factor de hibridez, especificado en el artículo 6.10.1.10.1.

Si ambos bordes del alma están solicitados por compresión, k se deberá tomar igual a **7,2**.

6.10.1.9.2. Almas con rigidizadores longitudinales

En ausencia de un análisis racional alternativo, la resistencia nominal al pandeo por flexión se puede determinar tal como se especifica en la Ecuación 6.10.1.9.1-1, siendo el coeficiente de pandeo por flexión:

- Si $\frac{d_s}{D_c} \geq 0,4$, entonces:

$$k = \frac{5,17}{(d_s/D)^2} \geq \frac{9}{(D_c/D)^2} \quad (6.10.1.9.2-1)$$

- Si $\frac{d_s}{D_c} < 0,4$, entonces:

$$k = \frac{11,64}{\left(\frac{D_c - d_s}{D}\right)^2} \quad (6.10.1.9.2-2)$$

donde:

d_s = distancia desde la línea media del rigidizador longitudinal de chapa más cercano o desde la línea de gramil del rigidizador longitudinal en ángulo más cercano, a la superficie interior o al ala del elemento con el ala comprimida, en mm.

Si ambos bordes del alma están solicitados por compresión, k se deberá tomar igual a **7,2**.

6.10.1.10. Factores de reducción de la resistencia de las alas

6.10.1.10.1. Factor de hibridez, R_h

Para los perfiles laminados, las secciones armadas homogéneas y las secciones armadas con acero de mayor resistencia en el alma que en ambas alas, R_h se debe tomar igual a **1,0**. En caso contrario, en ausencia de un análisis racional alternativo, el factor de hibridez se debe tomar como:

$$R_h = \frac{12 + \beta (3\rho - \rho^3)}{12 + 2\beta} \quad (6.10.1.10.1-1)$$

en el cual:

$$\beta = \frac{2 D_n t_w}{A_{fn}} \quad (6.10.1.10.1-2)$$

ρ = menor valor entre F_{yw}/f_n y $1,0$.

donde:

A_{fn} = suma del área del ala y el área de cualquier platabanda del lado del eje neutro correspondiente a D_n , en mm^2 . Para las secciones compuestas en flexión negativa, el área de la armadura longitudinal se puede incluir en el cálculo de A_{fn} para el ala superior.

D_n = mayor entre las distancias desde el eje neutro elástico de la sección transversal a la cara interna de cualquier ala, en mm. Para las secciones donde el eje neutro se encuentra en la mitad de la altura del alma, la distancia desde el eje neutro a la cara interna del ala sobre el lado del eje neutro donde primero se genera la fluencia.

f_n = para las secciones donde la fluencia se genera primero en el ala, platabanda o armadura longitudinal del lado del eje neutro correspondiente a D_n , el mayor entre las tensiones de fluencia mínimas especificadas de cada uno de los componentes incluidos en el cálculo de A_{fn} , en MPa. Por otra parte, cuando la primera fluencia se genera del lado opuesto del eje neutro es el mayor de las tensiones elásticas en el ala, platabanda o armadura longitudinal del lado del eje neutro correspondiente a D_n .

6.10.1.10.2. Factor de balanceo de las cargas del alma, R_b

Al verificar la constructibilidad de acuerdo con los requisitos del artículo 6.10.3.2, o cuando:

- la sección es compuesta y está en flexión positiva y el alma satisface los requisitos del artículo 6.10.2.1.1 o 6.11.2.1.2, según corresponda,

o bien:

- se proveen uno o más rigidizadores longitudinales y

$$\frac{D}{t_w} \leq 0,95 \sqrt{\frac{E k}{F_{yc}}} \quad (6.10.1.10.2-1)$$

o bien:

- el alma satisface:

$$\frac{2 D_c}{t_w} \leq \lambda_{rw} \quad (6.10.1.10.2-2)$$

Entonces, R_b se deberá tomar igual a **1,0**.

En caso contrario:

$$R_b = 1 - \left(\frac{a_{wc}}{1200 + 300 a_{wc}} \right) \left(\frac{2 D_c}{t_w} - \lambda_{rw} \right) \leq 1,0 \quad (6.10.1.10.2-3)$$

en el cual:

λ_{rw} = relación de esbeltez límite para un alma no compacta.

$$\lambda_{rw} = 5,7 \sqrt{\frac{E}{F_{yc}}} \quad (6.10.1.10.2-4)$$

a_{wc} = para todas las secciones salvo las indicadas a continuación, la relación entre dos veces el área del alma en compresión y el área del ala en compresión.

$$a_{wc} = \frac{2 D_c t_w}{b_{fc} t_{fc}} \quad (6.10.1.10.2-5)$$

para secciones compuestas rigidizadas longitudinalmente en flexión positiva

$$a_{wc} = \frac{2 D_c t_w}{b_{fc} t_{fc} + b_s t_s \left(1 - f_{DC1} / F_{yc} \right) / (3 n)} \quad (6.10.1.10.2-6)$$

donde:

b_s = ancho efectivo del tablero de hormigón, en mm.

f_{DC1} = esfuerzo en el ala sujeta a compresión en la sección considerada, calculado sin considerar la flexión lateral del ala y generado por la carga permanente mayorada aplicada antes que el tablero de hormigón haya endurecido o se haya efectivizado la acción compuesta, en MPa.

k = coeficiente de pandeo por flexión para almas con rigidizadores longitudinales, determinado tal como se especifica en el artículo 6.10.1.9.2.

n = relación de módulos, determinada como se especifica en el artículo 6.10.1.1.1b.

t_s = espesor del tablero de hormigón, en mm.

D_c = altura del alma en compresión en el rango elástico, en mm. Para las secciones compuestas, D_c se debe determinar tal como se especifica en el artículo D6.3.1.

6.10.2. Límites aplicables de las dimensiones de la sección transversal

6.10.2.1. Dimensiones del alma

6.10.2.1.1. Almas sin rigidizadores longitudinales

Las almas se deberán dimensionar de manera que:

$$\frac{D}{t_w} \leq 150 \quad (6.10.2.1.1-1)$$

6.10.2.1.2. Almas con rigidizadores longitudinales

Las almas se deberán dimensionar de manera que:

$$\frac{D}{t_w} \leq 300 \quad (6.10.2.1.2-1)$$

6.10.2.2. Dimensiones de las alas

Las alas sujetas a compresión y tracción, se deben dimensionar de manera que:

$$\frac{b_f}{2 t_f} \leq 12 \quad (6.10.2.2-1)$$

$$b_f \geq D/6 \quad (6.10.2.2-2)$$

$$t_f \geq 1,1 t_w \quad (6.10.2.2-3)$$

y

$$0,1 \leq \frac{I_{yc}}{I_{yt}} \leq 10 \quad (6.10.2.2-4)$$

donde:

I_{yc} = momento de inercia del ala sujeta a compresión de la sección de acero respecto al eje vertical en el plano del alma, en mm⁴.

I_{yt} = momento de inercia del ala sujeta a tracción de la sección de acero respecto al eje vertical en el plano del alma, en mm⁴.

6.10.3. Constructibilidad

6.10.3.1. Requisitos generales

Se deben aplicar los requisitos del artículo 2.5.3. Además de proporcionar una resistencia adecuada, no está permitido que los miembros portantes principales alcancen la fluencia nominal ni que se confíe en la resistencia post-pandeo durante las etapas críticas de la construcción, a excepción de la fluencia del alma en las secciones híbridas. Para esto se deberán satisfacer los requisitos de los artículos 6.10.3.2 y 6.10.3.3 en cada una de las etapas críticas de la construcción. Para las secciones en flexión positiva que son compuestas en su condición final, pero no compuestas durante su construcción, se deben aplicar los requisitos del artículo 6.10.3.4.

Para analizar la constructibilidad de los miembros solicitados a flexión, todas las cargas se deben mayorar tal como se especifica en el artículo 3.4.2. Para el cálculo de las flechas, los factores de carga se deben tomar iguales a **1,0**.

Se debe analizar el levantamiento potencial en los apoyos en cada una de las etapas críticas de la construcción.

Las almas sin rigidizadores de apoyo, en ubicaciones sujetas a cargas concentradas no transmitidas a través del tablero o del sistema de tablero, deberán satisfacer los requisitos del artículo D6.5.

Si en la sección considerada hay agujeros en el ala traccionada, dicha ala sujeta a tracción también debe satisfacer el requisito especificado en el artículo 6.10.1.8.

Las conexiones abulonadas resistentes a la carga, tanto en un miembro solicitado a flexión o entre otros miembros solicitados a flexión, se deberán dimensionar de manera de evitar el deslizamiento bajo las cargas mayoradas en cada etapa crítica de la construcción.

Para analizar el deslizamiento en la conexión, se deberán aplicar los requisitos del artículo 6.13.2.8.

6.10.3.2. Flexión

6.10.3.2.1. Alas sujetas a compresión discretamente arriostradas

Para las etapas críticas de la construcción, se deben satisfacer cada uno de los siguientes requisitos. Para secciones con almas esbeltas, no será necesario verificar la Ecuación 6.10.3.2.1-1 si f_ℓ es igual a **cero**. Para secciones con almas compactas o no compactas, no será necesario verificar la Ecuación 6.10.3.2.1-3.

$$f_{bu} + f_\ell \leq \phi_f R_h F_{yc} \quad (6.10.3.2.1-1)$$

$$f_{bu} + \frac{1}{3} f_\ell \leq \phi_f F_{nc} \quad (6.10.3.2.1-2)$$

y

$$f_{bu} \leq \phi_f F_{crw} \quad (6.10.3.2.1-3)$$

donde:

ϕ_f = factor de resistencia a la flexión, especificado en el artículo 6.5.4.2.

f_{bu} = esfuerzo en el ala, calculado sin tener en cuenta la flexión lateral del ala, determinado como se especifica en el artículo 6.10.1.6, en MPa.

f_ℓ = esfuerzo por flexión lateral del ala, determinado como se especifica en el artículo 6.10.1.6, en MPa.

F_{crw} = resistencia nominal al pandeo por flexión del alma especificada en el artículo 6.10.1.9, en MPa.

F_{nc} = resistencia nominal a flexión del ala, en MPa. F_{nc} se debe determinar tal como se especifica en el artículo 6.10.8.2. Para las secciones con almas compactas o no compactas, en puentes rectos de vigas I, la resistencia al pandeo lateral torsional se puede tomar como M_{nc} determinado como se especifica en el artículo A6.3.3 dividido por S_{xc} . Al calcular F_{nc} para determinar la constructibilidad, el factor de balanceo de las cargas del alma, R_b , se debe tomar igual a **1,0**.

M_{yc} = momento de fluencia con respecto al ala sujeta a compresión, determinado como se especifica en el artículo D6.2, en Nmm.

R_h = factor de hibridez especificado en el artículo 6.10.1.10.1. Para secciones híbridas en el cual f_{bu} no es mayor que la tensión de fluencia mínima especificada del alma, el factor de hibridez se debe tomar igual a **1,0**.

S_{xc} = módulo elástico de la sección respecto al eje fuerte de la sección para el ala sujeta a compresión, tomado como M_{yc}/F_{yc} , en mm³.

6.10.3.2.2. Alas sujetas a tracción discretamente arriostradas

Para las etapas críticas de la construcción, se deberá satisfacer el siguiente requisito:

$$f_{bu} + f_\ell \leq \phi_f R_h F_{yt} \quad (6.10.3.2.2-1)$$

6.10.3.2.3. Alas sujetas a tracción o compresión con arriostramiento continuo

Para las etapas críticas de la construcción, se deberá satisfacer el siguiente requisito:

$$f_{bu} \leq \phi_f R_h F_{yf} \quad (6.10.3.2.3-1)$$

Para secciones no compuestas con almas esbeltas, las alas sujetas a compresión también deben satisfacer la Ecuación 6.10.3.2.1-3.

6.10.3.2.4. Tablero de hormigón

Durante las etapas críticas de la construcción el esfuerzo de tracción longitudinal en un tablero de hormigón compuesto debido a las cargas mayoradas no deberá ser mayor que ϕ_f , a menos que se proporcione armadura longitudinal de acuerdo con los requisitos del

artículo 6.10.1.7. El esfuerzo del hormigón se debe determinar tal como se especifica en el artículo 6.10.1.1.d. Las variables ϕ y f_r se deben adoptar igual a lo especificado en el artículo 6.10.1.7.

6.10.3.3. Corte

Las almas deben satisfacer el siguiente requisito durante las etapas críticas de la construcción:

$$V_u \leq \phi_v V_{cr} \quad (6.10.3.3-1)$$

donde:

ϕ_v = factor de resistencia al corte, especificado en el artículo 6.5.4.2

V_u = corte en el alma, en la sección considerada, debido a las cargas permanentes mayoradas y las cargas constructivas mayoradas aplicadas a la sección no compuesta, en N.

V_{cr} = resistencia al pandeo por corte, determinada a partir de la Ecuación 6.10.9.3.3-1, en N.

6.10.3.4. Colocación del tablero

Las secciones en flexión positiva que son compuestas en su condición final, pero que no son compuestas durante la etapa de construcción, se deben analizar a flexión de acuerdo con los requisitos del artículo 6.10.3.2 durante las diferentes etapas de colocación del tablero.

Las propiedades geométricas, longitudes de arriostramiento y esfuerzos utilizados al calcular la resistencia nominal a la flexión deberán ser las correspondientes a la sección de acero exclusivamente. Se deben considerar los cambios en las cargas, rigidez y arriostramiento durante las diferentes etapas de colocación del tablero.

Se deben considerar los efectos de las fuerzas a partir de las consolas de voladizo del tablero que actúan sobre las vigas primarias exteriores.

6.10.3.5. Deflexiones por carga permanente

Se deben aplicar los requisitos del artículo 6.7.2, según corresponda.

6.10.4. Estado límite de servicio

6.10.4.1. Deformaciones elásticas

Se deben aplicar los requisitos del artículo 2.5.2.6, según corresponda.

6.10.4.2. Deformaciones permanentes

6.10.4.2.1. Requisitos generales

A los fines del presente artículo, se debe aplicar la combinación de cargas correspondiente al estado límite de servicio II especificada en la Tabla 3.4.1-1.

Para calcular los esfuerzos en el acero estructural, en el estado límite de servicio II, se pueden utilizar los siguientes métodos:

- Para los miembros provistos de conectores de corte en la totalidad de su longitud que también satisfacen los requisitos del artículo 6.10.1.7, los esfuerzos de flexión en el acero estructural generados por las cargas correspondientes a la combinación de cargas para el estado límite de servicio II, aplicadas a la sección compuesta se pueden calcular utilizando la sección compuesta a corto o largo plazo, según corresponda. El tablero de hormigón se puede suponer efectivo tanto para flexión positiva como negativa, siempre que los máximos esfuerzos de tracción longitudinal en el tablero de hormigón, en la sección considerada, generados por las cargas correspondientes a la combinación de cargas para el estado límite de servicio II sean menores que $2 \cdot f_r$, donde f_r es el módulo de rotura del hormigón especificado en el artículo 6.10.1.7.
- Para secciones que son compuestas en flexión negativa, con esfuerzos máximos de tracción longitudinal en el tablero de hormigón mayores o iguales a $2 \cdot f_r$, los esfuerzos de flexión en el acero estructural, generados por las cargas correspondientes a la combinación de cargas para el estado límite de servicio II, se deben calcular utilizando la sección correspondiente a la sección de acero y la armadura longitudinal dentro del ancho efectivo del tablero de hormigón.
- Para secciones que no son compuestas en flexión negativa, solamente se deben utilizar las propiedades de la sección de acero para el cálculo de los esfuerzos de flexión en el acero estructural.

Los esfuerzos longitudinales en el tablero de hormigón se determinan tal como se especifica en el artículo 6.10.1.1.1d.

6.10.4.2.2. Flexión

Las alas deben satisfacer los siguientes requisitos:

- Para el ala de acero superior de las secciones compuestas:

$$f_f \leq 0,95 R_h F_{yf} \quad (6.10.4.2.2-1)$$

- Para el ala de acero inferior de las secciones compuestas:

$$f_f + \frac{f_\ell}{2} \leq 0,95 R_h F_{yf} \quad (6.10.4.2.2-2)$$

- Para ambas alas de acero de las secciones no compuestas:

$$f_f + \frac{f_\ell}{2} \leq 0,80 R_h F_{yf} \quad (6.10.4.2.2-3)$$

donde:

f_f = esfuerzo en el ala de la sección considerada, debido a las cargas correspondientes a la combinación de cargas para el estado límite de servicio II, calculado sin considerar la flexión lateral del ala, en MPa.

f_ℓ = esfuerzo de flexión lateral del ala en la sección considerada, debido a las cargas correspondientes a la combinación de cargas para el estado límite de servicio II, determinado tal como se especifica en el artículo 6.10.1.6, en MPa.

R_h = factor de hibridez, determinado como se especifica en el artículo 6.10.1.10.1.

Para los miembros a flexión de tramos continuos en puentes rectos de vigas I, que satisfacen los requisitos del artículo B6.2, se puede redistribuir un porcentaje calculado del momento negativo debido a las cargas correspondientes a la combinación de cargas para el estado límite de servicio II en la sección de la pila considerada utilizando los procedimientos ya sea del artículo B6.3 o del B6.6.

Para las secciones compuestas compactas en flexión positiva que se utilizan en las construcciones con apuntalamiento, el esfuerzo de compresión longitudinal en el tablero de hormigón debido a las cargas correspondientes a la combinación de cargas para el estado límite de servicio II, determinado de acuerdo con lo especificado en el artículo 6.10.1.1.1d, no deberá ser mayor que $0,6 \cdot f'_c$.

Excepto para las secciones compuestas en flexión positiva, en las cuales el alma satisface el requisito del artículo 6.10.2.1.1, todas las secciones también deben satisfacer el siguiente requisito:

$$f_c \leq F_{crw} \quad (6.10.4.2.2-4)$$

donde:

f_c = esfuerzo en el ala sujeta a compresión, en la sección considerada, debido a las cargas correspondientes a la combinación de cargas para el estado límite de servicio II, calculado sin tener en cuenta la flexión lateral del ala, en MPa.

F_{crw} = resistencia nominal al pandeo por flexión para almas con o sin rigidizadores longitudinales, según corresponda, determinada tal como se especifica en el artículo 6.10.1.9, en MPa.

6.10.5. Estado límite de fatiga y fractura

6.10.5.1. Fatiga

Los detalles para fatiga se deben analizar de acuerdo con lo especificado en el artículo 6.6.1. Será de aplicación la combinación de cargas correspondiente a fatiga, especificada en la Tabla 3.4.1-1, y la sobrecarga de fatiga especificada en el artículo 3.6.1.4.

Para puentes de vigas **I**, curvados horizontalmente, se debe analizar el rango de esfuerzos de fatiga debido a la flexión respecto al eje fuerte más la flexión lateral.

Las disposiciones para fatiga, especificadas en los artículos 6.10.10.2 y 6.10.10.3, se aplicarán en los conectores de corte.

6.10.5.2. Fractura

Los requisitos sobre tenacidad a la fractura, especificados en el pliego de especificaciones técnicas, deben cumplir con las disposiciones del artículo 6.6.2.

6.10.5.3. Requisito especial de fatiga aplicable a las almas

A los fines del presente artículo, la carga de fatiga mayorada se deberá determinar utilizando la combinación de cargas correspondiente al estado límite de fatiga **I**, especificada en la Tabla 3.4.1-1, siendo la sobrecarga de fatiga la especificada en el artículo 3.6.1.4.

Los paneles interiores de las almas con rigidizadores transversales, con o sin rigidizadores longitudinales, deberán satisfacer el siguiente requisito:

$$V_u \leq V_{cr} \quad (6.10.5.3-1)$$

donde:

V_u = corte en el alma, en la sección en consideración, debido a la carga permanente no mayorada más la carga de fatiga mayorada, en N.

V_{cr} = resistencia al pandeo por corte, determinada a partir de la Ecuación 6.10.9.3.3-1, en N.

6.10.6. Estado límite de resistencia

6.10.6.1. Requisitos generales

A los fines del presente artículo, se deben aplicar las combinaciones de cargas correspondientes al estado límite de resistencia aplicable, especificadas en la Tabla 3.4.1-1.

6.10.6.2. Flexión

6.10.6.2.1. Requisitos generales

Si en la sección considerada hay agujeros en el ala sujeta a tracción, el ala traccionada debe satisfacer el requisito especificado en el artículo 6.10.1.8.

6.10.6.2.2. Secciones compuestas en flexión positiva

Las secciones compuestas en puentes viga de acero, continuos con quiebres (puentes curvos, pero en tramos rectos) o curvados horizontalmente, se deben considerar como secciones no compactas y deben satisfacer los requisitos del artículo 6.10.7.2.

Las secciones compuestas en puentes rectos, que satisfacen los siguientes requisitos, deben ser clasificadas como secciones compuestas compactas:

- La tensión de fluencia mínima especificada de las alas no sea mayor que **485 MPa**,
- El alma satisface el requisito del artículo 6.10.2.1.1, y
- La sección satisface el límite de esbeltez para el alma:

$$\frac{2 D_{cp}}{t_w} \leq 3,76 \sqrt{\frac{E}{F_{yc}}} \quad (6.10.6.2.2-1)$$

donde:

D_{cp} = altura del alma sujeta a compresión para el momento plástico, determinada como se especifica en el artículo D6.3.2, en mm.

Las secciones compactas deben satisfacer los requisitos del artículo 6.10.7.1. En caso contrario, la sección se considerará no compacta y deberá satisfacer los requisitos del artículo 6.10.7.2.

Tanto las secciones compactas como las no compactas deben satisfacer los requisitos de ductilidad especificados en el artículo 6.10.7.3.

6.10.6.2.3. Secciones compuestas en flexión negativa y secciones no compuestas

Las secciones en todos los puentes vigas de acero, continuos con quiebres (puentes curvos, pero en tramos rectos) o curvados horizontalmente, se deben dimensionar de acuerdo con los requisitos especificados en el artículo 6.10.8.

Las secciones en puentes rectos cuyos apoyos son perpendiculares u oblicuos en no más de **20 grados** de la perpendicular al eje del puente, y con diafragmas intermedios o marcos transversales colocados en líneas contiguas paralelas a los apoyos, para las cuales:

- La tensión de fluencia mínima especificada de las alas no son mayores que **485 MPa**,
- El alma satisface el límite de esbeltez correspondiente a la sección no compacta:

$$\frac{2 D_c}{t_w} \leq 5,7 \sqrt{\frac{E}{F_{yc}}} \quad (6.10.6.2.3-1)$$

y

- Las alas satisfacen la siguiente relación:

$$\frac{I_{yc}}{I_{yt}} \geq 0,3 \quad (6.10.6.2.3-2)$$

donde:

D_c = altura del alma sujeta a compresión en el rango elástico, en mm. Para las secciones compuestas, D_c se debe determinar tal como se especifica en el artículo D6.3.1.

I_{yc} = momento de inercia del ala comprimida de la sección de acero respecto al eje vertical en el plano del alma, en mm⁴.

I_{yt} = momento de inercia del ala traccionada de la sección de acero respecto al eje vertical en el plano del alma, en mm⁴.

se pueden dimensionar de acuerdo con los requisitos para secciones de alma compacta o no compacta especificados en el apéndice A6. En caso contrario, la sección se deberá dimensionar de acuerdo con los requisitos especificados en el artículo 6.10.8.

Para miembros a flexión, de tramos continuos en puentes rectos que satisfacen los requisitos del artículo B6.2, se puede redistribuir un porcentaje calculado del momento negativo debido a las cargas mayoradas en la sección de la pila en consideración utilizando los procedimientos ya sea del artículo B6.4 o del B6.6.

6.10.6.3. Corte

Se deben aplicar los requisitos del artículo 6.10.9.

6.10.6.4. Conectores de corte

Se deben aplicar los requisitos del Artículo 6.10.10.4.

6.10.7. Resistencia a la flexión – Secciones compuestas en flexión positiva

6.10.7.1. Secciones compactas

6.10.7.1.1. Requisitos generales

En el estado límite de resistencia, la sección debe satisfacer:

$$M_u + \frac{1}{3} f_\ell S_{xt} \leq \phi_f M_n \quad (6.10.7.1.1-1)$$

donde:

ϕ_f = factor de resistencia a la flexión, especificado en el artículo 6.5.4.2.

f_ℓ = esfuerzo de flexión lateral del ala, determinado como se especifica en el artículo 6.10.1.6, en MPa.

M_n = resistencia nominal a flexión de la sección, determinada como se especifica en el artículo 6.10.7.1.2, en Nmm.

M_u = momento flexor respecto al eje fuerte de la sección transversal, determinado como se especifica en el artículo 6.10.1.6, en Nmm.

M_{yt} = momento de fluencia con respecto al ala sujeta a tracción, determinado como se especifica en el artículo D6.2, en Nmm.

S_{xt} = módulo elástico de la sección, respecto al eje fuerte de la sección, al ala traccionada, tomado como M_{yt}/F_{yt} , en mm³.

6.10.7.1.2. Resistencia nominal a la flexión

La resistencia nominal a la flexión de la sección se debe tomar como:

- Si: $D_p \leq 0,1 D_t$, entonces:

$$M_n = M_p \quad (6.10.7.1.2-1)$$

- En caso contrario:

$$M_n = M_p \left(1,07 - 0,7 \frac{D_p}{D_t} \right) \quad (6.10.7.1.2-2)$$

donde:

D_p = distancia desde la parte superior del tablero de hormigón al eje neutro de la sección compuesta para el momento plástico, en mm.

D_t = altura total de la sección compuesta, en mm.

M_p = momento plástico de la sección compuesta, determinado como se especifica en el artículo D6.1, en Nmm.

En un tramo continuo, la resistencia nominal a la flexión de la sección debe satisfacer:

$$M_n \leq 1,3 R_h M_y \quad (6.10.7.1.2-3)$$

donde:

M_n = resistencia nominal a la flexión de una sección, determinada a partir de la Ecuación 6.10.7.1.2-1 o 6.10.7.1.2-2, según corresponda, en Nmm.

M_y = momento de fluencia, determinado como se especifica en el artículo D6.2, en Nmm.

R_h = factor de hibridez, determinado como se especifica en el artículo 6.10.1.10.1.

a menos que:

- el tramo considerado y todas las secciones sobre la pila interior adyacente, satisfagan los requisitos del artículo B6.2,
- y
- el correspondiente valor de θ_{RL} del artículo B6.6.2 sea mayor que **0,009 radianes** en todas las secciones sobre la pila interior adyacente,
- en el caso que la resistencia nominal a la flexión de la sección no esté sujeta a la limitación impuesta por la Ecuación 6.10.7.1.2-3.

6.10.7.2. Secciones no compactas

6.10.7.2.1. Requisitos generales

En el estado límite de resistencia, el ala sujeta a compresión debe satisfacer:

$$f_{bu} \leq \phi_f F_{nc} \quad (6.10.7.2.1-1)$$

donde:

ϕ_f = factor de resistencia a la flexión, especificado en el artículo 6.5.4.2.

f_{bu} = esfuerzo en el ala calculado sin considerar la flexión lateral del ala, determinado como se especifica en el artículo 6.10.1.6, en MPa.

F_{nc} = resistencia nominal a la flexión del ala sujeta a compresión, determinada como se especifica en el artículo 6.10.7.2.2, en MPa.

El ala traccionada debe satisfacer:

$$f_{bu} + \frac{1}{3} f_\ell \leq \phi_f F_{nt} \quad (6.10.7.2.1-2)$$

donde:

f_e = esfuerzo de flexión lateral del ala, determinado como se especifica en el artículo 6.10.1.6, en MPa.

F_{nt} = resistencia nominal a la flexión del ala sujeta a tracción, determinada como se especifica en el artículo 6.10.7.2.2, en MPa.

El máximo esfuerzo de compresión longitudinal en el tablero de hormigón en el estado límite de resistencia, determinado como se especifica en el artículo 6.10.1.1.1d, no deberá ser mayor que $0,6 \cdot f'_c$.

6.10.7.2.2. Resistencia nominal a la flexión

La resistencia nominal a la flexión del ala sujeta a compresión, se debe tomar como:

$$F_{nc} = R_b R_h F_{yc} \quad (6.10.7.2.2-1)$$

donde:

R_b = factor de balanceo de las cargas del alma, determinado como se especifica en el artículo 6.10.1.10.2.

R_h = factor de hibridez, determinado como se especifica en el artículo 6.10.1.10.1.

La resistencia nominal a la flexión del ala sujeta a tracción se debe tomar como:

$$F_{nt} = R_h F_{yt} \quad (6.10.7.2.2-2)$$

6.10.7.3. Requisito de ductilidad

Las secciones compactas y no compactas deben satisfacer:

$$D_p \leq 0,42 D_t \quad (6.10.7.3-1)$$

donde:

D_p = distancia desde la parte superior del tablero de hormigón al eje neutro de la sección compuesta para el momento plástico, en mm.

D_t = altura total de la sección compuesta, en mm.

6.10.8. Resistencia a la flexión – Secciones compuestas en flexión negativa y secciones no compuestas

6.10.8.1. Requisitos generales

6.10.8.1.1. Alas sujetas a compresión discretamente arriostradas

En el estado límite de resistencia, se debe satisfacer el siguiente requisito:

$$f_{bu} + \frac{1}{3} f_{\ell} \leq \phi_f F_{nc} \quad (6.10.8.1.1-1)$$

donde:

ϕ_f = factor de resistencia a la flexión, especificado en el artículo 6.5.4.2.

f_{bu} = esfuerzo en el ala calculado sin considerar la flexión lateral del ala, determinado como se especifica en el artículo 6.10.1.6, en MPa.

f_{ℓ} = esfuerzo de flexión lateral del ala, determinado como se especifica en el artículo 6.10.1.6, en MPa.

F_{nc} = resistencia nominal a la flexión del ala, determinada como se especifica en el artículo 6.10.8.2, en MPa.

6.10.8.1.2. Alas sujetas a tracción discretamente arriostradas

En el estado límite de resistencia, se debe satisfacer el siguiente requisito:

$$f_{bu} + \frac{1}{3} f_{\ell} \leq \phi_f F_{nt} \quad (6.10.8.1.2-1)$$

donde:

F_{nt} = resistencia nominal a la flexión del ala, determinada como se especifica en el artículo 6.10.8.3, en MPa.

6.10.8.1.3. Alas sujetas a tracción o compresión con arriostamiento continuo

En el estado límite de resistencia, se debe satisfacer el siguiente requisito:

$$f_{bu} \leq \phi_f R_h F_{yf} \quad (6.10.8.1.3-1)$$

6.10.8.2. Resistencia a la flexión del ala sujeta a compresión

6.10.8.2.1. Requisitos generales

La Ecuación 6.10.8.1.1-1 se debe satisfacer tanto para el pandeo local como para el pandeo lateral torsional utilizando el valor apropiado de F_{nc} determinado para cada caso según se especifica en los artículos 6.10.8.2.2 y 6.10.8.2.3, respectivamente.

6.10.8.2.2. Resistencia al pandeo local

La resistencia al pandeo local del ala sujeta a compresión se debe tomar como:

- Si $\lambda_f \leq \lambda_{pf}$, entonces:

$$F_{nc} = R_b R_h F_{yc} \quad (6.10.8.2.2-1)$$

- En caso contrario:

$$F_{nc} = \left[1 - \left(1 - \frac{F_{yr}}{R_h F_{yc}} \right) \left(\frac{\lambda_f - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}} \right) \right] R_b R_h F_{yc} \quad (6.10.8.2.2-2)$$

en el cual:

λ_f = relación de esbeltez para el ala sujeta a compresión.

$$\lambda_f = \frac{b_{fc}}{2 t_{fc}} \quad (6.10.8.2.2-3)$$

$$\lambda_{pf} = 0,38 \sqrt{\frac{E}{F_{yc}}} \quad (6.10.8.2.2-4)$$

λ_{rf} = relación de esbeltez límite para un ala no compacta.

$$\lambda_{rf} = 0,56 \sqrt{\frac{E}{F_{yr}}} \quad (6.10.8.2.2-5)$$

donde:

F_{yr} = tensión del ala comprimida cuando se inicia la fluencia nominal dentro de la sección transversal, incluidos los efectos de la tensión residual pero sin incluir la flexión lateral del ala comprimida, tomada como el menor valor entre $0,7 \cdot F_{yc}$ y F_{yw} , pero no menor que $0,5 \cdot F_{yc}$;

R_b = factor de balanceo de las cargas del alma, determinado como se especifica en el artículo 6.10.1.10.2.

R_h = factor de hibridez, determinado como se especifica en el artículo 6.10.1.10.1.

6.10.8.2.3. Resistencia al pandeo lateral torsional

Para longitudes no arriostradas en el cual el miembro es prismático, la resistencia al pandeo lateral torsional del ala sujeta a compresión se debe tomar como:

- Si $L_b \leq L_p$, entonces:

$$F_{nc} = R_b R_h F_{yc} \quad (6.10.8.2.3-1)$$

- Si $L_p < L_b \leq L_r$, entonces:

$$F_{nc} = C_b \left[1 - \left(1 - \frac{F_{yr}}{R_h F_{yc}} \right) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] R_b R_h F_{yc} \leq R_b R_h F_{yc} \quad (6.10.8.2.3-2)$$

- Si $L_b > L_r$, entonces:

$$F_{nc} = F_{cr} \leq R_b R_h F_{yc} \quad (6.10.8.2.3-3)$$

en el cual:

L_b = longitud no arriostrada, en mm.

L_p = longitud no arriostrada límite para alcanzar la resistencia nominal a flexión, $R_b \cdot R_h \cdot F_{yc}$, bajo flexión uniforme, en mm.

$$L_p = 1,0 r_t \sqrt{\frac{E}{F_{yc}}} \quad (6.10.8.2.3-4)$$

L_r = longitud no arriostrada límite para alcanzar el inicio de la fluencia nominal en cualquiera de las alas bajo flexión uniforme, considerando los efectos de las tensiones residuales en el ala sujeta a compresión, en mm.

$$L_r = \pi r_t \sqrt{\frac{E}{F_{yr}}} \quad (6.10.8.2.3-5)$$

C_b = factor de modificación por gradiente de momentos. En ausencia de un análisis racional alternativo, C_b se puede calcular de la siguiente manera:

- Para voladizos no arriostrados y para miembros donde $f_{mid}/f_2 > 1$ o $f_2 = 0$:

$$C_b = 1,0 \quad (6.10.8.2.3-6)$$

- Para todos los demás casos:

$$C_b = 1,75 - 1,05 \left(\frac{f_1}{f_2} \right) + 0,3 \left(\frac{f_1}{f_2} \right)^2 \leq 2,3 \quad (6.10.8.2.3-7)$$

F_{cr} = esfuerzo de pandeo lateral torsional elástico, en MPa.

$$F_{cr} = \frac{C_b R_b \pi^2 E}{\left(\frac{L_b}{r_t}\right)^2} \quad (6.10.8.2.3-8)$$

r_t = radio efectivo de giro para el pandeo lateral torsional, en mm.

$$r_t = \frac{b_{fc}}{\sqrt{12 \left(1 + \frac{1}{3} \frac{D_c t_w}{b_{fc} t_{fc}}\right)}} \quad (6.10.8.2.3-9)$$

donde:

F_{yr} = tensión del ala comprimida cuando se inicia la fluencia nominal dentro de la sección transversal, incluidos los efectos de la tensión residual pero sin incluir la flexión lateral del ala comprimida, tomada como el menor valor entre $0,7 \cdot F_{yc}$ y F_{yw} , pero no menor que $0,5 \cdot F_{yc}$.

D_c = altura del alma comprimida en el rango elástico, en mm. Para las secciones compuestas, D_c se debe determinar tal como se especifica en el artículo D6.3.1.

f_{mid} = tensión debida a las cargas mayoradas, sin tener en cuenta la flexión lateral del ala, en la mitad de la longitud no arriostrada del ala en consideración, calculada a partir del valor de la envolvente de momentos que produce la mayor compresión en este punto, o la menor tracción si este punto nunca está comprimido; se considera positivo para tensiones de compresión y negativo para tracción, en MPa.

f_0 = tensión debida a las cargas mayoradas, sin tener en cuenta la flexión lateral del ala, en un punto de arriostramiento opuesto al punto correspondiente a f_2 , calculada a partir del valor de la envolvente de momentos que produce la mayor compresión en este punto en el ala considerada, o la menor tracción si este punto nunca está comprimido; se considera positivo para tensiones de compresión y negativo para tracción, en MPa.

f_1 = tensión, sin tener en cuenta la flexión lateral del ala, en un punto de arriostramiento opuesto al punto correspondiente a f_2 , calculada como la intercepción de la supuesta distribución de tensión lineal más crítica a través de ya sea f_2 o f_{mid} , o bien a través de f_2 o f_0 , cualquiera que produzca el menor valor de C_b , en MPa. f_1 se puede determinar de la siguiente manera:

- Cuando la variación en el momento, a lo largo de toda la longitud entre los puntos de arriostramiento, es de forma cóncava:

$$f_1 = f_0 \quad (6.10.8.2.3-10)$$

- De lo contrario:

$$f_1 = 2 f_{mid} - f_2 \geq f_0 \quad (6.10.8.2.3-11)$$

f_2 = salvo las excepciones aquí indicadas, mayor tensión de compresión, debido a las cargas mayoradas sin considerar la flexión lateral en cualquiera de los extremos de una longitud no arriostrada, calculada a partir del valor crítico de la envolvente de momentos; el valor de f_2 es siempre positivo. Si el esfuerzo en el ala considerada, en ambos extremos de la longitud no arriostrada, es nulo o de tracción, f_2 se debe tomar igual a **ceros**, en MPa.

R_b = factor de balanceo de las cargas del alma, determinado como se especifica en el artículo 6.10.1.10.2.

R_h = factor de hibridez, determinado como se especifica en el artículo 6.10.1.10.1.

Para longitudes no arriostradas donde el miembro consta de secciones monosimétricas no compuestas y está sujeto a flexión con curvatura doble, se debe verificar en ambas alas la resistencia al pandeo lateral torsional, a menos que se considere que el ala superior tiene un arriostramiento continuo.

Para longitudes no arriostradas en las cuales el miembro no es prismático, la resistencia al pandeo lateral torsional del ala sujeta a compresión F_{nc} en cada sección dentro de la longitud no arriostrada, se puede tomar como la menor de las resistencias dentro de la longitud no arriostrada en consideración, determinadas a partir de las Ecuaciones 6.10.8.2.3-1, 6.10.8.2.3-2, o 6.10.8.2.3-3, según corresponda, suponiendo que la longitud no arriostrada es prismática. En este caso el factor de modificación por gradiente de momentos, C_b , se debe tomar igual a **1,0** y L_b no debe ser afectado por el factor de longitud efectiva.

Para longitudes no arriostradas que contienen una transición a una sección menor en una distancia menor o igual que el **20 por ciento** de la longitud no arriostrada, a partir del punto de arriostramiento con el menor momento, la resistencia al pandeo lateral torsional se puede determinar suponiendo que esta transición a la sección menor no existe, siempre que el momento de inercia lateral del ala o alas de la sección más pequeña es mayor o igual que la mitad del valor correspondiente a la sección más grande.

6.10.8.3. Resistencia a la flexión del ala a tracción

La resistencia nominal a la flexión del ala sujeta a tracción se debe tomar como:

$$F_{nt} = R_h F_{yt} \quad (6.10.8.3-1)$$

donde:

R_h = factor de hibridez, determinado como se especifica en el artículo 6.10.1.10.1.

6.10.9. Resistencia al corte

6.10.9.1. Requisitos generales

En el estado límite de resistencia, los paneles del alma rectos y curvos deben satisfacer:

$$V_u \leq \phi_v V_n \quad (6.10.9.1-1)$$

donde:

ϕ_v = factor de resistencia al corte, especificado en el artículo 6.5.4.2.

V_n = resistencia nominal al corte, determinada como se especifica en los artículos 6.10.9.2 y 6.10.9.3 para almas rigidizadas y no rigidizadas, respectivamente, en N.

V_u = corte en el alma debida a las cargas mayoradas en la sección considerada, en N.

Los rigidizadores transversales intermedios se deben dimensionar tal como se especifica en el artículo 6.10.11.1. Los rigidizadores longitudinales se deben dimensionar tal como se especifica en el artículo 6.10.11.3.

Los paneles interiores del alma de miembros, híbridos y no híbridos, de sección I:

- sin rigidizador longitudinal y con rigidizadores transversales separados en no más de **3·D**, o
- con uno o más rigidizadores longitudinales y con rigidizadores transversales separados en no más de **1,5·D**

se deben considerar rigidizados, y por lo tanto serán aplicables los requisitos del artículo 6.10.9.3. En caso contrario, o sea paneles no rigidizados, se deben aplicar los requisitos del artículo 6.10.9.2.

Para las almas rigidizadas, los requisitos para los paneles extremos serán como se especifica en el artículo 6.10.9.3.3.

6.10.9.2. Resistencia nominal de las almas no rigidizadas

La resistencia nominal al corte de las almas no rigidizadas se debe tomar como:

$$V_n = V_{cr} = C V_p \quad (6.10.9.2-1)$$

en el cual:

$$V_p = 0,58 F_{yw} D t_w \quad (6.10.9.2-2)$$

donde:

C = relación entre la resistencia al pandeo por corte y la tensión de fluencia al corte, determinada mediante las Ecuaciones 6.10.9.3.2-4, 6.10.9.3.2-5 o 6.10.9.3.2-6, según corresponda, tomando el coeficiente de pandeo por corte, **k**, igual a **5,0**.

V_{cr} = resistencia al pandeo por corte, en N.

V_n = resistencia nominal al corte, en N.

V_p = fuerza de corte plástico, en N.

6.10.9.3. Resistencia nominal de las almas rigidizadas

6.10.9.3.1. Requisitos generales

La resistencia nominal al corte de los paneles interiores del alma, rigidizados transversalmente o rigidizados transversal y longitudinalmente, deberá ser como se especifica en el artículo 6.10.9.3.2. La resistencia nominal al corte de los paneles extremos del alma, rigidizados transversalmente o rigidizados transversal y longitudinalmente, deberá ser como se especifica en el artículo 6.10.9.3.3. Para determinar la resistencia nominal al corte de los paneles del alma con rigidizadores longitudinales, se debe utilizar la altura total del alma, D . La separación requerida entre los rigidizadores transversales se debe calcular utilizando el corte máximo en el panel.

Los rigidizadores deben satisfacer los requisitos especificados en el artículo 6.10.11.

6.10.9.3.2. Paneles interiores

La resistencia nominal al corte de un panel interior del alma, que satisface los requisitos del artículo 6.10.9.1, con la sección a lo largo de todo el panel dimensionada de tal manera que:

$$\frac{2 D t_w}{(b_{fc} t_{fc} + b_{ft} t_{ft})} \leq 2,5 \quad (6.10.9.3.2-1)$$

se debe tomar como:

$$V_n = V_p \left[C + \frac{0,87 (1 - C)}{\sqrt{1 + \left(\frac{d_o}{D}\right)^2}} \right] \quad (6.10.9.3.2-2)$$

en el cual:

$$V_p = 0,58 F_{yw} D t_w \quad (6.10.9.3.2-3)$$

donde:

d_o = separación de los rigidizadores transversales, en mm.

V_n = resistencia nominal al corte del panel del alma, en N.

V_p = fuerza de corte plástico, en N.

C = relación entre la resistencia al pandeo por corte y la tensión de fluencia al corte.

La relación, **C**, se debe determinar tal como se especifica a continuación:

- Si $\frac{D}{t_w} \leq 1,12 \sqrt{\frac{E k}{F_{yw}}}$, entonces:

$$C = 1,0 \quad (6.10.9.3.2-4)$$

- Si $1,12 \sqrt{\frac{E k}{F_{yw}}} < \frac{D}{t_w} \leq 1,40 \sqrt{\frac{E k}{F_{yw}}}$, entonces:

$$C = \frac{1,12}{\frac{D}{t_w}} \sqrt{\frac{E k}{F_{yw}}} \quad (6.10.9.3.2-5)$$

- Si $\frac{D}{t_w} > 1,40 \sqrt{\frac{E k}{F_{yw}}}$, entonces:

$$C = \frac{1,57}{\left(\frac{D}{t_w}\right)^2} \left(\frac{E k}{F_{yw}}\right) \quad (6.10.9.3.2-6)$$

en el cual:

k = coeficiente de pandeo por corte

$$k = 5 + \frac{5}{\left(\frac{d_o}{D}\right)^2} \quad (6.10.9.3.2-7)$$

En caso contrario, la resistencia nominal al corte se debe tomar de la siguiente manera:

$$V_n = V_p \left[C + \frac{0,87(1-C)}{\left(\sqrt{1 + \left(\frac{d_o}{D}\right)^2} + \frac{d_o}{D} \right)} \right] \quad (6.10.9.3.2-8)$$

6.10.9.3.3. Paneles extremos

La resistencia nominal al corte de un panel extremo del alma se debe tomar como:

$$V_n = V_{cr} = C V_p \quad (6.10.9.3.3-1)$$

en el cual:

$$V_p = 0,58 F_{yw} D t_w \quad (6.10.9.3.3-2)$$

donde:

C = relación entre la resistencia al pandeo por corte y la tensión de fluencia al corte, determinada mediante las Ecuaciones 6.10.9.3.2-4, 6.10.9.3.2-5, o 6.10.9.3.2-6, según corresponda.

V_{cr} = resistencia al pandeo por corte, en N.

V_p = fuerza de corte plástico, en N.

La separación de los rigidizadores transversales, en los paneles extremos con o sin rigidizadores longitudinales, no deberá ser mayor que **1,5·D**.

6.10.10. Conectores de corte

6.10.10.1. Requisitos generales

En las secciones compuestas, se deben proporcionar conectores de corte tipo stud o tipo canal en la interface entre el tablero de hormigón y la sección de acero para resistir el corte en la interfaz.

En puentes compuestos de un solo tramo, se deben proveer conectores de corte en toda la longitud del tramo.

En puentes compuestos rectos, de tramos continuos, normalmente se deberían proveer conectores de corte en toda la longitud del puente. En las zonas de flexión negativa, se deben proporcionar conectores de corte si se considera que la armadura longitudinal forma parte de la sección compuesta. En caso contrario, no será necesario proveer conectores de corte en las zonas de flexión negativa, pero se deberán colocar conectores adicionales en la zona donde se encuentran los puntos de inflexión de la carga permanente, tal como se especifica en el artículo 6.10.10.3.

Si en las zonas de flexión negativa no se colocan conectores de corte, la armadura longitudinal se debe prolongar hacia la zona de flexión positiva tal como se especifica en el artículo 6.10.1.7.

En puentes compuestos curvos de tramos continuos, se deben proporcionar conectores de corte en toda la longitud del puente.

6.10.10.1.1. Tipos

Los conectores de corte tipo stud y tipo canal se deben diseñar de acuerdo con los requisitos del presente artículo.

El tipo de los conectores de corte debe ser tal que permita una compactación adecuada del hormigón para garantizar que la totalidad de sus superficies estén en contacto con el

hormigón. Los conectores deben ser capaces de resistir tanto los movimientos verticales como horizontales entre el hormigón y el acero.

La relación entre la altura y el diámetro, de un conector de corte tipo stud, no deberá ser menor que **4,0**.

Los conectores de corte tipo canal tendrán soldaduras de filete no menores de **5 mm** colocadas a lo largo del talón y punta del ala del canal.

6.10.10.1.2. Separación de los conectores de corte a lo largo del eje longitudinal

La separación de los conectores de corte a lo largo del eje longitudinal se deberá determinar para satisfacer el estado límite de fatiga, tal como se especifica en los artículos 6.10.10.2 y 6.10.10.3. El número resultante de conectores de corte no será menor que el número requerido para satisfacer el estado límite de resistencia, tal como se especifica en el artículo 6.10.10.4.

La separación de los conectores de corte, **p**, debe satisfacer:

$$p \leq \frac{n Z_r}{V_{sr}} \quad (6.10.10.1.2-1)$$

en el cual:

V_{sr} = rango de corte por fatiga horizontal por unidad de longitud, en N/mm.

$$V_{sr} = \sqrt{(V_{fat})^2 + (F_{fat})^2} \quad (6.10.10.1.2-2)$$

V_{fat} = rango de corte por fatiga longitudinal por unidad de longitud, en N/mm.

$$V_{fat} = \frac{V_f Q}{I} \quad (6.10.10.1.2-3)$$

F_{fat} = rango de corte por fatiga radial por unidad de longitud, en N/mm, tomado como el valor máximo de:

$$F_{fat1} = \frac{A_{bot} \sigma_{flg} \ell}{w R} \quad (6.10.10.1.2-4)$$

o bien:

$$F_{fat2} = \frac{F_{rc}}{w} \quad (6.10.10.1.2-5)$$

donde:

σ_{flg} = rango de tensión longitudinal por fatiga en el ala inferior sin considerar la flexión lateral del ala, en MPa.

A_{bot} = área del ala inferior, en mm².

- F_{rc} = rango neto de la fuerza del marco transversal o diafragma en el ala superior, en N.
- I = momento de inercia de la sección compuesta a corto plazo, en mm^4 .
- ℓ = distancia entre puntos de arriostramiento, en mm.
- n = número de conectores de corte en una sección transversal.
- p = separación de los conectores de corte a lo largo del eje longitudinal, en mm.
- Q = primer momento del área transformada a corto plazo del tablero de hormigón respecto al eje neutro de la sección compuesta a corto plazo, en mm^3 .
- R = radio mínimo de la viga primaria dentro de un panel, en mm.
- V_f = rango de la fuerza de corte vertical, bajo la combinación de cargas correspondiente al estado límite de fatiga especificada en la Tabla 3.4.1-1, siendo la sobrecarga de fatiga la indicada en el artículo 3.6.1.4, en N.
- w = longitud efectiva del tablero, en mm, igual a **1200 mm**, excepto en los apoyos extremos donde w se puede tomar igual a **600 mm**.
- Z_r = resistencia a la fatiga por corte de un conector de corte individual, determinada como se especifica en el artículo 6.10.10.2, en N.

Para tramos o segmentos rectos, el rango de corte radial por fatiga, de la Ecuación 6.10.10.1.2-4, se puede tomar igual a **cero**. Para puentes rectos o curvados horizontalmente con ángulo de oblicuidad no mayor a **20 grados**, el rango de corte radial por fatiga de la Ecuación 6.10.10.1.2-5 se puede tomar igual a **cero**.

La separación entre centros de los conectores de corte, a lo largo del eje longitudinal, no debe ser mayor que **600 mm** ni menor que **6 veces** el diámetro del conector.

6.10.10.1.3. Separación transversal

Los conectores de corte se deben colocar transversalmente en el ala superior de la sección de acero, y se pueden separar a intervalos regulares o variables.

La separación entre centros, de los conectores de corte tipo stud, debe ser mayor que **4 veces** el diámetro del conector, medida en forma transversal al eje longitudinal del miembro de apoyo.

La distancia libre, entre el borde del ala superior y el borde del conector de corte más próximo, no deberá ser menor que **25 mm**.

6.10.10.1.4. Recubrimiento de hormigón y penetración

El recubrimiento libre de hormigón, por sobre la parte superior de los conectores de corte, no debe ser menor que **50 mm**. Los conectores de corte deben penetrar, como mínimo, **50 mm** en el tablero de hormigón.

6.10.10.2. Resistencia a la fatiga

La resistencia al corte por fatiga de un conector de corte individual tipo stud, Z_r , se debe tomar como:

Para conectores de cortante tipo stud:

- Si la proyección a **75 años** del tránsito medio diario de camiones en un único carril, $ADTT_{SL}$, es mayor o igual a **960 camiones por día**, se debe utilizar la combinación de cargas correspondiente a Fatiga I y la resistencia al corte por fatiga para vida infinita se debe tomar como:

$$Z_r = 38 d^2 \quad (6.10.10.2-1)$$

- De lo contrario, se debe utilizar la combinación de cargas correspondiente a Fatiga II y la resistencia al corte por fatiga para vida infinita se debe tomar como:

$$Z_r = \alpha d^2 \quad (6.10.10.2-2)$$

en donde:

$$\alpha = 238 - 29,5 \log N \quad (6.10.10.2-3)$$

Para conectores de corte tipo canal:

- Si la proyección a **75 años** del tránsito medio diario de camiones en un único carril, $ADTT_{SL}$, es mayor o igual a **1850 camiones por día**, se debe utilizar la combinación de cargas correspondiente a Fatiga I y la resistencia al corte por fatiga para vida infinita se debe tomar como:

$$Z_r = 367,8 w \quad (6.10.10.2-4)$$

- De lo contrario, se debe utilizar la combinación de cargas correspondiente a Fatiga II y la resistencia al corte por fatiga para vida infinita se debe tomar como

$$Z_r = B w \quad (6.10.10.2-4)$$

en el cual:

$$B = 1641 - 189,1 \log N \quad (6.10.10.2-5)$$

donde:

$(ADTT)_{SL}$ = ADTT en un único carril, tal como se especifica en el artículo 3.6.1.4.2.

d = diámetro del conector de corte tipo stud, en mm.

N = número de ciclos, especificado en el artículo 6.6.1.2.5.

w = longitud del conector tipo canal, medida transversalmente a la dirección del ala, en mm.

La separación entre los conectores se debe determinar a partir de la Ecuación 6.10.10.1.2-1 utilizando el valor de Z_r y el rango de la fuerza de corte V_{sr} .

Se debe analizar el efecto del conector de corte, sobre la resistencia del ala a la fatiga, utilizando los requisitos del artículo 6.6.1.2.

6.10.10.3. Requisitos especiales para puntos de inflexión de la carga permanente

Para miembros que en su condición final son no compuestos en flexión negativa, se deben proporcionar conectores adicionales de corte en la zona donde se encuentran los puntos de inflexión de la carga permanente.

El número de conectores adicionales de corte, n_{ac} , se debe tomar como:

$$n_{ac} = \frac{A_s f_{sr}}{Z_r} \quad (6.10.10.3-1)$$

donde:

A_s = área total de la armadura longitudinal, por encima del apoyo interior, comprendida dentro del ancho efectivo del tablero de hormigón, en mm^2 .

f_{sr} = rango de esfuerzos en la armadura longitudinal sobre un apoyo interior bajo la combinación de cargas aplicable para el estado límite de fatiga especificada en la Tabla 3.4.1-1, siendo la sobrecarga de fatiga tal como se especifica en el artículo 3.6.1.4, en MPa.

Z_r = resistencia al corte por fatiga de un conector de corte individual, determinada como se especifica en el artículo 6.10.10.2, en N.

Los conectores adicionales de corte se deben colocar dentro de una distancia igual a **un tercio** del ancho efectivo del ala, especificado en el artículo 4.6.2.6, a cada lado del punto de inflexión de la carga permanente del acero. La separación entre centros de todos los conectores de corte, incluyendo los conectores adicionales, dentro de esa distancia debe satisfacer los requisitos de separación máxima y mínima indicados en el artículo 6.10.10.1.2. Los empalmes realizados en obra se deben colocar de manera que no interfieran con los conectores de corte.

6.10.10.4. Estado límite de resistencia

6.10.10.4.1. Requisitos generales

La resistencia minorada al corte de un único conector de corte, Q_r , en el estado límite de resistencia se debe tomar como:

$$Q_r = \phi_{sc} Q_n \quad (6.10.10.4.1-1)$$

donde:

Q_n = resistencia nominal al corte de un conector de corte individual, determinada como se especifica en el artículo 6.10.10.4.3, en N.

ϕ_{sc} = factor de resistencia de los conectores de corte, especificado en el artículo 6.5.4.2.

En el estado límite de resistencia, el mínimo número de conectores de cortante, n , sobre la zona considerada se debe tomar como:

$$n = \frac{P}{Q_r} \quad (6.10.10.4.1-2)$$

donde:

P = fuerza de corte nominal total, determinada como se especifica en el artículo 6.10.10.4.2, en N.

Q_r = resistencia minorada al corte de un conector de corte, determinada mediante la Ecuación 6.10.10.4.1-1, en N.

6.10.10.4.2. Fuerza de corte nominal

Para tramos simples y para tramos continuos que en su condición final no son compuestas en la zona de flexión negativa, la fuerza de corte nominal total, P , entre el punto de máximo momento positivo de diseño debido a la sobrecarga más el impacto y cada punto adyacente de momento nulo, se debe tomar como:

$$P = \sqrt{P_p^2 + F_p^2} \quad (6.10.10.4.2-1)$$

en el cual:

P_p = fuerza longitudinal total en el tablero de hormigón en el punto de máximo momento positivo debido a la sobrecarga más impacto, en N, tomada como el menor de los siguientes valores:

$$P_{1p} = 0,85 f'_c b_s t_s \quad (6.10.10.4.2-2)$$

o bien

$$P_{2p} = F_{yw} D t_w + F_{yt} b_{ft} t_{ft} + F_{yc} b_{fc} t_{fc} \quad (6.10.10.4.2-3)$$

F_p = fuerza radial total en el tablero de hormigón en el punto de máximo momento positivo debido a la sobrecarga más impacto, en N, tomada como:

$$F_p = P_p \frac{L_p}{R} \quad (6.10.10.4.2-4)$$

donde:

b_s = ancho efectivo del tablero de hormigón, en mm.

L_p = longitud de arco entre un extremo de la viga primaria y el punto adyacente de máximo momento positivo debido a la sobrecarga más impacto, en mm.

R = radio mínimo de la viga primaria sobre la longitud L_p , en mm.

t_s = altura del tablero de hormigón, en mm.

Para tramos o segmentos rectos, F_p se puede tomar igual a **cero**.

Para tramos continuos que en su condición final son compuestas en la zona de flexión negativa, la fuerza de corte nominal total, P , entre el punto de máximo momento positivo debido a la sobrecarga más impacto y un extremo adyacente del miembro, se debe determinar utilizando la Ecuación 6.10.10.4.2-1. La fuerza de corte nominal total, P , entre el punto de máximo momento positivo debido a la sobrecarga más impacto y el eje de un apoyo interior adyacente, se debe tomar como:

$$P = \sqrt{P_T^2 + F_T^2} \quad (6.10.10.4.2-5)$$

en el cual:

P_T = fuerza longitudinal total en el tablero de hormigón entre el punto de máximo momento positivo debido a la sobrecarga más impacto y el eje de un apoyo interior adyacente, en N, tomada como:

$$P_T = P_p + P_n \quad (6.10.10.4.2-6)$$

P_n = fuerza longitudinal total en el tablero de hormigón sobre un apoyo interior, en N, tomada como el menor de los siguientes valores:

$$P_{1n} = F_{yw} D t_w + F_{yt} b_{ft} t_{ft} + F_{yc} b_{fc} t_{fc} \quad (6.10.10.4.2-7)$$

o bien:

$$P_{2n} = 0,45 f'_c b_s t_s \quad (6.10.10.4.2-8)$$

F_T = fuerza radial total en el tablero de hormigón entre el punto de máximo momento positivo debido a la sobrecarga más impacto y el eje de un apoyo interior adyacente, en N, tomada como:

$$F_T = P_T \frac{L_n}{R} \quad (6.10.10.4.2-9)$$

donde:

L_n = longitud del arco entre el punto de máximo momento positivo debido a la sobrecarga más impacto y el eje de un apoyo interior adyacente, en mm.

R = radio mínimo de la viga primaria sobre la longitud L_n , en mm.

Para tramos o segmentos rectos, F_T se puede tomar igual a **cero**.

6.10.10.4.3. Resistencia nominal al corte

La resistencia nominal al corte de un conector de corte tipo stud, embebido en el tablero de hormigón, se deberá tomar como:

$$Q_n = 0,5 A_{sc} \sqrt{f'_c E_c} \leq A_{sc} F_u \quad (6.10.10.4.3-1)$$

donde:

A_{sc} = área de la sección transversal de un conector de corte tipo stud, en mm².

E_c = módulo de elasticidad del hormigón, determinado como se especifica en el artículo 5.4.2.4, en MPa.

F_u = tensión de rotura a tracción mínima especificada de los conectores de corte tipo stud, determinado como se especifica en el artículo 6.4.4, en MPa.

La resistencia nominal al corte de un conector de corte tipo canal, embebido en el tablero de hormigón, se deberá tomar como:

$$Q_n = 0,3 (t_f + 0,5 t_w) L_c \sqrt{f'_c E_c} \quad (6.10.10.4.3-2)$$

donde:

t_f = espesor del ala del conector de corte tipo canal, en mm.

t_w = espesor del alma del conector de corte tipo canal, en mm.

L_c = longitud del conector de corte tipo canal, en mm.

6.10.11. Rigidizadores

6.10.11.1. Rigidizadores transversales

6.10.11.1.1. Requisitos generales

Los rigidizadores transversales constan de chapas o ángulos soldados o abulonados a uno o ambos lados del alma.

Los rigidizadores en vigas primarias rectas que no se utilicen como chapas de unión se deberán ajustar estrechamente o conectar al ala sujeta a compresión, pero no necesitan estar en contacto pleno con el ala sujeta a tracción. Los rigidizadores simples de un solo lado, en vigas primarias curvadas horizontalmente, se deben unir a ambas alas. Cuando se utilicen pares de rigidizadores transversales en vigas curvadas horizontalmente, estos deberán estar estrechamente ajustados o unidos a ambas alas.

Los rigidizadores que se utilicen como chapas de unión, para diafragmas o marcos transversales, se deberán conectar a ambas alas.

La distancia entre el extremo de la soldadura alma-rigidizador y el borde adyacente más próximo de la soldadura alma-ala o rigidizador longitudinal-ala, no deberá ser menor que $4 \cdot t_w$ ni mayor que el menor valor entre $6 \cdot t_w$ y 100 mm .

6.10.11.1.2. Ancho saliente

El ancho, b_t , en mm, de cada elemento rigidizador saliente deberá satisfacer:

$$b_t \geq 50 + \frac{D}{30} \quad (6.10.11.1.2-1)$$

y

$$16 t_p \geq b_t \geq b_f / 4 \quad (6.10.11.1.2-2)$$

donde:

b_f = para secciones en I, ancho total del ala más ancha sujeta a compresión dentro de la sección considerada; para secciones tipo omega invertida, ancho total del ala superior más ancha dentro de la sección considerada; para secciones tipo cajón cerrado no se aplica el límite de $b_f / 4$, en mm.

t_p = espesor del elemento rigidizador saliente, en mm.

6.10.11.1.3. Momento de inercia

Para rigidizadores transversales, adyacentes a los paneles del alma, en los cuales ningún panel soporta una fuerza de corte, V_u , mayor que la resistencia minorada al pandeo por corte, $\phi_v V_{cr}$, el momento de inercia, I_t , del rigidizador transversal deberá satisfacer el menor de los siguientes límites:

$$I_t \geq I_{t1} \quad (6.10.11.1.3-1)$$

y:

$$I_t \geq I_{t2} \quad (6.10.11.1.3-2)$$

en el cual:

$$I_{t1} = b t_w^3 J \quad (6.10.11.1.3-3)$$

$$I_{t2} = \frac{D^4 \rho_t^{1,3}}{40} \left(\frac{F_{yw}}{E} \right)^{1,5} \quad (6.10.11.1.3-4)$$

$$J = \frac{2,5}{(d_o/D)^2} - 2,0 \geq 0,5 \quad (6.10.11.1.3-5)$$

$$F_{crs} = \frac{0,31 E}{\left(\frac{b_t}{t_p}\right)^2} \leq F_{ys} \quad (6.10.11.1.3-6)$$

$$V_{cr} = C V_p \quad (6.10.11.1.3-7)$$

$$V_p = 0,58 F_{yw} D t_w \quad (6.10.11.1.3-8)$$

donde:

ϕ_v = factor de resistencia al corte, especificado en el artículo 6.5.4.2.

V_{cr} = menor de las resistencias al pandeo por corte nominal de los paneles del alma adyacentes, en N.

V_u = mayor de las fuerzas de corte, debidas a las cargas mayoradas, en los paneles del alma adyacentes, en N.

I_t = momento de inercia del rigidizador transversal, tomado respecto al borde en contacto con el alma, en el caso de rigidizadores simples, y respecto a la línea media del espesor del alma en el caso de pares de rigidizadores, en mm⁴.

b = menor valor entre d_o y D , en mm.

d_o = menor valor de los anchos de los paneles del alma adyacentes, en mm.

J = parámetro de rigidez flexional del rigidizador.

ρ_t = factor igual al mayor valor entre F_{yw}/F_{crs} y $1,0$.

F_{crs} = esfuerzo de pandeo local para el rigidizador, en MPa.

F_{ys} = tensión de fluencia mínima especificada del rigidizador, en MPa.

C = relación entre la resistencia al pandeo por corte y la tensión de fluencia al corte determinada mediante las Ecuaciones 6.10.9.3.2-4, 6.10.9.3.2-5, o 6.10.9.3.2-6, según corresponda. Para los paneles del alma que se consideran no rigidizados, el coeficiente de pandeo por corte, k , se deberá tomar igual a $5,0$.

V_p = fuerza de corte plástico, en N.

Para rigidizadores transversales, adyacentes a los paneles del alma, en los cuales la fuerza corte, V_u , es mayor que la resistencia minorada al pandeo por corte, $\phi_v \cdot V_{cr}$, y en consecuencia se requiere resistencia al post-pandeo del alma o resistencia del campo traccionado en uno o ambos paneles, el momento de inercia de los rigidizadores transversales, I_t , deberá satisfacer:

- Si $I_{t2} > I_{t1}$, entonces:

$$I_t \geq I_{t1} + (I_{t2} - I_{t1}) \left(\frac{V_u - \phi_v V_{cr}}{\phi_v V_n - \phi_v V_{cr}} \right) \quad (6.10.11.1.3-9)$$

- de lo contrario:

$$I_t \geq I_{t2} \quad (6.10.11.1.3-10)$$

donde:

V_n = menor de las resistencias nominales combinadas del pandeo y del campo traccionado por corte de los paneles del alma adyacentes, determinado como se especifica en el artículo 6.10.9.3.2, en N.

Los rigidizadores transversales, utilizados en los paneles del alma con rigidizadores longitudinales, también deberán satisfacer:

$$I_t \geq \left(\frac{b_t}{b_\ell} \right) \left(\frac{D}{3,0 d_o} \right) I_\ell \quad (6.10.11.1.3-11)$$

donde:

b_t = ancho saliente del rigidizador transversal, en mm.

b_ℓ = ancho saliente del rigidizador longitudinal, en mm.

I_ℓ = momento de inercia del rigidizador longitudinal, determinado como se especifica en el artículo 6.10.11.3.3, en mm⁴.

6.10.11.2. Rigidizadores de apoyo

6.10.11.2.1. Requisitos generales

Se deben colocar rigidizadores de apoyo en las almas de las secciones armadas en la ubicación de todos los apoyos. En la ubicación de los apoyos, sobre los perfiles laminados, y en otras ubicaciones, sobre una sección armada o un perfil laminado sujeto a cargas concentradas, si las cargas no son transmitidas a través de un tablero o sistema de tablero se deben proporcionar rigidizadores de apoyo o bien el alma deberá satisfacer los requisitos del artículo D6.5.

Los rigidizadores de apoyo constarán de una o más chapas o ángulos soldados o abulonados a ambos lados del alma. Las conexiones al alma se deben diseñar de manera que transmitan la totalidad de la fuerza de apoyo debida a las cargas mayoradas.

Los rigidizadores deben abarcar la totalidad de la altura del alma y prolongarse lo más cerca posible a los bordes externos de las alas.

Cada rigidizador se deberá ya sea fresar de manera que apoye contra el ala a través de la cual recibe su carga o bien fijar a dicha ala mediante una soldadura acanalada de penetración completa.

6.10.11.2.2. Ancho saliente

El ancho, b_t , de cada elemento rigidizador saliente deberá satisfacer:

$$b_t \leq 0,48 t_p \sqrt{\frac{E}{F_{ys}}} \quad (6.10.11.2.2-1)$$

donde:

F_{ys} = tensión de fluencia mínima especificada del rigidizador, en MPa.

t_p = espesor del elemento rigidizador saliente, en mm.

6.10.11.2.3. Resistencia al aplastamiento

La resistencia minorada al aplastamiento para los extremos recortados de los rigidizadores de apoyo se deberá tomar como:

$$(R_{sb})_r = \phi_b (R_{sb})_n \quad (6.10.11.2.3-1)$$

en el cual:

$(R_{sb})_n$ = resistencia al aplastamiento nominal para los extremos recortados de los rigidizadores de apoyo, en N.

$$(R_{sb})_n = 1,4 A_{pn} F_{ys} \quad (6.10.11.2.3-2)$$

donde:

ϕ_b = factor de resistencia al aplastamiento, especificado en el artículo 6.5.4.2

A_{pn} = área de los elementos salientes del rigidizador que está por fuera de la soldadura de filete alma-ala pero no más allá del borde del ala, en mm².

F_{ys} = tensión de fluencia mínima especificada del rigidizador, en MPa.

6.10.11.2.4. Resistencia axial de los rigidizadores de apoyo

6.10.11.2.4a. Requisitos generales

La resistencia minorada axial, P_r , se debe determinar tal como se especifica en el artículo 6.9.2.1 utilizando la tensión de fluencia mínima especificada, F_{ys} , de las chapas de los rigidizadores. El radio de giro se deberá calcular respecto del eje medio del espesor del alma y la longitud efectiva se debe tomar igual a $0,75 \cdot D$, siendo D la altura del alma.

6.10.11.2.4b. Sección efectiva

Para los rigidizadores abulonados al alma, la sección de la columna efectiva deberá consistir exclusivamente de los elementos rigidizadores.

Excepto que aquí se especifique lo contrario, para los rigidizadores soldados al alma se deberá incluir una parte del alma como parte de la sección de la columna efectiva. Para los rigidizadores que constan en dos chapas soldadas al alma, la sección de la columna efectiva deberá consistir de los dos elementos rigidizadores, más una faja central del alma que se extienda a no más de $9 \cdot t_w$ a cada lado de los rigidizadores. Si se utiliza más de un par de rigidizadores, la sección de la columna efectiva deberá consistir de todos los elementos rigidizadores, más una faja central del alma que se extienda a no más de $9 \cdot t_w$ a cada lado de los elementos salientes exteriores del grupo.

No se deberá incluir la faja del alma en la sección efectiva en el caso de los apoyos interiores de tramos continuos de miembros híbridos en los cuales la tensión de fluencia mínima especificada del alma es menor que el **70 por ciento** de la tensión de fluencia mínima especificada del ala de mayor resistencia.

Si la tensión de fluencia mínima especificada del alma es menor que el de las chapas de los rigidizadores, la faja del alma incluida en la sección efectiva se deberá reducir mediante la relación F_{yw}/F_{ys} .

6.10.11.3. Rigidizadores longitudinales

6.10.11.3.1. Requisitos generales

Cuando sean requeridos los rigidizadores longitudinales deben consistir, ya sea de una chapa soldada a un lado del alma o bien de un ángulo abulonado. Los rigidizadores longitudinales deben estar colocados en una posición vertical sobre el alma de manera tal que satisfaga la Ecuación 6.10.3.2.1-3 cuando se verifique la constructibilidad, se satisfaga la Ecuación 6.10.4.2.2-4 en el estado límite de servicio, y se satisfagan todos los requisitos de diseño aplicables en el estado límite de resistencia.

Siempre que sea posible, los rigidizadores longitudinales se deben extender sin interrupción en toda su longitud especificada, a menos que se indique lo contrario en los pliegos de especificaciones técnicas. Si los elementos transversales del alma, que sirven como rigidizadores, son interrumpidos por un rigidizador longitudinal, el elemento transversal se deberá unir al rigidizador longitudinal para desarrollar la resistencia a la flexión y la resistencia axial del elemento transversal.

El esfuerzo de flexión en el rigidizador longitudinal, f_s , debido a las cargas mayoradas en el estado límite de resistencia y cuando se verifique la constructibilidad, deberá satisfacer:

$$f_s \leq \phi_f R_h F_{ys} \quad (6.10.11.3.1-1)$$

donde:

ϕ_f = factor de resistencia a la flexión, especificado en el artículo 6.5.4.2.

F_{ys} = tensión de fluencia mínima especificada del rigidizador, en MPa.

R_h = factor de hibridez, determinado como se especifica en el artículo 6.10.1.10.1.

6.10.11.3.2. Ancho saliente

El ancho saliente, b_ℓ , del rigidizador deberá satisfacer:

$$b_\ell \leq 0,48 t_s \sqrt{\frac{E}{F_{ys}}} \quad (6.10.11.3.2-1)$$

donde:

t_s = espesor del rigidizador, en mm.

6.10.11.3.3. Momento de inercia y radio de giro

Los rigidizadores longitudinales deberán satisfacer:

$$I_\ell \geq D t_w^3 \left[2,4 \left(\frac{d_o}{D} \right)^2 - 0,13 \right] \beta \quad (6.10.11.3.3-1)$$

y

$$r \geq \frac{0,16 d_o \sqrt{\frac{F_{ys}}{E}}}{\sqrt{1 - 0,6 \frac{F_{yc}}{R_h F_{ys}}}} \quad (6.10.11.3.3-2)$$

en el cual:

β = factor de corrección de curvatura por la rigidez de los rigidizadores longitudinales, calculado como se especifica a continuación:

- Para los casos donde el rigidizador longitudinal está sobre el alma del lado opuesto al centro de curvatura:

$$\beta = \frac{Z}{6} + 1 \quad (6.10.11.3.3-3)$$

- Para los casos donde el rigidizador longitudinal está sobre el alma hacia el lado del centro de curvatura:

$$\beta = \frac{Z}{12} + 1 \quad (6.10.11.3.3-4)$$

Z = parámetro de curvatura:

$$Z = \frac{0,95 d_o^2}{R t_w} \leq 10 \quad (6.10.11.3.3-5)$$

donde:

d_o = separación entre rigidizadores transversales, en mm.

I_e = momento de inercia del rigidizador longitudinal del alma, incluyendo un ancho efectivo del alma igual a $18 \cdot t_w$ tomado respecto al eje neutro de la sección combinada, en mm⁴. Si F_{yw} es menor que F_{ys} , la faja del alma incluida en la sección efectiva se deberá reducir por la relación F_{yw}/F_{ys} .

R = radio mínimo de la viga primaria en el panel, en mm.

r = radio de giro del rigidizador longitudinal del alma, incluyendo un ancho efectivo de alma igual a $18 \cdot t_w$ tomado respecto al eje neutro de la sección combinada, en mm.

6.10.12. Platabandas

6.10.12.1. Requisitos generales

La longitud de cualquier platabanda, L_{cp} , en mm, que se añade a un miembro deberá satisfacer:

$$L_{cp} \geq \frac{d}{6} + 3 \quad (6.10.12.1-1)$$

donde:

d = altura total de la sección de acero, en mm.

No se deberán utilizar platabandas soldadas de longitud parcial en alas de más de **20 mm** de espesor para estructuras, con recorridos no redundantes de carga, sujetas a cargas repetitivas que generan tracción o inversión de esfuerzo en el ala.

El máximo espesor de una única platabanda sobre el ala no deberá ser mayor que **dos veces** el espesor del ala a la cual la platabanda está unida. No se permiten utilizar múltiples platabandas soldadas.

Las platabandas pueden ser ya sea de mayor o menor ancho que el ala a la cual están unidos.

6.10.12.2. Requisitos aplicables a los extremos de las platabandas

6.10.12.2.1. Requisitos generales

El extremo teórico de la platabanda se debe tomar como la sección donde el momento, M_u , o el esfuerzo de flexión, f_{bu} , debido a las cargas mayoradas es igual a la resistencia minorada a la flexión del ala. La platabanda se debe prolongar más allá del extremo teórico una distancia suficiente para que:

- El rango de esfuerzos en el extremo real satisfaga los requisitos de fatiga correspondientes especificados en el artículo 6.6.1.2, y
- La fuerza longitudinal en la platabanda, debida a las cargas mayoradas en el extremo teórico, se pueda desarrollar mediante soldaduras y/o bulones colocados entre los extremos teórico y real.

El ancho en los extremos de las platabandas ahusadas, no deberá ser menor que **75 mm**.

6.10.12.2.2. Extremos soldados

Las soldaduras, que conectan la platabanda al ala entre los extremos teórico y real, deben ser adecuadas para desarrollar la fuerza calculada en la platabanda en el extremo teórico.

Si las platabandas tienen un mayor ancho que el ala, las soldaduras no se envolverán alrededor de los extremos de la platabanda.

6.10.12.2.3. Extremos abulonados

Los bulones en las conexiones de deslizamiento crítico entre la platabanda y el ala, que están ubicados entre los extremos teórico y real, deberán ser capaces de desarrollar la fuerza debida a las cargas mayoradas en la platabanda en el extremo teórico.

La resistencia al deslizamiento, de la conexión abulonada en el extremo, se debe determinar de acuerdo con el artículo 6.13.2.8. Las soldaduras longitudinales que conectan la platabanda al ala deben ser continuas y se deben interrumpir a una distancia igual a una separación entre bulones antes de llegar a la primera fila de bulones en la parte abulonada del extremo. Si se utilizan platabandas abulonadas en el extremo, el pliego de especificaciones técnicas debe indicar que se instalen siguiendo la siguiente secuencia:

- Taladrar los agujeros,
- Limpiar las superficies de contacto,
- Instalar los bulones, y
- Soldar las chapas.

6.11. MIEMBROS DE SECCIÓN TIPO CAJÓN SOLICITADOS A FLEXIÓN

6.11.1. Requisitos generales

Los requisitos de este artículo se aplican a secciones de acero tipo cajón cerrado, simple o múltiple, o tipo omega invertida solicitadas a flexión, rectas o curvadas horizontalmente, en puentes de tramos simples o continuos de longitud moderada. Los requisitos abarcan el diseño de miembros compuestos, híbridos y no híbridos, y de alma con altura constante o variable tal como se define y sujeto a los requisitos del artículo 6.10.1.1, los artículos

6.10.1.3 a 6.10.1.8, y los artículos 6.11.1.1 a 6.11.1.4. Los requisitos del artículo 6.10.1.6 se deben aplicar solamente a las alas superiores de las secciones tipo omega invertida.

Las secciones tipo cajón simple se deben ubicar en una posición centrada con respecto a la sección transversal, y el centro de gravedad de la carga permanente deberá estar tan cerca del centro de corte del cajón como sea posible. Estos requisitos no se deben aplicar a secciones tipo cajón simple de múltiples celdas, ni a las alas de secciones tipo cajón compuestas que se utilizan como alas inferiores.

Todos los tipos de miembros solicitados a flexión de sección tipo cajón se deben diseñar de manera que como mínimo satisfagan:

- Los límites aplicables a las dimensiones de la sección transversal, especificados en el artículo 6.11.2;
- Los requisitos de constructibilidad, especificados en el artículo 6.11.3;
- Los requisitos del estado límite de servicio, especificados en el artículo 6.11.4;
- Los requisitos del estado límite de fatiga y fractura, especificados en el artículo 6.11.5;
- Los requisitos del estado límite de resistencia, especificados en el artículo 6.11.6.

En los miembros de alma esbelta, la resistencia al pandeo por flexión del alma se deberá determinar tal como se especifica en el artículo 6.10.1.9. Los factores de reducción de la resistencia del ala en los miembros de alma esbelta y/o híbrida se deben determinar tal como se especifica en el artículo 6.10.1.10.

Los marcos transversales y diafragmas internos y externos para las secciones tipo cajón deben satisfacer los requisitos del artículo 6.7.4. El arriostamiento del ala superior de las secciones tipo omega invertida deberá satisfacer los requisitos del artículo 6.7.5.

6.11.1.1. Determinación de los esfuerzos

Las alas de las secciones tipo cajón simple y múltiple se deben considerar totalmente efectivas para resistir flexión si el ancho del ala no es mayor que **un quinto** del tramo efectivo. En el caso de tramos simples, el tramo efectivo se debe tomar igual a la longitud del tramo. En el caso de tramos continuos, el tramo efectivo se debe tomar igual a la distancia entre puntos de inflexión bajo carga permanente, o entre un apoyo simple y un punto de inflexión bajo carga permanente, según corresponda. Si el ancho del ala es mayor que **un quinto** del tramo efectivo, se debe considerar que solamente un ancho igual a **un quinto** del tramo efectivo es efectivo para resistir flexión.

Para las secciones tipo cajón múltiple en puentes rectos que satisfacen los requisitos del artículo 6.11.2.3, el momento flexor debido a la sobrecarga en cada cajón se puede determinar de acuerdo con los requisitos aplicables del artículo 4.6.2.2.2b. El corte debido a la torsión de St. Venant y los esfuerzos por la flexión transversal y por el alabeo longitudinal, debidos a la distorsión de la sección transversal, también se pueden omitir para secciones dentro de estos puentes que tienen las alas del cajón totalmente efectivas. La sección de un miembro exterior que se supone resiste las cargas de viento mayoradas

horizontales dentro de estos puentes se puede tomar como el ala inferior del cajón actuando como un alma y **12 veces** el espesor del alma actuando como alas.

Los requisitos del artículo 4.6.2.2.2b no se deberán aplicar a:

- Secciones tipo cajón simple en puentes rectos o curvados horizontalmente,
- Secciones tipo cajón múltiple en puentes rectos que no cumplen los requisitos del artículo 6.11.2.3, o
- Secciones tipo cajón múltiple en puentes curvados horizontalmente.

Para estas secciones, y para las secciones tipo cajón que no tienen las alas totalmente efectivas, se deben considerar los efectos del corte tanto por flexión como por torsión de St. Venant. En las alas de las secciones tipo cajón, el esfuerzo de corte por torsión de St. Venant debido a las cargas mayoradas en el estado límite de resistencia no deberá ser mayor que la resistencia minorada al corte por torsión del ala, F_{vr} , tomada como:

$$F_{vr} = 0,75 \phi_v \frac{F_{yf}}{\sqrt{3}} \quad (6.11.1.1-1)$$

donde:

ϕ_v = factor de resistencia al corte, especificado en el artículo 6.5.4.2.

Además, los esfuerzos por flexión transversal debidos a la distorsión de la sección transversal se deben considerar tanto para analizar la fatiga, tal como se especifica en el artículo 6.11.5, como en el estado límite de resistencia. Los esfuerzos por flexión transversal debidos a las cargas mayoradas no deben ser mayores que **135 MPa** en el estado límite de resistencia. Las tensiones de alabeo longitudinal debidos a la distorsión de la sección transversal se deben considerar para analizar la fatiga tal como se especifica en el artículo 6.11.5, pero se podrán ignorar en el estado límite de resistencia. Los esfuerzos por la flexión transversal y por el alabeo longitudinal se deberán determinar por medio de un análisis estructural racional y aplicando los principios de la resistencia de materiales. Los rigidizadores transversales unidos a las almas o alas de las secciones tipo cajón se deben considerar efectivos para resistir la flexión transversal.

6.11.1.2. Apoyos

Se podrán utilizar apoyos simples o dobles en los soportes. Se pueden colocar apoyos dobles ya sea del lado interior o exterior de las almas de la sección tipo cajón. Si se utilizan apoyos simples de menor ancho que el ala inferior, ellos se deben alinear con el centro de corte de la sección tipo cajón, y los demás soportes deben tener apoyos adecuados para garantizar que ninguna combinación de cargas genere el volcamiento. Si se utilizan apoyos sujetos para evitar el levantamiento, las solicitaciones resultantes se deberán considerar en el diseño

6.11.1.3. Conexiones entre el ala y el alma

A menos que se especifique lo contrario, el espesor efectivo total de las soldaduras entre el ala y el alma no deberá ser menor que el menor de los espesores del alma o del ala.

Si en cada tramo se proporcionan dos o más diafragmas internos intermedios, se puede utilizar soldaduras de filete para realizar las conexiones entre el ala y el alma. El tamaño de la soldadura no debe ser menor que el tamaño que satisfaga los requisitos del artículo 6.13.3.4. Si se utilizan soldaduras de filete, éstas se deben ubicar a ambos lados de la chapa del ala o del alma que se conecta.

6.11.1.4. Agujeros de acceso y drenaje

Los agujeros de acceso en las secciones tipo cajón se deben ubicar en el ala inferior en zonas de bajo esfuerzo. Se debe analizar el efecto de los agujeros de acceso sobre los esfuerzos en el ala para todos los estados límite con el fin de determinar si se requiere armadura de refuerzo en dichos agujeros.

En los agujeros de acceso en las alas del cajón sujetas a compresión, la resistencia nominal a la flexión del ala remanente a cada lado del agujero para el estado límite de resistencia se deberá determinar de acuerdo con lo dispuesto en el artículo 6.10.8.2.2, con λ_r tomada como la proyección del ancho del ala sobre el lado del agujero dividida por el espesor del ala, incluyendo cualquier armadura de refuerzo. Se debe proporcionar ventilación y drenaje en las secciones interiores del cajón.

6.11.2. Límites aplicables a las dimensiones de la sección transversal

6.11.2.1. Dimensiones del alma

6.11.2.1.1. Requisitos generales

Las almas podrán ser inclinadas o verticales. La inclinación de las chapas de alma respecto de un plano normal al ala inferior no debe ser mayor que **1 a 4**. En el caso de las almas inclinadas, todos los requisitos de diseño se deben verificar utilizando la distancia medida a lo largo del alma. Las almas que se unan a las alas superiores de las secciones tipo omega invertida se deben unir en la mitad del ancho de las alas.

6.11.2.1.2. Almas sin rigidizadores longitudinales

Las almas se deben dimensionar de manera que:

$$\frac{D}{t_w} \leq 150 \quad (6.11.2.1.2-1)$$

6.11.2.1.3. Almas con rigidizadores longitudinales

Las almas se deben dimensionar de manera que:

$$\frac{D}{t_w} \leq 300 \quad (6.11.2.1.3-1)$$

6.11.2.2. Dimensiones del ala

Las alas superiores de las secciones tipo omega invertida sujetas a compresión o tracción se deberán dimensionar de manera que:

$$\frac{b_f}{2 t_f} \leq 12 \quad (6.11.2.2-1)$$

$$b_f \geq D/6 \quad (6.11.2.2-2)$$

y:

$$t_f \geq 1,1 t_w \quad (6.11.2.2-3)$$

6.11.2.3. Restricciones especiales sobre el uso del factor de distribución de sobrecarga para secciones tipo cajón múltiple

Las secciones transversales de los puentes rectos constan de dos o más secciones tipo cajón de una sola celda, para las cuales el momento flexor en cada cajón debido a la sobrecarga se determina de acuerdo con los requisitos aplicables del artículo 4.6.2.2.2b, cumpliendo las restricciones geométricas aquí especificadas. Además, las líneas de los apoyos no deberán ser oblicuas.

La distancia entre centros de las alas de cajones adyacentes, a , medida en la mitad del tramo, no debe ser mayor que el **120 por ciento** ni menor que el **80 por ciento** de la distancia entre centros de las alas de cada cajón adyacente, w , tal como se ilustra en la Figura 6.11.2.3-1. Además de este requisito en la mitad del tramo, si se utilizan secciones tipo cajón no paralelas, la distancia entre centros de las alas adyacentes en los apoyos no debe ser mayor que el **135 por ciento** ni menor que el **65 por ciento** de la distancia entre centros de las alas de cada cajón adyacente. La distancia entre centros de las alas de cada cajón individual será la misma.

La inclinación de las chapas de alma respecto de un plano normal al ala inferior no debe ser mayor que **1 a 4**.

El voladizo del tablero de hormigón, incluyendo el cordón y la baranda, no debe ser mayor que el **60 por ciento** de la distancia promedio entre centros de las alas superiores de acero de las secciones tipo cajón adyacente, a , o **1,80 m**, cualquiera sea el valor que resulte menor.

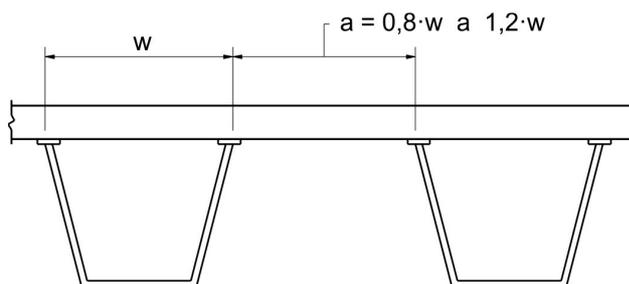


Figura 6.11.2.3-1. Distancia entre centros de las alas

6.11.3. Constructibilidad

6.11.3.1. Requisitos generales

A menos que se especifique lo contrario, se deben aplicar los requisitos del artículo 6.10.3.

La geometría de la sección tipo cajón individual se debe mantener durante todas las etapas de construcción. Se debe analizar si es necesario utilizar, de manera temporal o permanente, diafragmas o marcos transversales internos intermedios, diafragmas o marcos transversales externos, arriostramiento lateral superior, u otros componentes para garantizar el control de las deformaciones de la sección tipo cajón.

6.11.3.2. Flexión

Para las etapas críticas de la construcción, los requisitos de los artículos 6.10.3.2.1 a 6.10.3.2.3 se deben aplicar solamente a las alas superiores de las secciones tipo omega invertida. La longitud no arriostrada se debe tomar como la distancia entre los marcos transversales o diafragmas internos. Los requisitos del artículo A6.3.3 no se deben aplicar al determinar la resistencia al pandeo lateral torsional de las alas superiores de las secciones tipo omega invertida con almas compactas o no compactas.

Para las etapas críticas de la construcción, las alas sujetas a compresión de la sección no compuesta tipo cajón deben satisfacer los siguientes requisitos:

$$f_{bu} \leq \phi_f F_{nc} \quad (6.11.3.2-1)$$

y:

$$f_{bu} \leq \phi_f F_{crw} \quad (6.11.3.2-2)$$

donde:

ϕ_f = factor de resistencia a la flexión, especificado en el artículo 6.5.4.2.

f_{bu} = esfuerzo longitudinal del ala debido a las cargas mayoradas en la sección bajo consideración, calculado sin tener en cuenta el alabeo longitudinal, en MPa.

F_{crw} = resistencia nominal al pandeo por flexión del alma, especificado en el artículo 6.10.1.9, en MPa.

F_{nc} = resistencia nominal a la flexión del ala sujeta a compresión de una sección tipo cajón, determinada tal como se especifica en el artículo 6.11.8.2, en MPa. Al calcular F_{nc} para determinar la constructibilidad, el factor de balanceo de las cargas del alma, R_b , se debe tomar igual a **1,0**.

Para las secciones con almas compactas o no compactas, no será necesario verificar la Ecuación 6.11.3.2-2.

Para las etapas críticas de la construcción, las alas de la sección no compuesta tipo cajón sujetas a tracción y las alas de la sección tipo cajón con arriostramiento continuo sujetas a tracción o en compresión, deberán satisfacer el siguiente requisito:

$$f_{bu} \leq \phi_f R_h F_{yf} \Delta \quad (6.11.3.2-3)$$

en el cual:

$$\Delta = \sqrt{1 - 3 \left(\frac{f_v}{F_{yf}} \right)^2} \quad (6.11.3.2-4)$$

f_v = esfuerzo de corte por torsión de St. Venant en el ala, debido a las cargas mayoradas en la sección bajo consideración, en MPa.

$$f_v = \frac{T}{2 A_o t_f} \quad (6.11.3.2-5)$$

donde:

A_o = área encerrada dentro de la sección tipo cajón, en mm².

R_h = factor de hibridez determinado tal como se especifica en el artículo 6.10.1.10.1.

T = par torsor interno debido a las cargas mayoradas, en Nmm.

Para las cargas que se aplican al ala de una sección compuesta tipo cajón antes que el hormigón haya endurecido o se haya efectivizado la acción compuesta, el ala se debe diseñar como un ala del cajón no compuesta. La máxima deflexión vertical del ala no compuesta de la sección tipo cajón, debida a las cargas permanentes no mayoradas incluyendo el peso propio del ala más las cargas constructivas no mayoradas, no deberá ser mayor que **1/360 veces** el tramo transversal entre las almas. El esfuerzo de flexión a través del espesor del ala de la sección no compuesta tipo cajón debido a las cargas permanentes mayoradas y las cargas constructivas mayoradas no debe ser mayor que **135 MPa**. El peso del hormigón húmedo y otras cargas temporales o permanentes aplicadas sobre el ala de la sección no compuesta tipo cajón se puede considerar suponiendo que el ala de la sección tipo cajón actúa como una viga simple que se extiende entre las almas. Las alas se pueden rigidizar si es necesario para controlar la deflexión del ala y los esfuerzos, debidos a las cargas que se aplican antes que el tablero de hormigón haya endurecido o se haya efectivizado la acción compuesta.

6.11.3.3. Corte

Al verificar el requisito de corte, especificado en el artículo 6.10.3.3, se deberán aplicar también los requisitos del artículo 6.11.9, según corresponda.

6.11.4. Estado límite de servicio

A menos que se especifique lo contrario, se deben aplicar los requisitos del artículo 6.10.4.

En la Ecuación 6.10.4.2.2-2 el término f_e se debe tomar igual a cero. No se aplicará la Ecuación 6.10.4.2.2-3. Excepto para las secciones en flexión positiva en las cuales el alma satisface los requisitos del artículo 6.11.2.1.2, todas las secciones deben satisfacer la Ecuación 6.10.4.2.2-4.

En las secciones sobre pilas interiores, de los miembros sujetos a flexión en tramos continuos, no se debe aplicar la redistribución del momento negativo debido a las cargas correspondientes al estado límite de servicio II utilizando los procedimientos especificados en el apéndice B6.

6.11.5. Estado límite de fatiga y fractura

A menos que se especifique lo contrario, se deberán aplicar los requisitos del artículo 6.10.5.

Para verificar la fatiga en los conectores de corte, también se deben aplicar los requisitos del artículo 6.11.10, según corresponda. Los requisitos para fatiga en los conectores de corte, especificados en el artículo 6.10.10.3, no se deben aplicar.

Al verificar el requisito de corte especificado en el artículo 6.10.5.3, también se deben aplicar los requisitos del artículo 6.11.9, según corresponda.

Se deben considerar las tensiones de alabeo longitudinal y los esfuerzos por flexión transversal debidos a la distorsión de la sección transversal para los siguientes casos:

- Secciones tipo cajón simple en puentes rectos o curvados horizontalmente,
- Secciones tipo cajón múltiple en puentes rectos que no satisfacen los requisitos del artículo 6.11.2.3,
- Secciones tipo cajón múltiple en puentes curvados horizontalmente, o
- Cualquier sección tipo cajón simple o múltiple con un ala del cajón que no sea totalmente efectivo de acuerdo con los requisitos del artículo 6.11.1.1.

Al verificar la resistencia a la fatiga del metal base, en todos los detalles sobre la sección tipo cajón de acuerdo con los requisitos especificados en el artículo 6.6.1, se deberá considerar el rango de esfuerzo debido al alabeo longitudinal. Al evaluar la resistencia a la fatiga del metal base adyacente a las soldaduras de filete entre ala-alma y adyacente a la terminación de las soldaduras de filete que conectan los elementos transversales a las almas y alas de la sección tipo cajón, se deberá considerar separadamente el rango de esfuerzo de flexión transversal. Para determinar los rangos de esfuerzos de alabeo longitudinal y de flexión transversal, un ciclo de esfuerzo se definirá como el **75 por ciento** del rango de esfuerzo determinado por el paso de la carga de fatiga mayorada en dos posiciones críticas transversales diferentes. En ningún caso el rango de esfuerzo, calculado de este modo, será menor que el rango de esfuerzo debido al paso de la carga de fatiga mayorada en un solo carril.

Se deberá analizar la necesidad de un miembro transversal inferior, dentro de los marcos transversales internos, para resistir el rango de esfuerzo de flexión transversal en el ala inferior del cajón en la terminación de las soldaduras de filete que conectan las chapas de conexión de los marcos transversales al ala. Los miembros transversales del marco

transversal próximos a las alas del cajón se deben conectar al ala del cajón a menos que se utilicen rigidizadores longitudinales en el ala, en cuyo caso los miembros transversales se conectarán a los rigidizadores longitudinales mediante bulones. El momento de inercia de estos miembros transversales del marco transversal no deberá ser menor que el momento de inercia de la chapa de conexión más grande para el marco interno transversal en consideración, tomado respecto al borde en contacto con el alma.

Para las secciones tipo cajón simple, las alas del cajón sujetas a tracción se deberán considerar de fractura crítica, a menos que un análisis demuestre que, luego de ocurrir una fractura hipotética total del ala y almas en cualquier punto, la sección puede soportar la totalidad de la carga permanente y una parte apropiada de la sobrecarga.

A menos que por medio de un análisis refinado se pueda verificar la adecuada resistencia y estabilidad de una estructura dañada, en las secciones transversales que comprenden dos secciones tipo cajón, sólo las alas inferiores en las zonas de momento positivo deben ser diseñadas como de fractura crítica. Si las secciones transversales contienen más de dos secciones de viga tipo cajón, ninguno de los componentes de las secciones tipo cajón se deben considerar de fractura crítica.

6.11.6. Estado límite de resistencia

6.11.6.1. Requisitos generales

A los fines del presente artículo, se deberán aplicar las combinaciones de carga correspondiente al estado límite de resistencia especificadas en la Tabla 3.4.1-1.

6.11.6.2. Flexión

6.11.6.2.1. Requisitos generales

Si en la sección bajo consideración hay agujeros en el ala sujeta a tracción, esta ala deberá satisfacer el requisito especificado en el artículo 6.10.1.8.

6.11.6.2.2. Secciones en flexión positiva

Las secciones en puentes viga de acero curvadas horizontalmente se considerarán como secciones no compactas y deberán satisfacer los requisitos del artículo 6.11.7.2.

Las secciones en puentes rectos que satisfacen los siguientes requisitos deberán ser clasificadas como secciones compactas:

- La tensión de fluencia mínima especificada de las alas y del alma no es mayor que **485 MPa**,
- El alma satisface el requisito del artículo 6.11.2.1.2,
- La sección forma parte de un puente que satisface los requisitos del artículo 6.11.2.3,
- El ala de la sección tipo cajón es totalmente efectivo, según se especifica en el artículo 6.11.1.1, y
- La sección satisface el límite de esbeltez del alma:

$$\frac{2 D_{cp}}{t_w} \leq 3,76 \sqrt{\frac{E}{F_{yc}}} \quad (6.11.6.2.2-1)$$

donde:

D_{cp} = altura del alma sujeta a compresión para el momento plástico, determinada como se especifica en el artículo D6.3.2, en mm.

Las secciones compactas deberán satisfacer los requisitos del artículo 6.11.7.1. En caso contrario, la sección se debe considerar no compacta y deberá satisfacer los requisitos del artículo 6.11.7.2. Tanto las secciones compactas como no compactas deberán satisfacer los requisitos de ductilidad especificados en el artículo 6.10.7.3.

6.11.6.2.3. Secciones en flexión negativa

Se deben aplicar los requisitos del artículo 6.11.8. No serán de aplicación los requisitos del apéndice A6. No se aplicará la redistribución del momento negativo, debido a las cargas mayoradas en las secciones sobre pilas interiores de los miembros de tramos continuos sujetos a flexión, utilizando los procedimientos especificados en el apéndice B6.

6.11.6.3. Corte

Se deben aplicar los requisitos del artículo 6.11.9.

6.11.6.4. Conectores de corte

Se deben aplicar los requisitos del artículo 6.10.10.4. Los requisitos del artículo 6.11.10 también serán de aplicación, según corresponda.

6.11.7. Resistencia a la flexión – Secciones en flexión positiva

6.11.7.1. Secciones compactas

6.11.7.1.1. Requisitos generales

En el estado límite de resistencia, la sección debe satisfacer:

$$M_u \leq \phi_f M_n \quad (6.11.7.1.1-1)$$

donde:

ϕ_f = factor de resistencia a la flexión, especificado en el artículo 6.5.4.2.

M_n = resistencia nominal a la flexión de la sección, determinada como se especifica en el artículo 6.11.7.1.2, en Nmm.

M_u = momento flexor respecto al eje fuerte de la sección transversal debido a las cargas mayoradas en la sección en estudio, en Nmm.

6.11.7.1.2. Resistencia nominal a la flexión

La resistencia nominal a la flexión de la sección se debe tomar tal como se especifica en el artículo 6.10.7.1.2, excepto que para tramos continuos la resistencia nominal a la flexión siempre deberá estar sujeta a la limitación impuesta por la Ecuación 6.10.7.1.2-3.

6.11.7.2. Secciones no compactas

6.11.7.2.1. Requisitos generales

En el estado límite de resistencia, las alas sujetas a compresión deben satisfacer:

$$f_{bu} \leq \phi_f F_{nc} \quad (6.11.7.2.1-1)$$

donde:

ϕ_f = factor de resistencia a la flexión, especificado en el artículo 6.5.4.2.

f_{bu} = esfuerzo longitudinal del ala en la sección bajo consideración calculado sin tener en cuenta la flexión lateral del ala ni el alabeo longitudinal, según corresponda, en MPa.

F_{nc} = resistencia nominal a la flexión del ala sujeta a compresión, determinada como se especifica en el artículo 6.11.7.2.2, en MPa.

El ala sujeta a tracción debe satisfacer:

$$f_{bu} \leq \phi_f F_{nt} \quad (6.11.7.2.1-2)$$

donde:

F_{nt} = resistencia nominal a la flexión del ala sujeta a tracción, determinada como se especifica en el artículo 6.11.7.2.2, en MPa.

El máximo esfuerzo longitudinal de compresión en el tablero de hormigón en el estado límite de resistencia, determinado tal como se especifica en el artículo 6.10.1.1.1d, no deberá ser mayor que $0,6 \cdot f'_c$.

6.11.7.2.2. Resistencia nominal a la flexión

La resistencia nominal a la flexión de las alas sujetas a compresión de las secciones tipo omega invertida se debe tomar como:

$$F_{nc} = R_b R_h F_{yc} \quad (6.11.7.2.2-1)$$

donde:

R_b = factor de balanceo de las cargas del alma, determinado como se especifica en el artículo 6.10.1.10.2.

R_h = factor de hibridez, determinado como se especifica en el artículo 6.10.1.10.1.

La resistencia nominal a la flexión del ala sujeta a compresión, de las secciones tipo cajón cerrado, se debe tomar como:

$$F_{nc} = R_b R_h F_{yc} \Delta \quad (6.11.7.2.2-2)$$

en el cual:

$$\Delta = \sqrt{1 - 3 \left(\frac{f_v}{F_{yc}} \right)^2} \quad (6.11.7.2.2-3)$$

f_v = esfuerzo de corte por torsión de St. Venant en el ala, debido a las cargas mayoradas en la sección bajo consideración, en MPa.

$$f_v = \frac{T}{2 A_0 t_{fc}} \quad (6.11.7.2.2-4)$$

donde:

A_0 = área encerrada dentro de la sección tipo cajón, en mm².

T = par torsor interno debido a las cargas mayoradas, en Nmm.

La resistencia nominal a la flexión del ala sujeta a tracción de las secciones tipo cajón cerrado y tipo omega invertida, se debe tomar como:

$$F_{nt} = R_h F_{yt} \Delta \quad (6.11.7.2.2-5)$$

en el cual:

$$\Delta = \sqrt{1 - 3 \left(\frac{f_v}{F_{yt}} \right)^2} \quad (6.11.7.2.2-6)$$

f_v = esfuerzo de corte por torsión de St. Venant en el ala, debido a las cargas mayoradas en la sección bajo consideración, en MPa.

$$f_v = \frac{T}{2 A_0 t_{ft}} \quad (6.11.7.2.2-7)$$

6.11.8. Resistencia a la flexión – Secciones en flexión negativa

6.11.8.1. Requisitos generales

6.11.8.1.1. Alas de una sección tipo cajón sujetas a compresión

En el estado límite de resistencia, se debe satisfacer el siguiente requisito:

$$f_{bu} \leq \phi_f F_{nc} \quad (6.11.8.1.1-1)$$

donde:

ϕ_f = factor de resistencia a la flexión, especificado en el artículo 6.5.4.2.

f_{bu} = esfuerzo longitudinal del ala debido a las cargas mayoradas, para la sección en consideración, calculado sin tener en cuenta el alabeo longitudinal, en MPa.

F_{nc} = resistencia nominal a la flexión del ala, determinada como se especifica en el artículo 6.11.8.2, en MPa.

6.11.8.1.2. Alas con arriostramiento continuo sujetas a tracción

En el estado límite de resistencia, se debe satisfacer el siguiente requisito:

$$f_{bu} \leq \phi_f F_{nt} \quad (6.11.8.1.2-1)$$

donde:

F_{nt} = resistencia nominal a la flexión del ala, determinada como se especifica en el artículo 6.11.8.3, en MPa.

6.11.8.2. Resistencia a la flexión de las alas de una sección tipo cajón sujetas a compresión

6.11.8.2.1. Requisitos generales

La resistencia nominal a la flexión de las alas de una sección tipo cajón, sujetas a compresión sin rigidizadores longitudinales en el ala, se debe determinar tal como se especifica en el artículo 6.11.8.2.2. La resistencia nominal a la flexión de las alas de una sección tipo cajón, sujetas a compresión con rigidizadores longitudinales en el ala, se debe determinar tal como se especifica en el artículo 6.11.8.2.3.

6.11.8.2.2. Alas no rigidizadas

La resistencia nominal a la flexión del ala sujeta a compresión, F_{nc} , se debe tomar como:

$$F_{nc} = F_{cb} \sqrt{1 - \left(\frac{f_v}{\phi_v F_{cv}} \right)^2} \quad (6.11.8.2.2-1)$$

en el cual:

F_{cb} = resistencia nominal al pandeo por compresión axial del ala bajo compresión solamente, calculada como sigue:

- Si $\lambda_f \leq \lambda_p$, entonces:

$$F_{cb} = R_b R_h F_{yc} \Delta \quad (6.11.8.2.2-2)$$

- Si $\lambda_p < \lambda_f \leq \lambda_r$, entonces:

$$F_{cb} = R_b R_h F_{yc} \left[\Delta - \left(\Delta - \frac{\Delta - 0,3}{R_h} \right) \left(\frac{\lambda_f - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \right) \right] \quad (6.11.8.2.2-3)$$

- Si $\lambda_f > \lambda_r$, entonces:

$$F_{cb} = \frac{0,9 E R_b k}{\lambda_f^2} \quad (6.11.8.2.2-4)$$

F_{cv} = resistencia nominal al pandeo por corte del ala bajo corte solamente calculada como sigue:

- Si $\lambda_f \leq 1,12 \sqrt{\frac{E k_s}{F_{yc}}}$, entonces:

$$F_{cv} = 0,58 F_{yc} \quad (6.11.8.2.2-5)$$

- Si $1,12 \sqrt{\frac{E k_s}{F_{yc}}} < \lambda_f \leq 1,40 \sqrt{\frac{E k_s}{F_{yc}}}$, entonces:

$$F_{cv} = \frac{0,65 \sqrt{F_{yc} E k_s}}{\lambda_f} \quad (6.11.8.2.2-6)$$

- Si $\lambda_f > 1,40 \sqrt{\frac{E k_s}{F_{yc}}}$, entonces:

$$F_{cv} = \frac{0,9 E k_s}{\lambda_f^2} \quad (6.11.8.2.2-7)$$

λ_f = relación de esbeltez para el ala sujeta a compresión.

$$\lambda_f = \frac{b_{fc}}{t_{fc}} \quad (6.11.8.2.2-8)$$

$$\lambda_p = 0,57 \sqrt{\frac{E k}{F_{yc} \Delta}} \quad (6.11.8.2.2-9)$$

$$\lambda_r = 0,95 \sqrt{\frac{E k}{F_{yr}}} \quad (6.11.8.2.2-10)$$

$$\Delta = \sqrt{1 - 3 \left(\frac{f_v}{F_{yc}} \right)^2} \quad (6.11.8.2.2-11)$$

f_v = esfuerzo de corte por torsión de St. Venant en el ala debido a las cargas mayoradas en la sección bajo consideración, en MPa.

$$f_v = \frac{T}{2 A_o t_{fc}} \quad (6.11.8.2.2-12)$$

F_{yr} = menor valor entre el esfuerzo en el ala sujeta a compresión al inicio de la fluencia nominal, teniendo en cuenta los efectos de la tensión residual, y la tensión de fluencia mínima especificada del alma, en MPa.

$$F_{yr} = (\Delta - 0,3) F_{yc} \quad (6.11.8.2.2-13)$$

k = coeficiente de pandeo de chapa para tensión normal uniforme.

$$k = 4,0$$

k_s = coeficiente de pandeo de chapa para tensión de corte.

$$k_s = 5,34$$

donde:

ϕ_f = factor de resistencia a la flexión, especificado en el artículo 6.5.4.2.

ϕ_v = factor de resistencia al corte, especificado en el artículo 6.5.4.2.

b_{fc} = ancho del ala sujeta a compresión entre almas, en mm.

A_o = área encerrada dentro de la sección tipo cajón, en mm².

R_b = factor de balanceo de las cargas del alma, determinado como se especifica en el artículo 6.10.1.10.2.

R_h = factor de hibridez, determinado como se especifica en el artículo 6.10.1.10.1.

T = par torsor interno debido a las cargas mayoradas, en Nmm.

6.11.8.2.3. Alas rigidizadas longitudinalmente

La resistencia nominal a la flexión del ala sujeta a compresión se deberá tomar igual a la resistencia nominal a la flexión del ala sujeta a compresión sin rigidizadores longitudinales, determinada tal como se especifica en el artículo 6.11.8.2.2, con las siguientes sustituciones:

- w debe ser reemplazado por b_{fc} ,
- el coeficiente de pandeo de la chapa para el esfuerzo normal uniforme, k , se debe tomar como:
- Si $n = 1$, entonces:

$$k = \left(\frac{8 I_s}{w t_{fc}^3} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (6.11.8.2.3-1)$$

- Si $n = 2$, entonces:

$$k = \left(\frac{0,894 I_s}{w t_{fc}^3} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (6.11.8.2.3-2)$$

$1,0 \leq k \leq 4,0$, y:

- el coeficiente de pandeo de la chapa para el esfuerzo de corte, k_s , se debe tomar como:

$$k_s = \frac{5,34 + 2,84 \left(\frac{I_s}{w t_{fc}^3} \right)^{\frac{1}{3}}}{(n+1)^2} \leq 5,34 \quad (6.11.8.2.3-3)$$

donde:

I_s = momento de inercia de un rigidizador longitudinal simple del ala, tomado respecto a un eje paralelo al ala y tomado en la base del rigidizador, en mm^4 .

n = número de rigidizadores longitudinales del ala igualmente separados.

w = mayor valor entre el ancho del ala entre rigidizadores longitudinales del ala y la distancia desde un alma hasta el rigidizador longitudinal del ala más próximo, en mm.

Los rigidizadores longitudinales del ala sujeta a compresión deben satisfacer los requisitos especificados en el artículo 6.11.11.2.

6.11.8.3. Resistencia a la flexión del ala sujeta a tracción

La resistencia nominal a la flexión de las alas sujetas a tracción de las secciones tipo omega invertida se deberá tomar como:

$$F_{nt} = R_h F_{yt} \quad (6.11.8.3-1)$$

donde:

R_h = factor de hibridez, determinado como se especifica en el artículo 6.10.1.10.1.

La resistencia nominal a la flexión del ala sujeta a tracción de las secciones tipo cajón cerrado se deberá determinar a partir de la Ecuación 6.11.7.2.2-5.

6.11.9. Resistencia al corte

A menos que se especifique lo contrario, para determinar la resistencia minorada al corte de un alma simple se deberán aplicar los requisitos del artículo 6.10.9. Para el caso de las almas inclinadas, en el Artículo 6.10.9 la variable D se debe tomar como la altura de la chapa de alma medida a lo largo de la pendiente.

Para el caso de las almas inclinadas, cada alma se debe diseñar para un corte, V_{ui} , debido a las cargas mayoradas, tomado como:

$$V_{ui} = \frac{V_u}{\cos \theta} \quad (6.11.9-1)$$

donde:

V_u = corte vertical debido a las cargas mayoradas en un alma inclinada, en N.

θ = ángulo de inclinación de la chapa del alma respecto a la vertical, en grados.

Para todas las secciones tipo cajón simple, secciones curvadas horizontalmente, y secciones tipo cajón múltiple en puentes que no satisfacen los requisitos del artículo 6.11.2.3, o con alas de la sección cajón que no son totalmente efectivas de acuerdo con los requisitos del artículo 6.11.1.1, V_u se debe tomar como la sumatoria de los cortes por flexión y por torsión de St. Venant.

Para las alas de la sección tipo cajón, al verificar la Ecuación 6.10.9.3.2-1, b_{fc} o b_{ft} , según corresponda, se deberá tomar como la mitad del ancho efectivo del ala entre las almas, donde el ancho efectivo del ala se debe tomar tal como se especifica en el artículo 6.11.1.1, pero no mayor que $18 \cdot t_f$, siendo t_f el espesor del ala de la sección tipo cajón.

Los rigidizadores del alma deberán satisfacer los requisitos del artículo 6.11.11.1.

6.11.10. Conectores de corte

A menos que se especifique lo contrario, los conectores de corte se deberán diseñar de acuerdo con los requisitos del artículo 6.10.10.

Se deben proveer conectores de corte en las zonas de flexión negativa.

Para todas las secciones tipo cajón simple, secciones curvadas horizontalmente, y secciones tipo cajón múltiple en puentes que no satisfacen los requisitos del artículo 6.11.2.3, o con alas del cajón que no son totalmente efectivas de acuerdo con los requisitos del artículo 6.11.1.1, los conectores de corte se deberán diseñar para la sumatoria de los cortes por flexión y por torsión de St. Venant. El rango de corte longitudinal para fatiga, por unidad de longitud, V_{fat} , para un ala superior de una viga tipo omega invertida, se debe calcular para el alma sujeta a la suma de los cortes por flexión y por torsión. La separación resultante del conector de corte también se debe utilizar para la otra ala superior. El rango de corte radial para fatiga debido a la curvatura, F_{fat1} , dado por la Ecuación 6.10.10.1.2-4 puede ser ignorado en el diseño de secciones tipo cajón en tramos o segmentos rectos o curvados horizontalmente.

Para verificar que el número resultante de conectores de corte satisfaga el estado límite de resistencia, al determinar P mediante las Ecuaciones 6.10.10.4.2-2, 6.10.10.4.2-3, 6.10.10.4.2-7, y 6.10.10.4.2-8, se deberá utilizar el área de la sección transversal de la sección tipo cajón de acero en consideración y el área efectiva del tablero de hormigón asociado con dicha sección tipo cajón.

En las alas de la sección tipo cajón compuesta, los conectores de corte se deben distribuir uniformemente a lo ancho del ala. La máxima separación transversal, s_t , entre los conectores de corte en las alas de la sección tipo cajón compuesta deberá satisfacer el siguiente requisito:

$$\frac{s_t}{t_f} \sqrt{\frac{F_{yf}}{k E}} \leq R_1 \quad (6.11.10-1)$$

donde:

k = coeficiente de pandeo de la chapa para el esfuerzo normal uniforme, determinado como se especifica en el artículo 6.11.8.2.

R_1 = relación de esbeltez límite para el ala de la sección tipo cajón, determinada a partir de la Ecuación 6.11.8.2.2-8.

Para las alas de la sección tipo cajón compuesta en el estado límite de fatiga, V_{sr} de la Ecuación 6.10.10.1.2-1 se debe determinar como la suma vectorial del rango de corte longitudinal para fatiga dado por la Ecuación 6.10.10.1.2-3 y el rango de corte por torsión para fatiga en el tablero de hormigón. El número requerido de conectores de corte para satisfacer el estado límite de resistencia se debe determinar de acuerdo con los requisitos del artículo 6.10.10.4. Además, la suma vectorial de los cortes longitudinal y torsional, debidos a las cargas mayoradas en el tablero de hormigón, por conector no debe ser mayor que el valor de Q_r determinado de la Ecuación 6.10.10.4.1-1.

6.11.11. Rigidizadores

6.11.11.1. Rigidizadores del alma

Los rigidizadores transversales intermedios del alma se deben diseñar de acuerdo con los requisitos del artículo 6.10.11.1.

Los rigidizadores longitudinales del alma se deben diseñar de acuerdo con los requisitos del artículo 6.10.11.3.

A menos que se especifique lo contrario, los rigidizadores de apoyo se deben diseñar de acuerdo con los requisitos del artículo 6.10.11.2. Los rigidizadores de apoyo se deben unir a los diafragmas en lugar de a las almas inclinadas. En el caso de los rigidizadores de apoyo unidos a los diafragmas, los requisitos del artículo 6.10.11.2.4b se deben aplicar al diafragma en lugar de al alma. En los apoyos de expansión, los rigidizadores de apoyo y los diafragmas se deben diseñar considerando la excentricidad debida a los movimientos de origen térmico.

6.11.11.2. Rigidizadores longitudinales del ala sujeta a compresión

Los rigidizadores longitudinales del ala sujeta a compresión, de la sección tipo cajón, deberán estar igualmente separados sobre el ancho del ala. La tensión de fluencia mínima especificada de los rigidizadores no deberá ser menor que la tensión de fluencia mínima especificada del ala de la sección cajón a la cual están unidos.

El ancho saliente, b_ℓ , de un elemento rigidizador longitudinal del ala deberá satisfacer:

$$b_\ell \leq 0,48 t_s \sqrt{\frac{E}{F_{yc}}} \quad (6.11.11.2-1)$$

donde:

t_s = espesor del elemento rigidizador longitudinal saliente, en mm.

El momento de inercia, I_ℓ , de cada rigidizador respecto de un eje paralelo al ala y tomado en la base del rigidizador, deberá satisfacer:

$$I_\ell \geq \psi w t_{fc}^3 \quad (6.11.11.2-2)$$

donde:

$\psi = 0,125 \cdot k^3$ para $n = 1$

$= 1,120 \cdot k^3$ para $n = 2$

k = coeficiente de pandeo de la chapa para el esfuerzo normal uniforme.

$= 1,0 \leq k \leq 4,0$

n = número de rigidizadores longitudinales del ala igualmente separados.

w = el mayor valor entre el ancho del ala entre rigidizadores longitudinales del ala y la distancia desde un alma hasta el rigidizador longitudinal del ala más próximo, en mm.

6.12. MIEMBROS VARIOS SOLICITADOS A FLEXIÓN

6.12.1. Requisitos generales

6.12.1.1. Alcance

Los requisitos de este artículo se deben aplicar a:

- Miembros no compuestos en forma de **H** solicitados a flexión respecto a cualquiera de los ejes de la sección transversal, y miembros en forma de **I** no compuestos solicitados a flexión respecto a su eje débil;
- Miembros no compuestos de sección tipo cajón, incluyendo las secciones estructurales huecas (HSS) cuadradas y rectangulares;
- Tubos de sección circular no compuestos, incluyendo la sección estructural hueca (HSS) de forma circular;
- Perfiles canal, ángulo, **T**, barras rectangulares y redondos sólidos;
- Perfiles laminados embebidos en hormigón; y
- Tubos compuestos.

6.12.1.2. Estado límite de resistencia

6.12.1.2.1. Flexión

La resistencia minorada a la flexión, M_r , se deberá tomar como:

$$M_r = \phi_f M_n \quad (6.12.1.2.1-1)$$

donde:

M_n = resistencia nominal a la flexión, especificada en los artículos 6.12.2.2 y 6.12.2.3, para miembros no compuestos y compuestos, respectivamente, en Nmm.

ϕ_f = factor de resistencia a la flexión, especificado en el artículo 6.5.4.2.

6.12.1.2.2. Combinación de flexión y carga axial

Se deben aplicar los requisitos del artículo 6.8.2.3 para la combinación de tracción axial y flexión o los requisitos del artículo 6.9.2.2 para la combinación de compresión axial y flexión, según corresponda.

6.12.1.2.3. Corte

6.12.1.2.3a. Requisitos generales

La resistencia minorada al corte, V_r , se deberá tomar como:

$$V_r = \phi_v V_n \quad (6.12.1.2.3a-1)$$

donde:

V_n = resistencia nominal al corte, especificada en los artículos 6.10.9.2 y 6.12.3 para almas de miembros no compuestos y compuestos, respectivamente; con excepción de las almas de los miembros no compuestos de sección tipo cajón, incluyendo los perfiles HSS cuadrados y rectangulares, para los que se aplican los requisitos del artículo 6.11.9, y los tubos circulares, incluyendo los perfiles HSS redondos, para los cuales se aplican los requisitos del artículo 6.12.1.2.3c, en N.

ϕ_v = factor de resistencia al corte, especificado en el artículo 6.5.4.2.

Para las almas de los perfiles **T** y para elementos de sección **I** y **H** no compuestos cargados alrededor de su eje débil, el coeficiente de pandeo por corte, k , se debe tomar igual a **1,2**.

6.12.1.2.3b. Sección estructural hueca cuadrada y rectangular

Para perfiles HSS cuadrados y rectangulares, la altura del alma, D , se deberá tomar como la distancia libre entre las alas menos el radio interior de esquina a cada lado y el área de ambas almas se considerará efectivo para resistir el corte.

6.12.1.2.3c. Tubos de sección circular

Para tubos circulares, incluyendo los perfiles HSS redondos, la resistencia nominal al corte, V_n , se deberá tomar como:

$$V_n = 0,5 F_{cr} A_g \quad (6.12.1.2.3c-1)$$

donde:

F_{cr} = resistencia al pandeo por corte, en N/mm², que se debe tomar como el mayor valor entre:

$$F_{cr1} = \frac{1,60 E}{\sqrt{\frac{L_v}{D} \left(\frac{D}{t}\right)^4}} \leq 0,58 F_y \quad (6.12.1.2.3c-2)$$

y:

$$F_{cr2} = \frac{0,78 E}{\left(\frac{D}{t}\right)^2} \leq 0,58 F_y \quad (6.12.1.2.3c-3)$$

donde:

A_g = área bruta de la sección en base al espesor de la pared de diseño, en mm².

D = diámetro exterior del tubo, en mm.

L_v = distancia entre puntos de corte máximo y nulo, en mm.

t = espesor de la pared de diseño tomado igual a **0,93 veces** el espesor nominal de la pared para perfiles HSS redondos fabricados por soldadura de resistencia eléctrica y tomado igual al espesor nominal de la pared para otros procesos de fabricación, en mm.

6.12.2. Resistencia nominal a la flexión

6.12.2.1. Requisitos generales

A menos que se especifique lo contrario, no se necesitan aplicar los requisitos del pandeo lateral torsional a los miembros compuestos, miembros de sección tipo cajón no compuestos, miembros no compuestos de sección **I** y **H** solicitados a flexión respecto a su eje débil, ni a los tubos de sección circular.

6.12.2.2. Miembros no compuestos

6.12.2.2.1. Miembros de sección **I** y **H**

Los requisitos de este artículo se aplican a los miembros de sección **I** y **H** y a los miembros que constan de dos alas de canal conectadas mediante una chapa de alma.

Para la flexión, alrededor de un eje perpendicular al alma, se deben aplicar los requisitos del artículo 6.10.

La resistencia nominal a la flexión, para la flexión alrededor del eje débil, se debe tomar como:

- Si $\lambda_f \leq \lambda_{pf}$, entonces:

$$M_n = M_p \quad (6.12.2.2.1-1)$$

- Si $\lambda_{pf} < \lambda_f \leq \lambda_{rf}$, entonces:

$$M_n = \left[1 - \left(1 - \frac{S_y}{Z_y} \right) \left(\frac{\lambda_f - \lambda_{pf}}{0,45 \sqrt{\frac{E}{F_{yf}}}} \right) \right] F_{yf} Z_y \quad (6.12.2.2.1-2)$$

en el cual:

λ_f = relación de esbeltez para el ala

$$\lambda_f = \frac{b_f}{2 t_f} \quad (6.12.2.2.1-3)$$

λ_{pf} = relación de esbeltez límite para un ala compacta

$$\lambda_{pf} = 0,38 \sqrt{\frac{E}{F_{yf}}} \quad (6.12.2.2.1-4)$$

λ_{nf} = relación de esbeltez límite para un ala no compacta

$$\lambda_{nf} = 0,83 \sqrt{\frac{E}{F_{yf}}} \quad (6.12.2.2.1-5)$$

donde:

F_{yf} = tensión de fluencia mínima especificada del ala de menor resistencia, en MPa.

M_p = momento plástico respecto al eje débil, en Nmm.

S_y = módulo elástico de la sección respecto al eje débil, en mm³.

Z_y = módulo plástico de la sección respecto al eje débil, en mm³.

6.12.2.2.2. Miembros de sección tipo cajón

A menos que se especifique lo contrario, para miembros homogéneos de sección tipo cajón con simetría doble sujetos a flexión respecto a cualquiera de los ejes, la resistencia nominal a la flexión se deberá tomar como:

$$M_n = F_y S \left[1 - \frac{0,064 F_y S \ell \left(\sum \left(\frac{b}{t} \right) \right)^{0,5}}{A E} \right] \quad (6.12.2.2.2-1)$$

donde:

S = módulo de la sección respecto al eje de flexión, en mm³.

A = área encerrada dentro de las líneas medias de las chapas que comprende el cajón, en mm².

ℓ = longitud no arriostrada, en mm.

I_y = momento de inercia respecto a un eje perpendicular al eje de flexión, en mm⁴.

b/t = ancho de cualquier ala o altura de cualquier componente del alma dividido por su espesor, sin tener en cuenta las partes de las alas o almas que sobresalen del perímetro del cajón.

Para perfiles HSS cuadrados y rectangulares sujetos a flexión respecto a cualquiera de los ejes, la resistencia nominal a la flexión se deberá tomar como el menor valor basado en la fluencia, el pandeo local del ala o el pandeo local del alma, según corresponda.

Para fluencia, la resistencia nominal a la flexión para perfiles HSS cuadrados y rectangulares se debe tomar como:

$$M_n = M_p = F_y Z \quad (6.12.2.2.2-2)$$

donde:

M_p = momento plástico, en Nmm.

Z = módulo plástico de la sección respecto del eje de flexión, en mm³.

Si la esbeltez del ala, λ_f , del perfil HSS cuadrado o rectangular excede λ_{pf} , se deberá verificar el pandeo local del ala. Para pandeo local del ala, la resistencia nominal a flexión se debe tomar como:

- Si $\lambda_f \leq \lambda_{pf}$, entonces:

$$M_n = M_p - (M_p - F_y S) \left(3,57 \frac{b_{fc}}{t_{fc}} \sqrt{\frac{F_y}{E}} - 4 \right) \leq M_p \quad (6.12.2.2.2-3)$$

- Si $\lambda_f > \lambda_{pf}$, entonces:

$$M_n = F_y S_{eff} \quad (6.12.2.2.2-4)$$

en el cual:

λ_f = relación de esbeltez para el ala sujeta a compresión = b_{fc}/t_{fc}

λ_{pf} = relación de esbeltez límite para un ala compacta

$$\lambda_{pf} = 1,12 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (6.12.2.2.2-5)$$

λ_{rf} = relación de esbeltez límite para un ala no compacta

$$\lambda_{rf} = 1,40 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (6.12.2.2.2-6)$$

donde:

b_{fc} = ancho libre del ala sujeta a compresión entre las almas menos el radio interior de esquina a cada lado, en mm.

S = módulo elástico de la sección alrededor del eje de flexión, en mm³.

S_{eff} = módulo elástico efectivo de la sección alrededor del eje de flexión, en mm³, determinado utilizando un ancho efectivo del ala sujeta a compresión b_e , determinado como:

$$b_e = 1,92 t_{fc} \sqrt{\frac{E}{F_y}} \left[1 - \frac{0,38}{(b_{fc}/t_{fc})} \sqrt{\frac{E}{F_y}} \right] \leq b_{fc} \quad (6.12.2.2.2-7)$$

t_{fc} = espesor de la pared de diseño del ala sujeta a compresión tomado igual a **0,93 veces** el espesor nominal de la pared para perfiles HSS fabricados por soldadura de resistencia eléctrica e igual al espesor nominal de la pared para otros procesos de fabricación, en mm.

Si la esbeltez del ala λ_f de un perfil HSS cuadrado o rectangular excede λ_{rf} , se deberá satisfacer también la siguiente condición en los estados límite de fatiga y de servicio, así como para efectos de constructibilidad:

$$f_c \leq \frac{1,96 E}{\lambda_f^2} \quad (6.12.2.2.2-8)$$

donde:

f_c = esfuerzo en el ala sujeta a compresión en la sección bajo consideración, debido a:

- Las cargas en el estado límite de servicio, correspondientes a la condición Servicio II;
- La carga permanente sin mayorar más la combinación de carga en el estado límite de fatiga, correspondiente a la condición Fatiga I;
- La carga permanente mayorada apropiada para efectos de constructibilidad.

Si la esbeltez del alma, D/t_w , del perfil HSS cuadrado y rectangular excede λ_{pw} , se deberá verificar el pandeo local del alma. Para pandeo local del alma, la resistencia nominal se debe tomar como:

$$M_n = M_p - (M_p - F_y S) \left(0,305 \frac{D}{t_w} \sqrt{\frac{F_y}{E}} - 0,738 \right) \leq M_p \quad (6.12.2.2.2-9)$$

en el cual:

λ_{pw} = relación de esbeltez límite para un alma compacta.

$$\lambda_{pw} = 2,42 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (6.12.2.2.2-10)$$

donde:

D = distancia libre entre alas menos el radio interior de esquina a cada lado, en mm.

t_w = espesor de la pared de diseño del alma, igual a **0,93 veces** el espesor nominal de la pared para perfiles HSS fabricados por soldadura de resistencia eléctrica e igual al espesor nominal de la pared para otros procesos de fabricación, en mm.

6.12.2.2.3. Tubos de sección circular

La resistencia nominal a la flexión de los tubos de sección circular, incluyendo los perfiles HSS redondos, se deberá tomar como el menor valor basado en la fluencia o en el pandeo local, según corresponda. La relación D/t de los tubos de sección circular utilizados como miembros a flexión no deberá ser mayor que $0,45 \cdot E/F_y$.

Para fluencia, la resistencia nominal a la flexión se debe tomar como:

$$M_n = M_p = F_y Z \quad (6.12.2.2.3-1)$$

donde:

D = diámetro exterior del tubo, en mm.

M_p = momento plástico, en Nmm.

t = espesor del tubo, en mm.

Z = módulo plástico de la sección, en mm³.

Para secciones donde D/t sea superior a $0,07 \cdot E/F_y$, se deberá verificar el pandeo local. Para pandeo local, la resistencia nominal a la flexión se debe tomar como:

- Si $\frac{D}{t} \leq \frac{0,31 E}{F_y}$, entonces:

$$M_n = \left(\frac{0,021 E}{\frac{D}{t}} + F_y \right) S \quad (6.12.2.2.3-2)$$

- Si $\frac{D}{t} > \frac{0,31 E}{F_y}$, entonces:

$$M_n = F_{cr} S \quad (6.12.2.2.3-3)$$

en el cual:

F_{cr} = esfuerzo de pandeo elástico local, en N/mm².

$$F_{cr} = \frac{0,33 E}{\frac{D}{t}} \quad (6.12.2.2.3-4)$$

donde:

S = módulo elástico de la sección, en mm³.

6.12.2.2.4. Perfiles T y ángulos dobles

Para perfiles **T** y ángulos dobles cargados en el plano de simetría, la resistencia nominal a la flexión se deberá tomar como el menor valor basado en la fluencia, el pandeo lateral torsional, o el pandeo local de los elementos, según corresponda.

Para fluencia, la resistencia nominal a la flexión se debe tomar como:

$$M_n = M_p = F_y Z_x \quad (6.12.2.2.4-1)$$

El valor M_n de la Ecuación 6.12.2.2.4-1 se limita a $1,6 \cdot M_y$ para almas sujetas a tracción y a M_y para almas en compresión.

donde:

F_y = tensión de fluencia mínima especificada, en MPa.

M_p = momento plástico, en Nmm.

M_y = momento de fluencia basado en la distancia al extremo del alma, en Nmm.

Z_x = módulo plástico de la sección respecto al eje **x**, en mm³.

Para pandeo lateral torsional, la resistencia nominal a la flexión se debe tomar como:

$$M_n = \frac{\pi \sqrt{E I_y G J}}{L_b} \left[B + \sqrt{1 + B^2} \right] \leq M_p \quad (6.12.2.2.4-2)$$

en el cual:

$$B = \pm 2,3 \frac{d}{L_b} \sqrt{\frac{I_y}{J}} \quad (6.12.2.2.4-3)$$

donde:

d = altura total de la sección, en mm.

G = módulo de elasticidad a corte del acero = **0,385·E**, en MPa.

I_y = momento de inercia respecto al eje **y**, en mm⁴.

J = constante torsional de St. Venant, en mm⁴.

L_b = longitud no arriostrada, en mm.

En la Ecuación 6.12.2.2.4-3, **B** se deberá tomar con signo positivo cuando el alma está sujeta a tracción y negativo cuando lo está a compresión. Si el extremo del alma está sujeto a compresión, en cualquier punto a lo largo de la longitud no arriostrada, se debe utilizar el valor negativo de **B**.

Para las secciones donde el ala está sujeta a compresión y la esbeltez del ala λ_f es mayor que λ_{pf} , se deberá verificar el pandeo local del ala. Para el pandeo local del ala, la resistencia nominal a la flexión se debe tomar como:

$$M_n = M_p - (M_p - 0,7 F_y S_{xc}) \left(\frac{\lambda_f - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}} \right) \leq 1,6 M_y \quad (6.12.2.2.4-4)$$

en el cual:

λ_f = relación de esbeltez del ala = **$b_f/2 \cdot t_f$**

λ_{pf} = relación de esbeltez límite para un ala compacta

$$\lambda_{pf} = 0,38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (6.12.2.2.4-5)$$

λ_{rf} = relación de esbeltez límite para un ala no compacta

$$\lambda_{rf} = \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (6.12.2.2.4-6)$$

donde:

b_f = ancho del ala, en mm. Para ángulos dobles, b_f se debe tomar como la suma de los anchos de las alas salientes.

S_{xc} = módulo elástico de la sección con respecto al ala sujeta a compresión, en mm³.

t_f = espesor del ala, en mm.

Para las secciones donde el alma está sujeta a compresión, se debe verificar el pandeo local del alma. La resistencia al pandeo local del alma se toma como:

$$M_n = 0,424 \frac{E J}{d} \leq M_y \quad (6.12.2.2.4-7)$$

Las alas de secciones fabricadas sujetas a compresión o tracción deben satisfacer la Ecuación 6.10.2.2-1.

6.12.2.2.5. Canales

Para canales sujetos a flexión respecto a su eje fuerte o eje x , la resistencia nominal a la flexión se deberá tomar como el menor valor basado en la fluencia o en el pandeo lateral torsional, según corresponda.

Para fluencia, la resistencia nominal a la flexión se debe tomar como:

$$M_n = M_p = F_y Z_x \quad (6.12.2.2.5-1)$$

donde:

F_y = tensión de fluencia mínima especificada, en MPa.

M_p = momento plástico, en Nmm.

Z_x = módulo plástico de la sección respecto al eje x , en mm³.

Si la longitud no arriostrada L_b es mayor que L_r , se deberá verificar el pandeo lateral torsional. Para pandeo lateral torsional, la resistencia nominal a la flexión se debe tomar como:

- Si $L_b \leq L_r$, entonces:

$$M_n = C_b \left[M_p - (M_p - 0,7 F_y S_x) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_p \quad (6.12.2.2.5-2)$$

- Si $L_b > L_r$, entonces:

$$M_n = F_{cr} S_x \leq M_p \quad (6.12.2.2.5-3)$$

en el cual:

F_{cr} = esfuerzo de pandeo lateral torsional elástico, en N/mm².

$$F_{cr} = \frac{C_b \pi^2 E}{\left(\frac{L_b}{r_{ts}}\right)^2} \sqrt{1 + 0,078 \frac{J c}{S_x h_o} \left(\frac{L_b}{r_{ts}}\right)^2} \quad (6.12.2.2.5-4)$$

$$c = \frac{h_o}{2} \sqrt{\frac{I_y}{C_w}} \quad (6.12.2.2.5-5)$$

C_w = constante torsional por alabeo, en mm⁶.

$$C_w = \frac{t_f b^3 h_o^2}{12} \left(\frac{3 b t_f + 2 h_o t_w}{6 b t_f + h_o t_w} \right) \quad (6.12.2.2.5-6)$$

L_p = longitud no arriostrada límite para alcanzar la resistencia nominal a la flexión M_p bajo flexión uniforme, en mm.

$$L_p = 1,76 r_y \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (6.12.2.2.5-7)$$

L_r = longitud no arriostrada límite para alcanzar el inicio de fluencia nominal bajo flexión uniforme teniendo en cuenta los efectos de la tensión residual en el ala sujeta a compresión, en mm.

$$L_r = 1,95 r_{ts} \frac{E}{0,7 F_y} \sqrt{\frac{J c}{S_x h_o}} \sqrt{1 + \sqrt{1 + 6,76 \left(\frac{0,7 F_y}{E} \frac{S_x h_o}{J c} \right)^2}} \quad (6.12.2.2.5-8)$$

$$r_{ts}^2 = \frac{\sqrt{I_y C_w}}{S_x} \quad (6.12.2.2.5-9)$$

donde:

C_b = modificador del gradiente de momentos, determinado como se especifica en el artículo A6.3.3.

L_b = longitud no arriostrada, en mm.

b = distancia entre la punta del ala y el eje central del alma, en mm.

h_o = distancia entre baricentros de las alas, en mm.

I_y = momento de inercia alrededor del eje y , en mm⁴.

J = constante torsional de St. Venant, en mm⁴.

r_{ts} = radio de giro utilizado en la determinación de L_r , en mm.

r_y = radio de giro alrededor del eje y , en mm.

S_x = módulo elástico de la sección respecto al eje x , en mm^3 .

t_f = espesor del ala, en mm; para secciones en canal laminadas utilizar el espesor promedio.

t_w = espesor del alma, en mm.

Para canales solicitados a flexión respecto a su eje débil o eje y , la resistencia nominal a la flexión se deberá determinar de acuerdo con los requisitos especificados en el artículo 6.12.2.2.1. La resistencia nominal a la flexión no deberá ser mayor que $1,6 \cdot F_y \cdot S_y$, donde S_y es el módulo elástico de la sección respecto al eje y .

La esbeltez del ala, λ_f , de canales fabricadas o de chapa doblada, debe satisfacer:

$$\lambda_f \leq \lambda_{pf} \quad (6.12.2.2.5-10)$$

en el cual:

λ_f = relación de esbeltez del ala del canal = b_f / t_f

λ_{pf} = relación de esbeltez límite para un ala compacta

$$\lambda_{pf} = 0,38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (6.12.2.2.5-11)$$

donde:

b_f = ancho del ala, en mm.

t_f = espesor del ala, en mm.

La esbeltez del alma de los canales fabricados o de chapa doblada, debe satisfacer:

$$\frac{D}{t_w} \leq \lambda_{pw} \quad (6.12.2.2.5-12)$$

en el cual:

λ_{pw} = relación de esbeltez límite para un alma compacta

$$\lambda_{pw} = 3,76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (6.12.2.2.5-13)$$

donde:

D = altura del alma, en mm.

t_w = espesor del alma, en mm.

6.12.2.2.6. Ángulos simples

No se deben utilizar los ángulos simples como miembros solicitados a flexión pura. Los ángulos simples sujetos a compresión axial y flexión combinadas pueden ser diseñados de acuerdo con los requisitos especificados en el artículo 6.9.4.4.

6.12.2.2.7. Barras rectangulares y barras redondas sólidas

Para barras rectangulares y barras redondas sólidas en flexión, la resistencia nominal a la flexión se deberá tomar como el menor valor basado en la fluencia o en el pandeo lateral torsional, según corresponda.

Para fluencia, la resistencia nominal a la flexión se debe tomar como:

- Para barras rectangulares con $\frac{L_b d}{t^2} \leq \frac{0,08 E}{F_y}$ en flexión respecto a su eje geométrico mayor, barras rectangulares en flexión respecto a su eje geométrico menor, y barras redondas sólidas:

$$M_n = M_p = F_y Z \leq 1,6 M_y \quad (6.12.2.2.7-1)$$

donde:

d = altura de la barra rectangular, en mm.

F_y = tensión de fluencia mínima especificada, en MPa.

L_b = longitud no arriostrada para desplazamiento lateral o giro, según corresponda, en mm.

M_p = momento plástico, en Nmm.

M_y = momento de fluencia, en Nmm.

t = ancho de la barra rectangular paralelo al eje de flexión, en mm.

Z = módulo plástico de la sección, en mm³.

Por pandeo lateral torsional, la resistencia nominal a la flexión para barras rectangulares en flexión respecto a su eje geométrico mayor se debe tomar como sigue:

- Si $\frac{0,08 E}{F_y} < \frac{L_b d}{t^2} \leq \frac{1,9 E}{F_y}$, entonces:

$$M_n = C_b \left[1,52 - 0,274 \left(\frac{L_b d}{t^2} \right) \frac{F_y}{E} \right] M_y \leq M_p \quad (6.12.2.2.7-2)$$

- Si $\frac{L_b d}{t^2} > \frac{1,9 E}{F_y}$, entonces:

$$M_n = F_{cr} S_x \leq M_p \quad (6.12.2.2.7-3)$$

en el cual:

$$F_{cr} = \frac{1,9 E C_b}{\frac{L_b d}{t^2}} \quad (\text{MPa} = \text{N/mm}^2)$$

donde:

C_b = modificador del gradiente de momentos, determinado como se especifica en el artículo A6.3.3.

S_x = módulo elástico de la sección alrededor del eje geométrico fuerte, en mm^3 .

No se considerará el pandeo lateral torsional en barras rectangulares solicitadas a flexión respecto a su eje geométrico menor ni en barras redondas sólidas.

6.12.2.3. Miembros compuestos

6.12.2.3.1. Perfiles embebidos en hormigón

La resistencia nominal a la flexión sin compresión de los perfiles embebidos en hormigón que satisfacen los requisitos del artículo 6.9.5.2.3 se deberá tomar como el menor valor entre:

$$M_n = M_{ps}, \text{ o} \quad (6.12.2.3.1-1)$$

$$M_n = M_{yc} \quad (6.12.2.3.1-2)$$

A los fines del artículo 6.9.2.2, la resistencia nominal a la flexión de los perfiles embebidos en hormigón sujetos a compresión y flexión se deberá tomar como:

- Si $\frac{P_u}{\phi_c P_n} \geq 0,3$, entonces:

$$M_n = Z F_y + \frac{(d - 2c) A_r F_{yr}}{3} + \left(\frac{d}{2} - \frac{A_w F_y}{1,7 f_c' b} \right) A_w F_y \quad (6.12.2.3.1-3)$$

- Si $0,0 < \left(\frac{P_u}{\phi_c P_n} \right) < 0,3$, entonces:

M_n se deberá determinar interpolando linealmente entre el valor de M_n , dado por la Ecuación 6.12.2.3.1-1 o 6.12.2.3.1-2 para $P_u = 0$, y el valor de M_n dado por la Ecuación 6.12.2.3.1-3 para $(P_u / \phi_c \cdot P_n) \geq 0,3$.

donde:

P_u = fuerza axial de compresión, debida a las cargas mayoradas, en N.

P_n = resistencia nominal a la compresión, especificada en el artículo 6.9.5.1, en N.

ϕ_c = factor de resistencia por compresión axial, especificado en el artículo 6.5.4.2.

M_{ps} = momento plástico de la sección de acero, en Nmm.

M_{yc} = momento de fluencia de la sección compuesta, determinado como se especifica en el artículo D6.2, en Nmm.

Z = módulo plástico de la sección de acero respecto al eje de flexión, en mm^3 .

A_w = área del alma de la sección de acero, en mm^2 .

f'_c = resistencia mínima especificada a la compresión del hormigón a los **28 días**, en MPa.

A_r = área de la armadura longitudinal, en mm^2 .

c = distancia desde el centro de la armadura longitudinal a la cara más próxima del miembro en el plano de flexión, en mm.

d = altura del miembro en el plano de flexión, en mm.

b = ancho del miembro perpendicular al plano de flexión, en mm.

F_{yr} = tensión de fluencia mínima especificada de la armadura longitudinal, en MPa.

6.12.2.3.2. Tubos rellenos de hormigón

La resistencia nominal a la flexión de los tubos rellenos de hormigón, que satisfacen las limitaciones especificadas en el artículo 6.9.5.2, se puede tomar como:

- Si $\frac{D}{t} \leq 2,0 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$, entonces:

$$M_n = M_{ps} \quad (6.12.2.3.2-1)$$

- Si $2,0 \sqrt{\frac{E}{F_y}} < \frac{D}{t} \leq 8,8 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$, entonces:

$$M_n = M_{yc} \quad (6.12.2.3.2-2)$$

6.12.3. Resistencia nominal al corte de los miembros compuestos

6.12.3.1. Perfiles embebidos en hormigón

La resistencia nominal al corte se puede tomar como:

$$V_n = 0,58 F_{yw} D t_w + \frac{F_{yr} A_v (d - c)}{s} \quad (6.12.3.1-1)$$

donde:

F_{yw} = tensión de fluencia mínima especificada del alma del perfil de acero, en MPa.

F_{yr} = tensión de fluencia mínima especificada de la armadura transversal, en MPa.

D = altura del alma del perfil de acero, en mm.

t_w = espesor del alma o de las almas del perfil de acero, en mm.

A_v = área de la sección transversal de las barras, de armadura transversal, que intercepta una fisura diagonal por corte, en mm².

s = separación longitudinal de la armadura transversal, en mm.

d = altura del miembro en el plano de corte, en mm.

c = distancia desde el centro de la armadura longitudinal a la cara más próxima del miembro en el plano de flexión, en mm.

6.12.3.2. Tubos rellenos de hormigón

6.12.3.2.1. Tubos de sección rectangular

La resistencia nominal al corte se puede tomar como:

$$V_n = 1,16 D t_w F_y \quad (6.12.3.2.1-1)$$

donde:

D = altura del alma del tubo, en mm.

t_w = espesor de la pared del tubo, en mm.

6.12.3.2.2. Tubos de sección circular

La resistencia nominal al corte se puede tomar como:

V_n = resistencia nominal al corte del tubo de acero solamente, en N.

6.13. UNIONES Y EMPALMES

6.13.1. Requisitos generales

A menos que se especifique lo contrario, las uniones y empalmes de los miembros principales se deberán diseñar en el estado límite de resistencia para no menos que la mayor entre:

- El promedio entre el esfuerzo inducido por el momento flexor, el corte, o la fuerza axial debido a las cargas mayoradas en el punto de empalme o conexión y la resistencia minorada a flexión, corte, o axial del miembro o elemento en el mismo punto, y
- El **75 por ciento** de la resistencia minorada a flexión, corte, o axial del miembro o elemento.

Si los diafragmas, marcos transversales, arriostramiento lateral, largueros, o vigas de piso para miembros, sujetos a flexión, rectos o curvados horizontalmente se incluyen en el modelo estructural utilizado para determinar los efectos de fuerza, o alternatively, son diseñados para efectos de fuerza calculados explícitamente a partir de los resultados de una investigación separada, las conexiones en los extremos de estos miembros de arriostramiento se deben diseñar para el cálculo de las solicitaciones mayoradas en el miembro. De no ser así, las conexiones en los extremos para estos miembros se deben diseñar de acuerdo con la disposición del **75 por ciento** de la resistencia presentada en este documento.

Siempre que sea posible, las conexiones deben ser simétricas con respecto al eje de los miembros. Excepto en el caso de los elementos secundarios de arriostramiento y pasamanos, las conexiones deben contener por lo menos dos bulones. Los miembros, incluyendo los arriostramientos, se deben conectar de manera que sus ejes gravitatorios se crucen en un punto. Se deben evitar las conexiones excéntricas. Si no es posible evitar el uso de conexiones excéntricas, los miembros y conexiones se deben dimensionar para los efectos combinados de corte y momento debidos a la excentricidad.

En el caso de las conexiones que transmiten la totalidad del corte en el extremo del miembro, la sección bruta se deberá tomar como la sección bruta de los elementos conectados.

El espesor de los perfiles ángulo utilizados en las conexiones de extremo de los largueros, vigas de piso y vigas primarias no debe ser menor que **9,5 mm**. Dichas conexiones de extremo se deben realizar utilizando dos perfiles ángulo. Al determinar el número de sujetadores requeridos para transmitir el corte en el extremo, no se deben considerar las ménsulas o ángulos de soporte que se pueden utilizar para proporcionar apoyo durante el montaje.

A menos que el pliego de especificaciones técnicas permita lo contrario, los orificios para bulones en las conexiones de puentes curvados horizontalmente deben ser de tamaño estándar.

Las conexiones de los extremos de largueros, vigas de piso, y vigas primarias se deben efectuar utilizando bulones de alta resistencia. Cuando no resulte práctico realizar conexiones abulonadas estará permitido utilizar uniones soldadas. Cuando se utilicen, dichas conexiones soldadas de los extremos se deben diseñar para la carga vertical y el momento flexor resultante de la restricción contra la rotación del extremo.

Cuando se tenga una estructura con largueros de madera que se conecten a las vigas de piso de acero, se deben proporcionar ángulos de soporte con rigidizadores para soportar la reacción total. El espesor del ángulo de soporte no deberá ser menor de **11 mm**.

6.13.2. Conexiones abulonadas

6.13.2.1. Requisitos generales

Las partes abulonadas de acero pueden estar o no revestidas y deben quedar en contacto firme entre sí una vez que los bulones se hayan apretado. El pliego de especificaciones técnicas debe especificar que todas las superficies de las juntas, incluyendo las superficies adyacentes a la cabeza del bulón y la tuerca, deben estar libres de incrustaciones, excepto el óxido de hierro bien adherido, y libres de suciedad u otros materiales extraños.

Las juntas con bulones de alta resistencia se deben designar ya sea como conexiones de deslizamiento crítico o como conexiones por aplastamiento. Para las conexiones de deslizamiento crítico, el valor de la fricción debe ser consistente con la condición especificada de las superficies de contacto según el artículo 6.13.2.8. Todo el material dentro de la longitud de apriete del bulón deberá ser de acero.

6.13.2.1.1. Conexiones de deslizamiento crítico

Las juntas sujetas a inversión de esfuerzos, cargas elevadas de impacto, vibraciones severas o ubicadas en zonas donde la tensión y deformación debido al deslizamiento de la junta pueden perjudicar la capacidad de servicio de la estructura, se deberán designar como de deslizamiento crítico. Estas conexiones incluyen:

- Juntas sujetas a carga de fatiga;
- Juntas solicitadas a corte con bulones instalados en agujeros de gran tamaño;
- Juntas solicitadas a corte con bulones instalados en agujeros de ranuras cortas y largas donde la fuerza sobre la junta está en una dirección que no es perpendicular al eje de la ranura, excepto cuando el Ingeniero decida lo contrario y así lo indique en el pliego de especificaciones técnicas;
- Juntas sujetas a significativas inversiones de cargas;
- Juntas en las cuales la carga se transmite de manera compartida entre soldaduras y bulones en una superficie de contacto común;
- Juntas sujetas a tracción axial o por una combinación de tracción axial y corte;

- Juntas sujetas únicamente a compresión axial, con agujeros estándar o de ranura en una sola chapa de la conexión, y cargadas en dirección perpendicular a la ranura, excepto para las conexiones diseñadas de acuerdo con los requisitos especificados en el artículo 6.13.6.1.3; y
- Juntas en las cuales, a criterio del Ingeniero, cualquier deslizamiento afectaría críticamente el comportamiento de la junta o de la estructura y las cuales están debidamente identificadas en el pliego de especificaciones técnicas.

Las conexiones de deslizamiento crítico se deberán dimensionar de manera de evitar el deslizamiento bajo la combinación de cargas correspondiente al estado límite de servicio II, tal como se especifica en la Tabla 3.4.1-1, y para proporcionar resistencia al aplastamiento, al corte y a la tracción bajo las combinaciones de cargas correspondientes al estado límite de resistencia aplicable. Se deben aplicar los requisitos del artículo 6.13.2.2.

6.13.2.1.2. Conexiones por aplastamiento

Está permitido utilizar conexiones por aplastamiento solamente para juntas sujetas a compresión axial o juntas en miembros de arriostramiento, y deberán satisfacer la resistencia minorada, R_r , en el estado límite de resistencia.

6.13.2.2. Resistencia minorada

Para las conexiones de deslizamiento crítico, la resistencia minorada, R_r , de un bulón bajo la combinación de cargas correspondiente al estado límite de servicio II se deberá tomar como:

$$R_r = R_n \quad (6.13.2.2-1)$$

donde:

R_n = resistencia nominal, como se especifica en el artículo 6.13.2.8.

La resistencia minorada, R_r o T_r , de una conexión abulonada en el estado límite de resistencia se debe tomar como una de las siguientes:

$$R_r = \phi R_n \quad (6.13.2.2-2)$$

$$T_r = \phi T_n \quad (6.13.2.2-3)$$

donde:

R_n = resistencia nominal del bulón, de la conexión, o del material conectado, determinada como sigue:

- Para bulones solicitados a corte, R_n se debe tomar como se especifica en el artículo 6.13.2.7.

- Para el material conectado en las juntas de apoyo, R_n se debe tomar como se especifica en el artículo 6.13.2.9.
- Para el material conectado sujeto a tracción o corte, R_n se debe tomar como se especifica en el artículo 6.13.5.

T_n = resistencia nominal del bulón, determinada como sigue:

- Para bulones sujetos a tracción axial, T_n se debe tomar como se especifica en el artículo 6.13.2.10.
- Para bulones sujetos a una combinación de tracción axial y corte, T_n se debe tomar como se especifica en el artículo 6.13.2.11.

ϕ = factor de resistencia para bulones, especificado en el artículo 6.5.4.2, tomado como:

- ϕ_s para bulones en corte,
- ϕ_t para bulones en tracción,
- ϕ_{bb} para bulones que apoyan sobre material,
- ϕ_y o ϕ_u para material conectado en tracción, según corresponda, o
- ϕ_v o ϕ_{vu} para material conectado en corte.

6.13.2.3. Pernos, tuercas y arandelas

6.13.2.3.1. Pernos y tuercas

Se deberán aplicar los requisitos del artículo 6.4.3.

6.13.2.3.2. Arandelas

Las arandelas utilizadas en las conexiones abulonadas deben satisfacer los requisitos especificados en el artículo 6.4.3. En las conexiones con bulones de alta resistencia se deben utilizar arandelas endurecidas donde:

- La cara externa de las partes abulonadas tiene una pendiente mayor que **1:20**, con respecto al plano normal al eje del bulón;
- El apriete se realiza utilizando el método de la llave calibrada, en cuyo caso la arandela se deberá utilizar por debajo del elemento que se gira al apretar;
- Se instalan bulones AASHTO M 253 (ASTM A490) en un material cuya tensión de fluencia mínima especificada es menor que **345 MPa**, independientemente del método de apriete utilizado;

- Se requieren por tener agujeros agrandados o de ranura, de acuerdo con los requisitos aquí especificados;
- Se instalan bulones AASHTO M 253 (ASTM A490) de más de **25 mm** de diámetro en agujeros de gran tamaño o de ranura corta en una capa exterior, en cuyo caso se deberá utilizar como mínimo un espesor de **8 mm** tanto en la cabeza como en la tuerca. No se deben utilizar múltiples arandelas endurecidas.

Se deben instalar arandelas endurecidas sobre los agujeros de gran tamaño y de ranura corta en una capa exterior.

Se deberán utilizar arandelas de chapa estructural o una barra continua con agujeros estándar, de no menos de **8 mm** de espesor, para cubrir completamente los agujeros de ranura larga. Sobre la superficie exterior de la arandela de chapa o de barra se deberán utilizar arandelas endurecidas aptas para bulones de alta resistencia.

No se deben instalar dispositivos indicadores de carga sobre agujeros de gran tamaño o de ranura en una capa exterior, a menos que también se proporcione una arandela endurecida o una arandela de chapa estructural.

6.13.2.4. Agujeros

6.13.2.4.1. Tipo

6.13.2.4.1a. Requisitos generales

A menos que se especifique lo contrario, en las conexiones con bulones de alta resistencia se deben utilizar agujeros estándar.

6.13.2.4.1b. Agujeros agrandados

Se pueden utilizar agujeros agrandados en cualquiera o en todas las chapas de una conexión de deslizamiento crítico. No se deben utilizar en las conexiones por aplastamiento.

6.13.2.4.1c. Agujeros de ranura corta

Se pueden utilizar agujeros de ranura corta en cualquiera o en todas las chapas de una conexión de deslizamiento crítico o por aplastamiento. En las conexiones de deslizamiento crítico estas ranuras se pueden utilizar independientemente de la dirección de la carga, pero en las conexiones por aplastamiento la mayor dimensión debe ser perpendicular a la dirección de la carga.

6.13.2.4.1d. Agujeros de ranura larga

Tanto en las conexiones de deslizamiento crítico como en las conexiones por aplastamiento, los agujeros de ranura larga se pueden utilizar solamente en una de las chapas. En las conexiones de deslizamiento crítico los agujeros de ranura larga se pueden utilizar independientemente de la dirección de la carga, pero en las conexiones por aplastamiento estos agujeros serán perpendiculares a la dirección de la carga.

6.13.2.4.2. Tamaño

Las dimensiones de los agujeros no deben ser mayores que los valores especificados en la Tabla 6.13.2.4.2-1.

Tabla 6.13.2.4.2-1. Tamaño máximo de los agujeros.

Diámetro bulón		Diámetro		Diámetro		Ranura corta		Ranura larga	
d		Estándar		Agrandado		Ancho x Longitud		Ancho x Longitud	
[in]	[mm]	[in]	[mm]	[in]	[mm]	[in]	[mm]	[in]	[mm]
5/8	16	11/16	17	13/16	21	11/16 x 7/8	17 x 22	11/16 x 1-9/16	17 x 40
3/4	19	13/16	21	15/16	24	13/16 x 1	21 x 25	13/16 x 1-7/8	21 x 48
7/8	22	15/16	24	1-1/16	27	15/16 x 1-1/8	24 x 29	15/16 x 2-3/16	24 x 56
1	25	1-1/16	27	1-1/4	32	1-1/16 x 1-5/16	27 x 33	1-1/16 x 2-1/2	27 x 64
≥ 1-1/8	≥ 29	d+1/16	d+2	d+5/16	d+8	d+1/16 x d+3/8	d+2 x d+10	d+1/16 x 2,5d	d+2 x 2,5d

6.13.2.5. Tamaño de los bulones

El diámetro de los bulones no deberá ser menor que **15,9 mm**. No se deberán utilizar bulones de **15,9 mm** de diámetro en miembros principales, excepto en alas de perfiles ángulo de **64 mm** y en alas de secciones cuyas dimensiones requieran medios de unión de **15,9 mm** para satisfacer otros requisitos de detallado aquí especificados. El uso de perfiles estructurales que no permitan utilizar medios de unión de **15,9 mm** se limitarán a los pasamanos.

En los perfiles angulares, cuyo tamaño no está determinado por cálculos, se pueden utilizar:

- bulones de **15,9 mm** de diámetro en alas de **51 mm**,
- bulones de **19,1 mm** de diámetro en alas de **64 mm**,
- bulones de **22,2 mm** de diámetro en alas de **76 mm**, y
- bulones de **25,4 mm** de diámetro en alas de **89 mm**.

El diámetro de los bulones, utilizados en los perfiles ángulos de miembros principales, no debe ser mayor que **un cuarto** del ancho del ala en la cual se colocan.

6.13.2.6. Separación de los bulones

6.13.2.6.1. Separación y distancia libre mínimos

La separación mínima entre centros de los bulones en agujeros estándar no debe ser menor que **tres veces** el diámetro del bulón. Cuando se utilicen agujeros agrandados o de ranura, la distancia libre mínima entre los bordes de los agujeros del bulón adyacente, tanto en la dirección de la fuerza como en su dirección transversal, no deberá ser menor que **dos veces** el diámetro del bulón.

6.13.2.6.2. Separación máxima para bulones de sellado

Para evitar que penetre humedad en las juntas, la separación a lo largo de una única línea adyacente a un borde libre de una chapa o perfil exterior deberá satisfacer:

$$s \leq (102 + 4t) \leq 178 \quad (6.13.2.6.2-1)$$

Si hay una segunda línea de medios de unión con un alternado uniforme con respecto a aquellos en la línea adyacente al borde libre (en tresbolillo), con un gramil menor que **38 + 4,0·t**, la separación del alternado, **s**, en dos de tales líneas, consideradas en forma conjunta, deberá satisfacer:

$$s \leq \left(102 + 4t - \frac{3g}{4} \right) \leq 178 \quad (6.13.2.6.2-2)$$

La separación del alternado no necesita ser menor que la mitad del requisito para una sola línea.

donde:

t = espesor de la chapa o perfil exterior de menor espesor, en mm.

g = distancia entre líneas de bulones, en mm.

6.13.2.6.3. Paso máximo para bulones roscados de punta “autoperforantes”

En los miembros armados con sujetadores mecánicos se deberán utilizar bulones roscados de punta donde dos o más chapas o perfiles están en contacto.

En los miembros sujetos a compresión, el paso de los bulones roscados de punta no debe ser mayor que **12·t**. La distancia entre líneas adyacentes de bulones, **g**, no debe ser mayor que **24·t**. El paso alternado entre dos líneas adyacentes de agujeros en tresbolillo deberá satisfacer:

$$p \leq \left(15t - \left(\frac{3g}{8} \right) \right) \leq 12t \quad (6.13.2.6.3-1)$$

Para miembros sujetos a tracción, el paso no deberá ser mayor que **dos veces** el que aquí se especifica para los miembros sujetos a compresión. La distancia entre líneas de bulones, para miembros sujetos a tracción, no debe ser mayor que **24·t**. Para miembros armados, con sujetadores mecánicos, el paso máximo del medio de unión no deberá ser mayor que el menor valor entre los requeridos para bulones de sellado y bulones roscados de punta.

6.13.2.6.4. Paso máximo para bulones roscados de punta, en el extremo de los miembros sujetos a compresión

El paso de los bulones utilizados para conectar las partes que componen un miembro sujeto a compresión no deberá ser mayor que **cuatro veces** el diámetro del bulón para una longitud igual a **1,5 veces** el máximo ancho del miembro. Más allá de esta longitud, el

paso se puede incrementar gradualmente, a lo largo de un tramo igual a **1,5 veces** el máximo ancho del miembro, hasta alcanzar el máximo paso especificado en el artículo 6.13.2.6.3.

6.13.2.6.5. Distancia al extremo

Para todos los tipos de agujeros, la distancia al extremo, medida a partir del centro del bulón, no deberá ser menor que las distancias al borde especificadas en la Tabla 6.13.2.6.6-1. Cuando se utilicen agujeros de gran tamaño o de ranura, la mínima distancia libre al extremo no deberá ser menor que el diámetro del bulón.

La máxima distancia al extremo será igual a la máxima distancia al borde, tal como se especifica en el artículo 6.13.2.6.6.

6.13.2.6.6. Distancias al borde

La mínima distancia al borde será como se especifica en la Tabla 6.13.2.6.6-1.

La máxima distancia al borde no debe ser mayor que **ocho veces** el espesor de la chapa exterior de menor espesor ni mayor que **127 mm**.

Tabla 6.13.2.6.6-1. Distancias mínimas al borde.

Diámetro bulón		Bordes recortados		Bordes de chapas o perfiles laminados o, bordes cortados a gas	
[in]	[mm]	[in]	[mm]	[in]	[mm]
5/8	16	1-1/8	29	7/8	22
3/4	19	1-1/4	32	1	25
7/8	22	1-1/2	38	1-1/8	29
1	25	1-3/4	44	1-1/4	32
1-1/8	29	2	51	1-1/2	38
1-1/4	32	2-1/4	57	1-5/8	41
1-3/8	35	2-3/8	60	1-3/4	44

6.13.2.7. Resistencia al corte

En uniones cuya longitud entre sujetadores extremos, medida paralela a la línea de acción de la fuerza, es menor que **1270 mm**, la resistencia nominal al corte en el estado límite de resistencia de un bulón de alta resistencia (ASTM A325 o ASTM A490) o un bulón ASTM A307 (Grado **A** o **B**), se debe tomar como:

- Si las roscas están excluidas del plano de corte:

$$R_n = 0,48 A_b F_{ub} N_s \quad (6.13.2.7-1)$$

- Si las roscas están incluidas del plano de corte:

$$R_n = 0,38 A_b F_{ub} N_s \quad (6.13.2.7-2)$$

donde:

A_b = área del bulón correspondiente al diámetro nominal, en mm^2 .

F_{ub} = resistencia mínima especificada a la tracción del bulón, de acuerdo con el artículo 6.4.3, en MPa.

N_s = número de planos de corte por bulón.

La resistencia nominal al corte de un bulón, en conexiones de más de **1270 mm** de longitud, se debe tomar como **0,80 veces** el valor dado por la Ecuación 6.13.2.7-1 o 6.13.2.7-2.

Para determinar si las roscas de los bulones están excluidas de los planos de corte de las superficies de contacto, la longitud de la rosca del bulón deberá determinar como la longitud de rosca especificada más **dos veces** la longitud de paso de rosca.

Si las roscas de un bulón están incluidas en el plano de corte en la junta, la resistencia al corte del bulón en todos los planos de corte de la junta será el valor de las roscas incluidas en el plano de corte.

Para los bulones ASTM A307, el diseño de corte se debe basar en la Ecuación 6.13.2.7-2. Cuando la longitud de apriete de un bulón ASTM A307 es mayor que **5,0 veces** su diámetro, la resistencia nominal se deberá reducir en **1,0 por ciento** por cada **1,6 mm** de agarre por encima de **5 diámetros**.

6.13.2.8. Resistencia al deslizamiento

La resistencia nominal al deslizamiento de un bulón en una conexión de deslizamiento crítico se debe tomar como:

$$R_n = K_h K_s N_s P_t \quad (6.13.2.8-1)$$

donde:

N_s = número de planos de deslizamiento por bulón.

P_t = mínima tracción requerida en el bulón, especificada en la Tabla 6.13.2.8-1, en N.

K_h = factor según el tamaño del agujero, especificado en la Tabla 6.13.2.8-2.

K_s = factor según la condición de la superficie, especificado en la Tabla 6.13.2.8-3.

Tabla 6.13.2.8-1. Mínima tracción requerida en el bulón.

Diámetro del bulón		Tracción requerida – P_t , [N]	
[in]	[mm]	M 164 (A325)	M 253 (A490)
5/8	16	84516	106757
3/4	19	124550	155688
7/8	22	173481	217963
1	25	226859	284686
1-1/8	29	249100	355858
1-1/4	32	315824	453719
1-3/8	35	378099	538235
1-1/2	38	458167	658337

Tabla 6.13.2.8-2. Valores de K_n

Para agujeros estándar	1,00
Para agujeros de gran tamaño y ranuras cortas	0,85
Para agujeros de ranuras largas con la ranura perpendicular a la dirección de la fuerza	0,70
Para agujeros de ranuras largas con la ranura paralela a la dirección de la fuerza	0,60

Tabla 6.13.2.8-3. Valores de K_s

Para condiciones de superficie Clase A	0,33
Para condiciones de superficie Clase B	0,50
Para condiciones de superficie Clase C	0,33

Las condiciones de superficie, especificadas en la Tabla 6.13.2.8-3, se definen de la siguiente manera:

- Superficies Clase **A**: superficies libres de óxido de hierro sin pintar, y superficies limpiadas con chorro abrasivo con recubrimientos de Clase **A**,
- Superficies Clase **B**: superficies limpiadas con chorro abrasivo sin pintar y superficies limpiadas con chorro abrasivo con recubrimientos de Clase **B**, y
- Superficies Clase **C**: superficies galvanizadas por inmersión en caliente y tratadas luego del galvanizado con cepillo de alambre para darles rugosidad.

El pliego de especificaciones técnicas debe especificar que en las conexiones sin recubrimiento no deberá quedar pintura, ni siquiera por rociados (spray) accidentales, en las áreas que se encuentren a menos de un diámetro del bulón, pero no menos de **25 mm** del borde de cualquier agujero, ni en todas las áreas dentro del patrón de bulones.

El pliego de especificaciones técnicas debe especificar que las juntas que tienen superficies de contacto pintadas se limpien con chorro abrasivo y se recubran con una pintura que, mediante ensayos, haya sido clasificada como recubrimiento Clase **A** o Clase **B**.

Sujeto a la aprobación del Ingeniero, se pueden utilizar recubrimientos que proporcionen un factor de condición de superficie K_s menor que **0,33**, siempre que el factor K_s promedio se establezca mediante ensayos. La resistencia nominal al deslizamiento se deberá determinar como la resistencia nominal al deslizamiento para las condiciones correspondientes a superficies Clase **A**, según corresponda para el tipo de agujero y bulón, multiplicada por el factor K_s determinado mediante ensayos dividido por **0,33**.

Para cubrir aquellos casos donde un coeficiente de fricción menor de **0,33** podría ser adecuado, el Reglamento establece que, sujeto a la aprobación del Ingeniero, y siempre que el coeficiente de deslizamiento medio sea determinado por el procedimiento de ensayo especificado, los recubrimientos de las superficies de contacto proporcionan una menor resistencia al deslizamiento que el revestimiento de Clase **A**.

Cabe señalar que se requiere la aplicación de revestimientos de Clase **A** y Clase **B** al acero limpiado con chorro abrasivo.

El pliego de especificaciones técnicas debe especificar que:

- Las juntas revestidas no se deberán armar antes de que los recubrimientos tengan un tiempo de curado como mínimo igual al tiempo utilizado en el ensayo de calificación, y
- Las superficies de contacto especificadas como galvanizadas se deben galvanizar por inmersión en caliente de acuerdo con la especificación AASHTO M 111M/M 111 (ASTM A123/A123M). Posteriormente, se les deberá dar rugosidad con cepillo de alambre en un proceso manual. No se permitirá el uso de cepillos de alambre eléctricos.

Si una conexión de deslizamiento crítico está sujeta a una fuerza de tracción aplicada que reduce la fuerza neta de apriete, la resistencia nominal al deslizamiento se deberá multiplicar por el factor especificado por la Ecuación 6.13.2.11-3.

6.13.2.9. Resistencia al aplastamiento en los agujeros de bulones

El área efectiva de aplastamiento de un bulón se deberá tomar como su diámetro multiplicado por el espesor del material conectado sobre el cual ejerce el aplastamiento. El espesor efectivo del material conectado con agujeros avellanados se deberá tomar como el espesor del material conectado menos la mitad de la altura del avellanado.

Para los agujeros estándar, agujeros de gran tamaño, agujeros de ranura corta cargados en cualquier dirección, y agujeros de ranura larga paralelos a la fuerza aplicada de aplastamiento, la resistencia nominal de los agujeros para bulones interiores y extremos en el estado límite de resistencia, R_n , se debe tomar como:

- Si la distancia libre entre agujeros de bulones es mayor o igual que **2,0·d** y la distancia libre al extremo es mayor o igual que **2,0·d**:

$$R_n = 2,4 d t F_u \quad (6.13.2.9-1)$$

- Si la distancia libre entre agujeros es menor que **2,0·d**, o la distancia libre al extremo es menor que **2,0·d**:

$$R_n = 1,2 L_c t F_u \quad (6.13.2.9-2)$$

Para los agujeros de ranura larga perpendiculares a la fuerza aplicada de aplastamiento:

- Si la distancia libre entre agujeros de bulones es mayor o igual que $2,0 \cdot d$ y la distancia libre al extremo es mayor o igual que $2,0 \cdot d$:

$$R_n = 2,0 d t F_u \quad (6.13.2.9-3)$$

- Si la distancia libre entre agujeros es menor que $2,0 \cdot d$, o la distancia libre al extremo es menor que $2,0 \cdot d$:

$$R_n = L_c t F_u \quad (6.13.2.9-1)$$

donde:

d = diámetro nominal del bulón, en mm.

t = espesor del material conectado, en mm.

F_u = resistencia a la tracción del material conectado, especificada en la Tabla 6.4.1-1, en MPa.

L_c = distancia libre entre agujeros o entre el agujero y el extremo del miembro en la dirección de la fuerza aplicada de aplastamiento, en mm.

6.13.2.10. Resistencia a la tracción

6.13.2.10.1. Requisitos generales

Los bulones de alta resistencia sujetos a tracción axial se deben tensionar a la fuerza especificada en la Tabla 6.13.2.8-1. La fuerza de tracción aplicada se debe tomar como la fuerza debida a las cargas mayoradas externas, más cualquier tensión resultante de la acción de palanca producida por la deformación de las partes conectadas, tal como se especifica en el artículo 6.13.2.10.4.

6.13.2.10.2. Resistencia nominal a la tracción

La resistencia nominal a la tracción de un bulón, T_n , independientemente de cualquier fuerza de apriete inicial, se debe tomar como:

$$T_n = 0,76 A_b F_{ub} \quad (6.13.2.10.2-1)$$

donde:

A_b = área del bulón correspondiente al diámetro nominal, en mm².

F_{ub} = resistencia mínima especificada a la tracción del bulón, especificada en el artículo 6.4.3, en MPa.

6.13.2.10.3. Resistencia a la fatiga

Cuando los bulones de alta resistencia en tracción axial estén sujetos a fatiga, el rango de esfuerzos, Δf , en el bulón, debido a la sobrecarga de diseño a fatiga, más el incremento por carga dinámica para la carga de fatiga especificado en el artículo 3.6.1.4, más la fuerza por acción de palanca resultante de la aplicación cíclica de la carga de fatiga, deberá satisfacer la Ecuación 6.6.1.2.2-1.

Para calcular el rango de esfuerzos en el bulón se debe utilizar su diámetro nominal. En ningún caso la fuerza de palanca calculada será mayor que el **30 por ciento** de la carga externa aplicada.

En las conexiones sujetas a fatiga no se deben utilizar bulones ASTM A307 con bajo contenido de carbono.

6.13.2.10.4. Acción de palanca

La fuerza de tracción debida a la acción de palanca se debe tomar como:

$$Q_u = \left[\frac{3b}{8a} - \frac{t^3}{20} \right] P_u \quad (6.13.2.10.4-1)$$

donde:

Q_u = tracción por la acción de palanca en cada bulón, debida a las cargas mayoradas, siendo igual a **cero** si es negativa, en N.

P_u = tracción directa por bulón debida a las cargas mayoradas, en N.

a = distancia del centro del bulón al borde de la chapa, en mm.

b = distancia desde el centro del bulón hasta el talón del filete de una parte conectada, en mm.

t = espesor de la parte conectada de menor espesor, en mm.

6.13.2.11. Combinación de tracción y corte

La resistencia nominal a la tracción de un bulón sujeto a la combinación de corte y tracción axial, T_n , se debe tomar como:

- Si $\frac{P_u}{R_n} \leq 0,33$, entonces:

$$T_n = 0,76 A_b F_{ub} \quad (6.13.2.11-1)$$

- En caso contrario:

$$T_n = 0,76 A_b F_{ub} \sqrt{1 - \left(\frac{P_u}{\phi_s R_n} \right)^2} \quad (6.13.2.11-2)$$

donde:

A_b = área del bulón correspondiente al diámetro nominal, en mm².

F_{ub} = resistencia mínima especificada a la tracción del bulón, especificada en el artículo 6.4.3, en MPa.

P_u = fuerza de corte sobre el bulón, debida a las cargas mayoradas, en N.

R_n = resistencia nominal al corte de un bulón, especificada en el artículo 6.13.2.7, en N.

La resistencia nominal de un bulón en conexiones de deslizamiento crítico bajo la combinación de cargas correspondiente al estado límite de servicio II, especificada en la Tabla 3.4.1-1, sujeto a la combinación de corte y tracción axial, no deberá ser mayor que la resistencia nominal al deslizamiento especificada en el artículo 6.13.2.8 multiplicada por:

$$1 - \frac{T_u}{P_t} \quad (6.13.2.11-3)$$

donde:

T_u = fuerza de tracción debida a las cargas mayoradas bajo la combinación de cargas correspondiente al estado límite de servicio II, en N.

P_t = mínima tracción requerida del bulón, especificada en la Tabla 6.13.2.8-1, en N.

6.13.2.12. Resistencia al corte de los bulones de anclaje

La resistencia nominal al corte de un bulón de anclaje, ASTM F1554 o ASTM A307 Grado C, en el estado límite de resistencia, se debe tomar como:

- Si la rosca está incluida en el plano de corte:

$$R_n = 0,48 A_b F_{ub} N_s \quad (6.13.2.12-1)$$

donde:

A_b = área del bulón de anclaje correspondiente al diámetro nominal, en mm².

F_{ub} = resistencia mínima especificada a la tracción del bulón de anclaje, especificado en el artículo 6.4.3, en MPa.

N_s = número de planos de corte por bulón de anclaje.

6.13.3. Conexiones soldadas

6.13.3.1. Requisitos generales

El metal base, el metal de soldadura, y los detalles de diseño de las soldaduras deberán satisfacer los requisitos del AASHTO/AWS D1.5M/D1.5 Bridge Welding Code. Los símbolos de soldadura deben ser conforme a los especificados en A2.4 de la Publicación AWS.

En las soldaduras acanaladas y de filete, se deberán utilizar metal de aporte de resistencia equivalente a la del metal base, a menos que al detallar las soldaduras de filete el Ingeniero opte por especificar clasificaciones de electrodos con resistencias menores que la del metal base, en cuyo caso el procedimiento de soldadura y el metal de soldadura se deberán seleccionar de manera de garantizar que las soldaduras resulten libres de defectos.

6.13.3.2. Resistencia minorada

6.13.3.2.1. Requisitos generales

La resistencia minorada de las conexiones soldadas en el estado límite de resistencia, R_r , se debe tomar como se especifica en los artículos 6.13.3.2.2 a 6.13.3.2.4.

El área efectiva de la soldadura se deberá tomar tal como se especifica en el artículo 6.13.3.3. La resistencia minorada del material de conexión se debe tomar como se especifica en el artículo 6.13.5.

6.13.3.2.2. Conexiones con soldaduras acanaladas de penetración completa

6.13.3.2.2a. Tracción y compresión

La resistencia minorada de las conexiones con soldaduras acanaladas de penetración completa, sujetas a tracción o compresión normal al área efectiva o paralela al eje de la soldadura, se debe tomar como la resistencia minorada del metal base.

6.13.3.2.2b. Corte

La resistencia minorada de las conexiones con soldaduras acanaladas de penetración completa sujetas a corte en el área efectiva se deberá tomar como el menor valor entre el valor obtenido de la Ecuación 6.13.3.2.2b-1 y el **60 por ciento** de la resistencia minorada del metal base en tracción:

$$R_r = 0,60 \phi_{e1} F_{exx} \quad (6.13.3.2.2b-1)$$

donde:

F_{exx} = resistencia correspondiente a la clasificación del metal de soldadura, en MPa.

ϕ_{e1} = factor de resistencia para el metal de soldadura especificado en el artículo 6.5.4.2.

6.13.3.2.3. Conexiones con soldaduras acanaladas de penetración parcial

6.13.3.2.3a. Tracción o compresión

La resistencia minorada de las conexiones con soldaduras acanaladas de penetración parcial, sujetas a tracción o compresión paralela al eje de la soldadura o a compresión normal al área efectiva, se debe tomar como la resistencia minorada del metal base.

La resistencia minorada de las conexiones con soldaduras acanaladas de penetración parcial, sujetas a tracción normal al área efectiva, se debe tomar como el menor valor entre el obtenido de la Ecuación 6.13.3.2.3a-1 y la resistencia minorada del metal base:

$$R_r = 0,60 \phi_{e1} F_{exx} \quad (6.13.3.2.3a-1)$$

donde:

ϕ_{e1} = factor de resistencia para el metal de soldadura especificado en el artículo 6.5.4.2.

6.13.3.2.3b. Corte

La resistencia minorada de las conexiones con soldaduras acanaladas de penetración parcial, sujetas a corte paralelo al eje de la soldadura, se deberá tomar como el menor valor entre la resistencia nominal minorada del material conectado, especificada en el artículo 6.13.5, y la resistencia minorada del metal de soldadura tomada como:

$$R_r = 0,60 \phi_{e2} F_{exx} \quad (6.13.3.2.3b-1)$$

donde:

ϕ_{e2} = factor de resistencia para el metal de soldadura, especificado en el artículo 6.5.4.2.

6.13.3.2.4. Conexiones con soldaduras de filete

6.13.3.2.4a. Tracción o compresión

La resistencia minorada de las conexiones con soldaduras de filete, sujetas a tracción o compresión paralela al eje de la soldadura, se debe tomar como la resistencia minorada del metal base.

6.13.3.2.4b. Corte

La resistencia de las soldaduras de filete sujetas a corte, que se hayan realizado con metal de soldadura de resistencia equivalente o menor que la del metal base y que tengan perfiles de soldadura típicos, se deberá tomar como el producto entre el área efectiva especificada en el artículo 6.13.3.3 y la resistencia minorada del metal de soldadura tomado como:

$$R_r = 0,60 \phi_{e2} F_{exx} \quad (6.13.3.2.4b-1)$$

6.13.3.3. Área efectiva

El área efectiva será la longitud efectiva de la soldadura multiplicada por la garganta efectiva. Se tomará como garganta efectiva a la menor distancia desde la raíz de la junta hasta la cara de la soldadura.

6.13.3.4. Tamaño de las soldaduras de filete

Al diseñar una conexión se debe suponer un tamaño de soldadura de filete tal que las fuerzas debidas a las cargas mayoradas no superen la resistencia minorada de la conexión, especificada en el artículo 6.13.3.2.

El tamaño máximo de la soldadura de filete, que se pueden utilizar a lo largo de los bordes de las partes conectadas, se debe tomar como:

- Para material de espesor menor que **6 mm**: el espesor del material conectado, y
- Para material de espesor mayor o igual que **6 mm**: **1,6 mm** menos que el espesor del material, a menos que en el pliego de especificaciones técnicas se especifique que la soldadura se debe ejecutar de manera que se obtenga el espesor total de la garganta.

El tamaño mínimo de una soldadura de filete se debe tomar como se especifica en la Tabla 6.13.3.4-1. No es necesario que el tamaño de la soldadura sea mayor que el espesor de la pieza conectada de menor espesor. El Ingeniero puede autorizar soldaduras de filete de menor tamaño con base en el esfuerzo aplicado y el uso de un precalentamiento adecuado.

Tabla 6.13.3.4-1. Tamaño mínimo de las soldaduras de filete

Esesor del metal base de la pieza conectada de mayor espesor (T) [mm]	Tamaño mínimo de la soldadura de filete [mm]
$T \leq 19$	6
$19 < T$	8

6.13.3.5. Longitud efectiva mínima de las soldaduras de filete

La longitud efectiva mínima de una soldadura de filete será igual a **4 veces** su tamaño y en ningún caso será menor que **38 mm**.

6.13.3.6. Retorno en los extremos de las soldaduras de filete

Las soldaduras de filete que resisten una fuerza de tracción no paralela al eje de la soldadura o que no estén dimensionadas para resistir esfuerzos repetidos, no deben terminar en las esquinas de las partes o miembros. Si tales retornos se pueden realizar en el mismo plano, los mismos se deben doblar alrededor de la esquina de forma continua, en tamaño completo, en una longitud igual a **dos veces** el tamaño de la soldadura. Los retornos en los extremos deben estar indicados en el pliego de especificaciones técnicas.

Las soldaduras de filete depositadas en los lados opuestos de un plano de contacto común entre dos partes se deberán interrumpir en las esquinas comunes a ambas soldaduras.

6.13.3.7. Soldaduras de sellado

Las soldaduras de sellado deberían ser soldaduras continuas que combinen las funciones de sellado y resistencia, cambiando su sección solamente según lo requiera la resistencia o los requisitos de tamaño mínimo de las soldaduras de filete.

6.13.4. Resistencia a la rotura del bloque de corte

Las conexiones del alma de las vigas recortadas y todas las conexiones sujetas a tracción, incluyendo las chapas de unión, las chapas de empalme y de nudo, se deben analizar para garantizar que se proporcione un adecuado material de conexión para desarrollar la resistencia minorada de la conexión.

La conexión se debe analizar considerando todos los posibles planos de falla en el miembro y en las chapas de conexión. Dichos planos deben incluir tanto los paralelos como los perpendiculares a las fuerzas aplicadas.

Se debe considerar que los planos paralelos a la fuerza aplicada resistan solamente los esfuerzos de corte. Se debe considerar que los planos perpendiculares a la fuerza aplicada resistan solamente los esfuerzos de tracción.

La resistencia minorada, de la combinación de planos paralelos y perpendiculares, se debe tomar como:

$$R_r = \phi_{bs} R_p (0,58 F_u A_{vn} + U_{bs} F_u A_{tn}) \leq \phi_{bs} R_p (0,58 F_y A_{vg} + U_{bs} F_u A_{tn}) \quad (6.13.4-1)$$

donde:

R_p = factor de reducción para orificios, igual a **0,90** para agujeros de bulón punzonados completamente e igual a **1,0** para agujeros de bulón taladrados completamente o subpunzonados y fresados hasta alcanzar el tamaño total.

A_{vg} = área bruta a lo largo del plano que resiste el esfuerzo de corte, en mm².

A_{vn} = área neta a lo largo del plano que resiste el esfuerzo de corte, en mm².

U_{bs} = factor de reducción de resistencia a la rotura del bloque de corte tomado igual a **0,50** cuando la tensión de tracción no es uniforme, y **1,0** cuando la tensión de tracción es uniforme.

A_{tn} = área neta a lo largo del plano que resiste el esfuerzo de tracción, en mm².

F_y = tensión de fluencia mínima especificada del material conectado, en MPa.

F_u = resistencia mínima especificada a la tracción del material conectado, especificada en la Tabla 6.4.1-1, en MPa.

ϕ_{bs} = factor de resistencia para el bloque de corte, especificado en el artículo 6.5.4.2.

El área bruta se deberá determinar como la longitud del plano multiplicada por el espesor del componente. El área neta será igual al área bruta menos el número de orificios en el plano, enteros o fraccionados, multiplicado por el diámetro nominal del agujero, especificado en la Tabla 6.13.2.4.2-1, y por el espesor del componente.

Para determinar la sección neta de los cortes, que soportan esfuerzos de tracción, se deberá tener en cuenta el efecto de los agujeros alternados adyacentes a dichos cortes de acuerdo con el artículo 6.8.3. Para las secciones netas que soportan esfuerzos de corte, se deberá deducir el diámetro efectivo total de los agujeros centrados dentro de **dos diámetros** del corte. Se podrá ignorar el efecto de los agujeros más alejados.

6.13.5. Elementos de conexión

6.13.5.1. Requisitos generales

Este artículo se aplicará al diseño de los elementos de conexión tales como chapas de empalme, chapas de nudo, ángulos de esquina, ménsulas, y chapas de conexión lateral sujetas a tracción o corte, según corresponda.

6.13.5.2. Tracción

La resistencia minorada a tracción, R_r , se debe tomar como el menor valor entre los obtenidos por las Ecuaciones 6.8.2.1-1 y 6.8.2.1-2 para fluencia y fractura, respectivamente, y el valor de la resistencia a la rotura del bloque de corte especificada en el artículo 6.13.4.

Al determinar P_{nu} , tal como se especifica en la Ecuación 6.8.2.1-2, para las chapas de conexión lateral, chapas de empalme, y chapas de nudo, el factor de reducción, U , especificado en el artículo 6.8.2.2, se deberá tomar igual a **1,0**, y el área neta de la chapa, A_n , utilizada en la Ecuación 6.8.2.1-2, no se deberá tomar mayor que el **85 por ciento** del área bruta de la chapa.

6.13.5.3. Corte

La resistencia minorada al corte de los elementos de conexión, R_r , se debe tomar como el menor valor entre la fluencia por corte y la rotura por corte.

Para la fluencia por corte, la resistencia minorada al corte del elemento de conexión se debe tomar como:

$$R_r = 0,58 \phi_v F_y A_{vg} \quad (6.13.5.3-1)$$

donde:

A_{vg} = área bruta del elemento de conexión sujeto a corte, en mm².

F_y = tensión de fluencia mínima especificada del elemento de conexión, en MPa.

ϕ_v = factor de resistencia al corte, especificado en el artículo 6.5.4.2.

Para la rotura por corte, la resistencia minorada al corte del elemento de conexión, R_r , se debe tomar como:

$$R_r = 0,58 \phi_{vu} R_p F_u A_{vn} \quad (6.13.5.3-2)$$

donde:

A_{vn} = área neta del elemento de conexión sujeto a corte, en mm^2 .

F_u = resistencia a la tracción del elemento de conexión, en MPa.

R_p = factor de reducción para orificios, igual a **0,90** para agujeros de bulón punzonados completamente y **1,0** para agujeros de bulón taladrados completamente o subpunzonado y luego fresados hasta alcanzar el tamaño total.

ϕ_{vu} = factor de resistencia a la rotura por corte de los elementos de conexión, especificado en el artículo 6.5.4.2

6.13.6. Empalmes

6.13.6.1. Empalmes abulonados

6.13.6.1.1. Requisitos generales

Los empalmes abulonados se deben diseñar en el estado límite de resistencia para satisfacer los requisitos especificados en el artículo 6.13.1. Si en un empalme hay un cambio de sección, se deberá utilizar en el diseño la más pequeña de las dos secciones conectadas.

6.13.6.1.2. Miembros en tracción

Los empalmes para miembros sujetos a tracción deben satisfacer los requisitos especificados en el artículo 6.13.5.2. Los empalmes para miembros en tracción se deberán diseñar utilizando conexiones de deslizamiento crítico, tal como se especifica en el artículo 6.13.2.1.1.

6.13.6.1.3. Miembros en compresión

Los empalmes para miembros sujetos a compresión, detallados con extremos fresados, apoyados en contacto total en los empalmes y para los cuales el pliego de especificaciones técnicas especifica la inspección durante la fabricación y el montaje, se deben dimensionar como mínimo para el **50 por ciento** de la menor de las resistencias minoradas de las secciones empalmadas.

Los empalmes en los cordones de reticulado, miembros de arco, y columnas se deben ubicar tan cerca de los puntos del panel como sea posible y en general del lado donde se genera el menor efecto de fuerza. La disposición de las chapas, perfiles ángulos, u otros elementos de empalme, debe ser tal que se consideren adecuadamente todas los efectos de fuerza en las partes que componen los miembros empalmados.

6.13.6.1.4. Miembros solicitados a flexión

6.13.6.1.4a. Requisitos generales

En tramos continuos, los empalmes se deben realizar en o cerca de los puntos de inflexión bajo carga permanente. Los empalmes de alma y ala, en áreas sujetas a inversión de esfuerzos, se deben analizar tanto para flexión positiva como para negativa.

Tanto en los empalmes del alma como en los del ala, debe haber como mínimo dos filas de bulones a cada lado de la junta. En los empalmes abulonados no se deben utilizar agujeros de gran tamaño ni ranurados, ni en el miembro ni en las chapas de empalme.

Los empalmes abulonados para miembros solicitados a flexión se deben diseñar utilizando conexiones de deslizamiento crítico, tal como se especifica en el artículo 6.13.2.1.1. Las conexiones también se deben dimensionar para prevenir el deslizamiento durante el montaje del acero y durante el hormigonado del tablero de hormigón.

Para las alas en el punto de empalme, la resistencia minorada a la flexión en el estado límite de resistencia deberá satisfacer los requisitos aplicables del artículo 6.10.6.2.

Los esfuerzos de flexión debidos a las cargas mayoradas, en el estado límite de resistencia y para la verificación del deslizamiento de las conexiones abulonadas en el punto de empalme, se deben determinar utilizando las propiedades de la sección bruta.

Los empalmes de ala abulonadas con perfiles ángulo deben utilizar dos perfiles ángulo, uno a cada lado del miembro solicitado a flexión.

6.13.6.1.4b. Empalmes en el alma

Las chapas de empalme del alma y sus conexiones se deben diseñar para el corte, el momento debido a la excentricidad del corte en el punto de empalme y la parte del momento flexor que se supone resiste el alma en el punto de empalme. Para todas las secciones tipo cajón simple, secciones curvadas horizontalmente, y secciones tipo cajón múltiple en puentes que no satisfacen los requisitos del artículo 6.11.2.3, o con alas de la sección cajón que no son totalmente efectivas de acuerdo con los requisitos del artículo 6.11.1.1, el corte se debe tomar como la sumatoria del corte por flexión más el corte por torsión de St. Venant en el alma sujeta a los cortes aditivos. Para los cajones con almas inclinadas, los empalmes en el alma se deben diseñar para el componente del corte vertical en el plano del alma.

Como mínimo, en el estado límite de resistencia, el corte de diseño, V_{uw} , se debe tomar como sigue:

- Si $V_u < 0,5 \phi_v V_n$, entonces:

$$V_{uw} = 1,5 V_u \quad (6.13.6.1.4b-1)$$

- En caso contrario:

$$V_{uw} = \frac{(V_u + \phi_v V_n)}{2} \quad (6.13.6.1.4b-2)$$

donde:

ϕ_v = factor de resistencia al corte, especificado en el artículo 6.5.4.2.

V_u = corte debido a las cargas mayoradas en el punto de empalme, en N.

V_n = resistencia nominal al corte determinada tal como se especifica en los artículos 6.10.9.2 y 6.10.9.3 para almas no rigidizadas y almas rigidizadas, respectivamente, en N.

El corte de diseño en el estado límite de resistencia no deberá ser mayor que el menor valor entre la resistencia minorada al corte de las chapas de empalme del alma especificada en el artículo 6.13.4 y aquella especificada en el Artículo 6.13.5.3.

La excentricidad del corte de diseño se debe tomar como la distancia entre la línea media del empalme y el baricentro de la conexión del lado de la junta en consideración.

En el estado límite de resistencia, el esfuerzo combinado por flexión y fuerza axial, en las chapas de empalme del alma, no deberá ser mayor que la tensión de fluencia mínima especificada de las chapas de empalme multiplicada por el factor de resistencia, ϕ_f , especificado en el artículo 6.5.4.2.

Las conexiones abulonadas, para los empalmes en el alma, se deben diseñar como conexiones de deslizamiento crítico para la máxima fuerza de diseño resultante en el bulón. Como mínimo, para verificar el deslizamiento de los bulones de un empalme en el alma, el corte de diseño se deberá tomar como el corte en el punto de empalme bajo la combinación de cargas correspondiente al estado límite de servicio II, tal como se especifica en la Tabla 3.4.1-1.

Las almas se deben empalmar simétricamente colocando las chapas a cada lado. Las chapas de empalme se deberán extender tanto como sea posible sobre la distancia total entre las alas.

6.13.6.1.4c. Empalmes en las alas

En el estado límite de resistencia, las chapas de empalme y sus conexiones en el ala que controla se deberán dimensionar de manera que proporcionen una resistencia mínima tomada como el esfuerzo de diseño, F_{cf} , multiplicado por la menor área efectiva del ala, A_e , en cualquiera de los lados del empalme, donde F_{cf} se define como:

$$F_{cf} = \frac{\left(\left| \frac{f_{cf}}{R_h} \right| + \alpha \phi_f F_{yf} \right)}{2} \geq 0,75 \alpha \phi_f F_{yf} \quad (6.13.6.1.4c-1)$$

en el cual:

A_e = área efectiva del ala, en mm². Para las alas sujetas a compresión, A_e se debe tomar como el área bruta del ala. Para las alas sujetas a tracción, A_e se debe tomar como:

$$A_e = \left(\frac{\phi_u F_u}{\phi_y F_{yf}} \right) A_n \leq A_g \quad (6.13.6.1.4c-2)$$

donde:

f_{cf} = máximo esfuerzo de flexión, debido a las cargas mayoradas, en la mitad del espesor del ala que controla en el punto de empalme, en MPa.

R_h = factor de hibridez especificado en el artículo 6.10.1.10.1. Para las secciones híbridas en el cual F_{cf} no es mayor que la tensión de fluencia mínima especificada del alma, el factor de hibridez se debe tomar igual a **1,0**.

α = **1,0**, excepto que para las alas, donde F_n es menor que F_{yf} , se puede utilizar un valor menor igual a (F_n/F_{yf}) .

ϕ_f = factor de resistencia a la flexión, especificado en el artículo 6.5.4.2.

F_n = resistencia nominal a la flexión del ala, en MPa.

F_{yf} = tensión de fluencia mínima especificada del ala, en MPa.

ϕ_u = factor de resistencia a la fractura de miembros sujetos a tracción, tal como se especifica en el artículo 6.5.4.2.

ϕ_y = factor de resistencia a la fluencia de miembros sujetos a tracción, tal como se especifica en el artículo 6.5.4.2.

A_n = área neta del ala sujeta a tracción, determinada como se especifica en el artículo 6.8.3, en mm².

A_g = área bruta del ala sujeta a tracción, en mm².

F_u = resistencia mínima especificada a la tracción del ala sujeta a tracción, determinada como se especifica en la Tabla 6.4.1-1, en MPa.

F_{yf} = tensión de fluencia mínima especificada del ala sujeta a tracción, en MPa.

Las chapas de empalme y sus conexiones en el ala que no controla, en el estado límite de resistencia, se deberán dimensionar de manera que proporcionen una resistencia mínima tomada como el esfuerzo de diseño, F_{ncf} , multiplicado por la menor área efectiva del ala, A_e , en cualquiera de los lados del empalme, donde F_{ncf} se define como:

$$F_{ncf} = R_{cf} \left| \frac{f_{ncf}}{R_h} \right| \geq 0,75 \alpha \phi_f F_{yf} \quad (6.13.6.1.4c-3)$$

donde:

R_{cf} = valor absoluto de la relación entre F_{cf} y f_{cf} para el ala que controla.

f_{ncf} = esfuerzo de flexión debido a las cargas mayoradas en la mitad del espesor del ala que no controla en el punto de empalme concurrente con f_{cf} , en MPa.

R_h = factor de hibridez especificado en el artículo 6.10.1.10.1. Para las secciones híbridas en las cuales F_{cf} no es mayor que la tensión de fluencia mínima especificada del alma, el factor de hibridez se debe tomar igual a **1,0**.

En el estado límite de resistencia, la fuerza de diseño en las chapas de empalme sujetas a tracción no deberá ser mayor que la resistencia minorada a tracción especificada en el artículo 6.13.5.2. La fuerza de diseño en las chapas de empalme sujetas a compresión no deberá ser mayor que la resistencia minorada a compresión, R_r , tomada como:

$$R_r = \phi_c F_y A_s \quad (6.13.6.1.4c-4)$$

donde:

ϕ_c = factor de resistencia para compresión, tal como se especifica en el artículo 6.5.4.2.

F_y = tensión de fluencia mínima especificada de la chapa de empalme, en MPa.

A_s = área bruta de la chapa de empalme, en mm².

Las conexiones abulonadas, para los empalmes en las alas, se deben diseñar como conexiones de deslizamiento crítico para la fuerza de diseño del ala. Como mínimo, para verificar el deslizamiento de los bulones utilizados en los empalmes de las alas, la fuerza de diseño para el ala considerada se deberá tomar como el esfuerzo de diseño correspondiente al estado límite de servicio II, F_s , multiplicado por la menor área bruta del ala a cada lado del empalme, donde F_s se toma como:

$$F_s = \frac{f_s}{R_h} \quad (6.13.6.1.4c-5)$$

donde:

f_s = máximo esfuerzo de flexión debido a la combinación de cargas correspondiente al estado límite de servicio II, en la mitad del espesor del ala considerada, para la menor sección en el punto de empalme, en MPa.

R_h = factor de hibridez especificado en el artículo 6.10.1.10.1. Para las secciones híbridas en las cuales f_s en el ala, con el mayor esfuerzo, no es mayor que la tensión de fluencia mínima especificada del alma, el factor de hibridez se debe tomar igual a **1,0**.

Si se requieren chapas de relleno, se deberán aplicar los requisitos del artículo 6.13.6.1.5.

Al verificar el deslizamiento y fatiga de los empalmes abulonados en las alas para todos los puentes de secciones tipo cajón simple, secciones curvadas horizontalmente, y secciones tipo cajón múltiple en puentes que no satisfacen los requisitos del artículo 6.11.2.3, o con alas del cajón que no son totalmente efectivas de acuerdo con los

requisitos del artículo 6.11.1.1, se deberán considerar las tensiones de alabeo longitudinal debidos a la distorsión de la sección transversal.

En el estado límite de resistencia se pueden ignorar las tensiones de alabeo longitudinal. En el diseño de empalmes abulonados en las alas de las secciones tipo cajón, se debe considerar el corte por torsión de St. Venant en todos los estados límite.

Cuando corresponda, se deben considerar los efectos de la flexión lateral, en las alas superiores de las secciones tipo omega invertida con arriostramiento discreto y en las alas de las secciones I con arriostramiento discreto, al diseñar los empalmes abulonados en las alas.

6.13.6.1.5. Chapas de relleno

Cuando los bulones que soportan cargas atraviesan chapas de relleno de un espesor mayor o igual que **6,0 mm** en conexiones cargada axialmente, incluyendo los empalmes en el ala de la viga primaria, ya sea:

- Las chapas de relleno se deberán prolongar más allá del material de nudo o de empalme, y dicha extensión se deberá garantizar utilizando una suficiente cantidad adicional de bulones para distribuir uniformemente el esfuerzo total en el miembro sobre la sección combinada del miembro y la chapa de relleno, o bien
- Como alternativa, se puede omitir la prolongación y el desarrollo de las chapas de relleno siempre que la resistencia minorada al corte de los bulones en el estado límite de resistencia, especificada en el artículo 6.13.2.2, se reduzca por el siguiente factor:

$$R = \left[\frac{(1 + \gamma)}{(1 + 2 \gamma)} \right] \quad (6.13.6.1.5-1)$$

donde:

$$\gamma = A_f / A_p$$

A_f = suma de las áreas de las chapas de relleno en la parte superior e inferior de la chapa conectada, en mm².

A_p = menor valor entre el área de la chapa conectada y la suma de las áreas de las chapas de empalme en la parte superior e inferior de la chapa conectada, en mm².

Para las conexiones de deslizamiento crítico, la resistencia minorada al deslizamiento de un bulón, especificada en el artículo 6.13.2.2, no se deberá ajustar por el efecto de las chapas de relleno.

A menos que el Ingeniero apruebe una configuración diferente, las chapas de relleno, de espesor mayor o igual que **6,0 mm**, no deben constar en más de dos chapas.

Para los empalmes abulonados en el alma en los cuales la diferencia de espesor es de **1,6 mm** o menos, no se requieren chapas de relleno.

La tensión de fluencia mínima especificada de las chapas de relleno, de un espesor mayor o igual que **6,0 mm**, no debería ser menor que el mayor valor entre el **70 por ciento** de la tensión de fluencia mínima especificada de la chapa conectada y **250 MPa**.

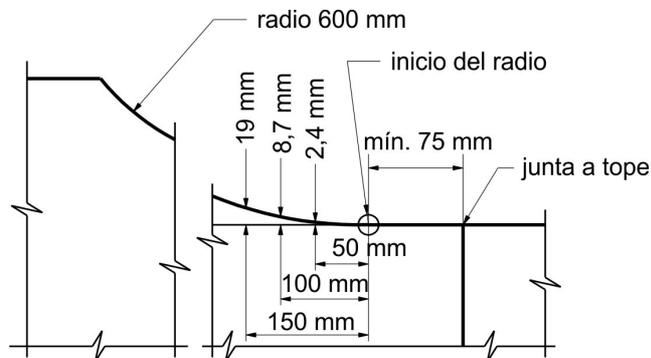
6.13.6.2. Empalmes soldados

El diseño y los detalles de los empalmes soldados deben satisfacer los requisitos de la edición más reciente del Código de Soldadura para Puentes (“Bridge Welding Code”) AASHTO/AWS D1.5M/D1.5, hasta tanto se desarrolle un documento específico al respecto, y las siguientes disposiciones aquí especificadas.

Los empalmes soldados se deben diseñar para resistir el momento, el corte, o la fuerza axial de diseño, especificados en el artículo 6.13.1. Los miembros sujetos a tracción y compresión se pueden empalmar mediante soldaduras a tope de penetración total; se deberían evitar las chapas de empalme.

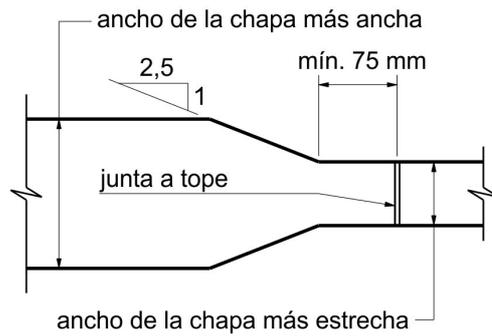
Los empalmes soldados en obra se recomienda disponerlos de manera de minimizar la soldadura sobre cabeza.

Los materiales de diferentes anchos empalmados mediante soldaduras a tope deben tener transiciones simétricas de acuerdo con la Figura 6.13.6.2-1. El tipo de transición seleccionado deberá ser consistente con las categorías de detalle, de la Tabla 6.6.1.2.3-1, para la conexión de empalme con soldadura acanalada utilizada en el diseño del miembro. El pliego de especificaciones técnicas deberá especificar que los empalmes soldados a tope que unen materiales de diferentes espesores se deberán amolar hasta lograr una pendiente uniforme entre las superficies compensadas, incluyendo la soldadura, de no más de **1 en 2,5**.

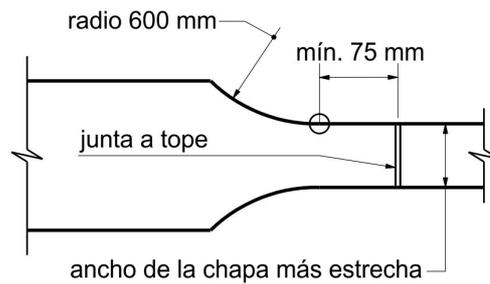


(a) Detalle de transición en el ancho

Figura 6.13.6.2-1. Detalles de los empalmes



(b) Transición lineal



(c) Transición con radio de 600 mm

Figura 6.13.6.2-1 (Cont.). Detalles de los empalmes

6.13.7. Conexiones en pórticos rígidos

6.13.7.1. Requisitos generales

Todas las conexiones en pórticos rígidos se deben diseñar para resistir los momentos, cortes, y fuerzas axiales debidos a las cargas mayoradas en el estado límite de resistencia.

6.13.7.2. Almas

El espesor del alma, de una viga no rigidizada, debe satisfacer:

$$t_w \geq \sqrt{3} \left(\frac{M_c}{\phi_v F_y d_b d_c} \right) \quad (6.13.7.2-1)$$

donde:

F_y = tensión de fluencia mínima especificada del alma, en MPa.

M_c = momento en la columna debido a las cargas mayoradas, en Nmm.

d_b = altura de la viga, en mm.

d_c = altura de la sección transversal de la columna, en mm.

ϕ_v = factor de resistencia al corte, como se especifica en el artículo 6.5.4.2.

Cuando el espesor del alma en la conexión es menor que el valor dado por la Ecuación 6.13.7.2-1, el alma se deberá reforzar utilizando rigidizadores diagonales o una chapa de refuerzo en contacto con el alma sobre el área de conexión.

En las articulaciones donde las alas de un miembro están rígidamente aporticadas dentro del ala de otro miembro, se deben proporcionar rigidizadores en el alma del segundo miembro opuesto al ala sujeta a compresión del primer miembro donde:

$$t_w < \frac{A_f}{t_b + 5k} \quad (6.13.7.2-2)$$

y opuesto al ala sujeta a tracción del primer miembro donde:

$$t_c < 0,4 \sqrt{A_f} \quad (6.13.7.2-3)$$

donde:

t_w = espesor del alma a ser rigidizado, en mm.

k = distancia entre la cara exterior del ala y el talón del filete del alma del miembro a ser rigidizado, en mm.

t_b = espesor del ala que transmite la fuerza concentrada, en mm.

t_c = espesor del ala de la barra a ser rigidizada, en mm.

A_f = área del ala que transmite la carga concentrada, en mm².

6.14. REQUISITOS POR TIPO DE ESTRUCTURA

6.14.1. Puente de vigas con tablero inferior

Cuando las vigas o vigas primarias comprendan los miembros principales de un puente con tablero inferior, tales miembros deben estar rigidizados contra la deformación lateral por medio de chapas de nudo o riostras angulares (acartelado) con almas sólidas conectados a los rigidizadores en los miembros principales y las vigas de piso. El diseño de las chapas de nudo deberá satisfacer los requisitos del artículo 6.14.2.8.

6.14.2. Vigas reticuladas

6.14.2.1. Requisitos generales

En los reticulados que tienen puntales extremos inclinados, las juntas del cordón superior con el poste extremo inclinado deben tener soporte lateral.

La separación, centro a centro, entre los reticulados principales, debe ser de una distancia suficiente para evitar el volcamiento.

Las alturas efectivas del reticulado se supondrán de la siguiente manera:

- La distancia entre los centros de gravedad de los cordones abulonados, y
- La distancia entre los centros de las articulaciones.

6.14.2.2. Miembros del reticulado

Los miembros deben ser simétricos alrededor del plano central del reticulado.

Si la forma del reticulado lo permite, los cordones sujetos a compresión deben ser continuos.

Si los miembros del alma están sujetos a inversión de esfuerzos, sus conexiones extremas no deben ser articuladas.

Se recomienda evitar el uso de diagonales en cruz.

6.14.2.3. Esfuerzos secundarios

El diseño y los detalles deben ser tales que los esfuerzos secundarios sean tan pequeños como sea posible. Se deben considerar los esfuerzos debidos al momento por carga permanente del miembro, así como aquellos generados por la excentricidad de las juntas o líneas de trabajo. En los miembros cuyo ancho, medido paralelo al plano de distorsión, sea menor que *un décimo* de su longitud, no es necesario considerar los esfuerzos secundarios debidos a la distorsión del reticulado o a la flecha de la viga de piso.

6.14.2.4. Diafragmas

En los reticulados se deberán proveer diafragmas de acuerdo con los requisitos especificados en el artículo 6.7.4.4.

6.14.2.5. Contraflecha

La longitud de los miembros del reticulado se deberá ajustar de manera que la contraflecha sea mayor o igual que la flecha generada por la carga permanente.

Para calcular la flecha del reticulado se debe utilizar el área bruta de cada miembro del reticulado. Si se utilizan chapas perforadas, el área efectiva de la chapa perforada será el volumen neto, entre los centros de las perforaciones, dividido por la distancia entre dichos centros de las perforaciones.

Los requisitos de diseño para las chapas perforadas deberán satisfacer los requisitos especificados en los artículos 6.8.5.2 y 6.9.4.3.2.

6.14.2.6. Líneas de trabajo y ejes gravitatorios

Los miembros principales se deben dimensionar de modo que sus ejes gravitatorios estén lo más cerca posible del centro de la sección.

En miembros de secciones asimétricas sujetos a compresión, tales como las secciones del cordón formadas por segmentos laterales y una platabanda, el eje gravitatorio de la sección deberá hasta donde sea posible coincidir con la línea de trabajo, excepto que se pueda introducir una excentricidad para contrarrestar la flexión debida a la carga permanente. En los miembros del cordón inferior o diagonales formados por dos perfiles ángulos, la línea de trabajo se puede tomar como la línea de gramil más próxima a la parte posterior del perfil ángulo o al centro de gravedad para reticulados soldados.

6.14.2.7. Arriostramiento extremo y transversal

6.14.2.7.1. Requisitos generales

Se debe analizar la necesidad de utilizar marcos transversales verticales como arriostramiento transversal en los reticulados.

Será aceptable cualquier análisis estructural consistente, con o sin arriostramiento transversal intermedio, siempre y cuando se satisfagan las condiciones de equilibrio, compatibilidad, y estabilidad para todos los estados límite aplicables.

6.14.2.7.2. Puentes de reticulado con tablero inferior

Los puentes de reticulado con tablero inferior deben tener un arriostramiento extremo o bien se deberá demostrar que la resistencia y la rigidez del sistema de reticulado son adecuadas sin un arriostramiento extremo.

Si se utiliza un arriostramiento extremo, éste debe ser de doble plano o tipo cajón, estar rígidamente conectado al puntal extremo y a las alas del cordón superior, y ser de una altura tan elevada como lo permita el espacio libre. Si se utiliza un extremo de un solo plano, este debe quedar localizado en el plano transversal medio de los puntales extremos, con diafragmas entre las almas de estos puntales para proporcionar una distribución de los esfuerzos del extremo.

El extremo, con o sin arriostramiento, se deberá diseñar para que tome la totalidad de la reacción del sistema lateral del cordón superior, y los puntales extremos se deberán diseñar para transferir esta reacción a los apoyos del reticulado.

6.14.2.7.3. Puentes de reticulado con tablero superior

Los puentes de reticulado con tablero superior deberán tener arriostramiento transversal en el plano de los puntales extremos, o bien se deberá demostrar que la resistencia y la rigidez del sistema de reticulado son adecuadas. Si se utiliza arriostramiento transversal, éste se deberá extender en toda la altura del reticulado por debajo del sistema de piso, y el arriostramiento transversal de extremo se deberá dimensionar para que transmita toda la carga lateral superior a los apoyos a través de los puntales extremos del reticulado.

6.14.2.8. Chapas de nudo

Se deben aplicar los requisitos de los artículos 6.13.4 y 6.13.5, según corresponda.

Para conectar los miembros principales se recomienda utilizar chapas de nudo o de conexión, excepto donde los miembros estén unidos con pernos. En tanto sea posible, los sujetadores que conectan cada miembro deberán ser simétricos respecto al eje del miembro, y se debe considerar el desarrollo completo de los elementos del miembro.

Excepto en el caso de curvas hechas con fines estéticos, se deben evitar, siempre que sea posible, los cortes o esquinas reentrantes.

El esfuerzo máximo, debido a la combinación de cargas de flexión y cargas axiales mayoradas, no deberá ser mayor que $\phi_f F_y$ en base al área bruta.

El esfuerzo máximo de corte en una sección generado por las cargas mayoradas será de $\phi_v F_y / \sqrt{3}$ para corte uniforme y de $0,74 \phi_v F_y / \sqrt{3}$ para corte por flexión calculado como la fuerza de corte mayorada dividida por el área de corte.

Si la longitud del borde no soportado de una chapa de nudo es mayor que $2,06 (E/F_y)^{1/2}$ veces su espesor, dicho borde debe ser rigidizado. Los bordes de las chapas de nudo, ya sean rigidizados o no rigidizados, se deben analizar como secciones de columna ideal.

6.14.2.9. Puentes de reticulado con tablero intermedio

En los puentes de reticulado con tablero intermedio, los miembros verticales del reticulado y las vigas de piso y sus conexiones, se deben dimensionar para resistir una fuerza lateral no menor de **4,40 N/mm** aplicada en los puntos del panel del cordón superior de cada reticulado, considerada como una carga permanente para la combinación de cargas correspondiente al estado límite de resistencia I y mayorada consecuentemente.

El cordón superior se debe considerar como una columna con apoyos laterales elásticos en los puntos del panel.

6.14.2.10. Resistencia minorada

La resistencia minorada, de los miembros sujetos a tracción, debe satisfacer los requisitos especificados en el artículo 6.8.2.

La resistencia minorada, de los miembros sujetos a compresión, debe satisfacer los requisitos especificados en el artículo 6.9.2.

La resistencia nominal a la flexión de los miembros cuya resistencia minorada es controlada por las ecuaciones de interacción, especificadas en los artículos 6.8.2.3 o 6.9.2.2, se debe evaluar tal como se especifica en el artículo 6.12.

6.14.3. Superestructuras con tableros ortótropos

6.14.3.1. Requisitos generales

Los requisitos de este artículo se deben aplicar al diseño de puentes de acero que utilizan como tablero una chapa de acero rigidizada.

Un tablero ortótropo se debe considerar como parte integral de la superestructura del puente y debe participar en resistir las solicitaciones globales que actúan sobre el puente. Las conexiones entre el tablero y los miembros estructurales principales se deben diseñar para los efectos de interacción especificados en el artículo 9.4.1.

Al analizar el tablero ortótropo se deben considerar los efectos combinados de las fuerzas globales y locales. Al analizar la chapa del tablero y las vigas primarias de los puentes viga tipo cajón con tablero ortótropo se deben considerar los efectos de las distorsiones, en la sección transversal del perfil, debidas a la torsión.

6.14.3.2. Tableros sujetos a compresión global

6.14.3.2.1. Requisitos generales

Los siguientes comportamientos potenciales, relacionados con la estabilidad, deberán ser evaluados en la placa ortótropa: pandeo local de la chapa del tablero entre nervaduras, pandeo local del espesor de la nervadura, y pandeo del panel ortótropo entre las vigas de piso.

6.14.3.2.2. Pandeo local

Para el pandeo local, se deberá considerar la esbeltez de cada componente en la nervadura: la relación entre la separación de las nervaduras y el espesor del tablero, la relación entre la distancia de las nervaduras de cierre y el espesor del tablero (para nervaduras cerradas), y la relación entre la altura de la nervadura y el espesor de la misma. El ancho efectivo de cada componente se debe determinar de acuerdo con el artículo 6.9.4.2.

6.14.3.2.3. Pandeo del panel

Para el análisis, cada panel entre las vigas de piso se puede simplificar como una riostra aislada compuesta por la nervadura y el ancho efectivo del tablero especificados en la Figura 6.14.3.2.3-1.

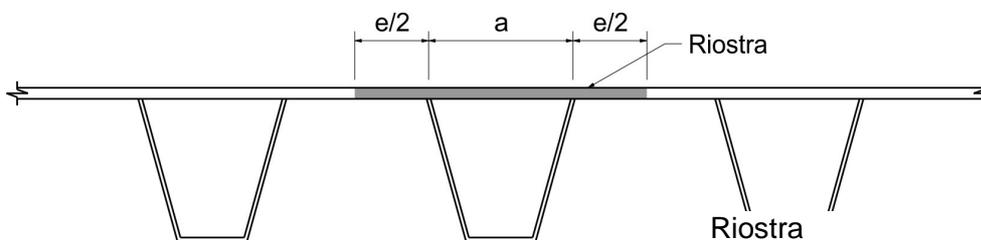


Figura 6.14.3.2.3-1. Riostra idealizada para la evaluación de la resistencia a la compresión

donde:

- a** = ancho de la nervadura cerrada, medido a nivel de la placa del tablero entre los puntos medios de los espesores de las caras de la nervadura, en mm.
- e** = distancia libre entre las nervaduras adyacentes, medida entre los puntos medios de los espesores de las caras de la nervadura, en mm.

El esfuerzo de pandeo crítico de la riostra se debe determinar de acuerdo con el artículo 6.9.4 o mediante métodos de análisis refinados tal como se define en el artículo 4.6.3.2.3.

6.14.3.3. Ancho efectivo del tablero

Se deben aplicar los requisitos del artículo 4.6.2.6.4.

6.14.3.4. Superposición de efectos globales y locales

Al calcular las solicitaciones extremas en el tablero, se deben superponer los efectos globales y locales. Estas solicitaciones combinadas se deben calcular para la misma configuración y posición de la sobrecarga.

6.14.4. Arcos de alma llena

6.14.4.1. Amplificación de momentos para considerar las deflexiones

Para la amplificación de los momentos, se deben satisfacer los requisitos especificados en el artículo 4.5.3.2.2c.

6.14.4.2. Esbeltez de las almas

La esbeltez de las almas, de las nervaduras de los arcos, debe satisfacer:

$$\frac{D}{t_w} \leq k \sqrt{\frac{E}{f_a}} \quad (6.14.4.2-1)$$

donde:

f_a = esfuerzo axial debido a las cargas mayoradas, en MPa.

k = factor de estabilidad de la chapa, especificado en la Tabla 6.14.4.2-1.

Tabla 6.14.4.2-1. Esbeltez de la placa de los arcos

Condición	k	I_s
Sin rigidizador longitudinal	1,25	---
Un rigidizador longitudinal	1,88	$I_s = 0,75 D t_w^3$
Dos rigidizadores longitudinales	2,51	$I_s = 2,20 D t_w^3$

El momento de inercia de los rigidizadores, respecto a un eje paralelo al alma en la base del rigidizador, no deberá ser menor que el especificado en la Tabla 6.14.4.2-1.

La relación entre el ancho y el espesor, de los rigidizadores, deberá satisfacer:

$$\frac{b}{t_s} \leq 0,408 \sqrt{\frac{E}{f_a + \frac{f_b}{3}}} \leq 12 \quad (6.14.4.2-2)$$

donde:

f_b = máximo esfuerzo debido a las cargas mayoradas, incluyendo la amplificación del momento, en MPa.

6.14.4.3. Estabilidad de las alas

La relación entre el ancho y el espesor, de las alas, deberá satisfacer:

- Para el ancho entre las almas:

$$\frac{b}{t} \leq 1,06 \sqrt{\frac{E}{f_a + f_b}} \quad (6.14.4.3-1)$$

- Para el ancho en voladizos:

$$\frac{b}{t} \leq 0,408 \sqrt{\frac{E}{f_a + f_b}} \leq 12 \quad (6.14.4.3-2)$$

6.15. PILOTES

6.15.1. Requisitos generales

Los pilotes se deben diseñar como miembros estructurales capaces de soportar todas las cargas impuestas de forma segura.

En el caso de un grupo de pilotes compuesto exclusivamente de pilotes verticales, que están sujetos a carga lateral, el análisis estructural del pilote debe incluir una consideración explícita de los efectos de interacción suelo-estructura, tal como se especifica en el artículo 10.7.3.9.

6.15.2. Resistencia estructural

Los factores de resistencia, ϕ_c y ϕ_r , para el estado límite de resistencia se deberán tomar como se especifica en el artículo 6.5.4.2. Los factores de resistencia para la resistencia axial de los pilotes en compresión que están sujetos a daños por el hincado, se deben aplicar solamente a la sección del pilote con posibilidades de sufrir daños. Por lo tanto, los factores ϕ_c especificados para la resistencia axial de **0,50** a **0,70** para pilotes en compresión sin flexión se deben aplicar solo a la capacidad axial del pilote. Los factores ϕ_c iguales a **0,70** y **0,80** y el factor ϕ_r igual a **1,00** se deben aplicar a la resistencia del pilote a carga axial y de flexión combinadas, en la ecuación de interacción para los términos de compresión y flexión, respectivamente.

6.15.3. Resistencia a la compresión

6.15.3.1. Compresión axial

Para los pilotes bajo carga axial, la resistencia minorada de los pilotes en compresión, P_r , se debe tomar como se especifica en el artículo 6.9.2.1 utilizando el factor de resistencia, ϕ_c , especificado en el artículo 6.5.4.2.

6.15.3.2. Compresión axial y flexión combinadas

Los pilotes sujetos a carga axial y flexión, se deberán diseñar de acuerdo con el artículo 6.9.2.2 utilizando los factores de resistencia, ϕ_c y ϕ_f , especificados en el artículo 6.5.4.2.

6.15.3.3. Pandeo

La inestabilidad de los pilotes, que se extienden a través del agua o del aire, se deberá considerar como se especifica en el artículo 6.9. Los pilotes que se extienden a través del agua o del aire se deberán suponer empotrados a una cierta profundidad por debajo de la superficie del terreno. La estabilidad se debe determinar de acuerdo con los requisitos del artículo 6.9 para miembros sujetos a compresión, utilizando una longitud equivalente del pilote igual a la longitud no soportada lateralmente, más una profundidad embebida hasta el empotramiento. La profundidad hasta el empotramiento se debe determinar de acuerdo con el artículo 10.7.3.13.4 para el caso de pilotes inclinados o mediante un análisis $P-\Delta$ para el caso de pilotes verticales.

6.15.4. Esfuerzos máximos admisibles de hincado

Los esfuerzos máximos admisibles de hincado para los pilotes hincados de acero se deberán tomar como se especifica en el artículo 10.7.8.

6.16. REQUISITOS PARA EL DISEÑO SÍSMICO

Hasta tanto esté redactado el **Reglamento INPRES-CIRSOC 103 - Reglamento Argentino para Construcciones Sismorresistentes - Parte VII - Puentes de Acero** - se podrán utilizar como referencia los Reglamentos INPRES-CIRSOC 103 – Parte I - Construcciones en General, Parte IV – Construcciones de Acero, y Parte VI - Soldadura de Estructuras de Acero.

APÉNDICE A6. RESISTENCIA A LA FLEXIÓN EN PUENTES RECTOS DE SECCIONES I COMPUESTAS EN FLEXIÓN NEGATIVA Y SECCIONES I NO COMPUESTAS, CON ALMAS COMPACTAS O NO COMPACTAS

A6.1. REQUISITOS GENERALES

Estos requisitos se deben aplicar solamente a secciones en puentes rectos cuyos apoyos sean normales u oblicuos en no más de **20 grados** de la normal, y con diafragmas o marcos transversales intermedios colocados en líneas contiguas paralelas a los apoyos, que satisfagan las siguientes condiciones:

- Las tensiones de fluencia mínima especificada de las alas y del alma no sean mayores que **485 MPa**,
- El alma satisface el límite de esbeltez correspondiente a sección no compacta:

$$\frac{2 D_c}{t_w} < 5,7 \sqrt{\frac{E}{F_{yc}}} \quad (\text{A6.1-1})$$

y:

- Las alas satisfacen la siguiente relación:

$$\frac{I_{yc}}{I_{yt}} \geq 0,3 \quad (\text{A6.1-2})$$

donde:

D_c = altura del alma comprimida en el rango elástico, en mm. Para secciones compuestas, D_c se debe determinar tal como se especifica en el artículo D6.3.1.

I_{yc} = momento de inercia del ala sujeta a compresión de una sección de acero respecto del eje vertical en el plano del alma, en mm^4 .

I_{yt} = momento de inercia del ala sujeta a tracción de una sección de acero respecto del eje vertical en el plano del alma, en mm^4 .

En caso contrario, la sección se deberá dimensionar de acuerdo con los requisitos especificados en el artículo 6.10.8.

Las secciones diseñadas de acuerdo con estos requisitos deberán ser calificadas ya sea como secciones de alma compacta o no compacta determinadas tal como se especifica en el artículo A6.2.

A6.1.1. Secciones de las alas sujetas a compresión con arriostramiento discreto

En el estado límite de resistencia, se deberá satisfacer el siguiente requisito:

$$M_u + \frac{1}{3} f_\ell S_{xc} \leq \phi_f M_{nc} \quad (\text{A6.1.1-1})$$

donde:

ϕ_f = factor de resistencia a la flexión especificado en el artículo 6.5.4.2.

f_ℓ = esfuerzo de flexión lateral del ala determinado como se especifica en el artículo 6.10.1.6, en MPa.

M_{nc} = resistencia nominal a la flexión, con base en el ala sujeta a compresión, determinada como se especifica en el artículo A6.3, en Nmm.

M_u = momento flexor respecto al eje fuerte de la sección transversal, determinado como se especifica en el artículo 6.10.1.6, en Nmm.

M_{yc} = momento de fluencia con respecto al ala sujeta a compresión, determinado como se especifica en el artículo D6.2, en Nmm.

S_{xc} = módulo elástico de la sección, respecto al eje fuerte de la sección, al ala comprimida, tomado como M_{yc}/F_{yc} , en mm³.

A6.1.2. Secciones de las alas sujetas a tracción con arriostramiento discreto

En el estado límite de resistencia, se deberá satisfacer el siguiente requisito:

$$M_u + \frac{1}{3} f_\ell S_{xt} \leq \phi_f M_{nt} \quad (\text{A6.1.2-1})$$

donde:

M_{nt} = resistencia nominal a la flexión, con base en la fluencia a tracción, determinada como se especifica en el artículo A6.4, en Nmm.

M_{yt} = momento de fluencia respecto al ala sujeta a tracción, determinado como se especifica en el artículo D6.2, en Nmm.

S_{xt} = módulo elástico de la sección, respecto al eje fuerte de la sección, al ala traccionada, tomado como M_{yt}/F_{yt} , en mm³.

A6.1.3. Secciones de las alas sujetas a compresión con arriostramiento continuo

En el estado límite de resistencia, se deberá satisfacer el siguiente requisito:

$$M_u \leq \phi_f R_{pc} M_{yc} \quad (\text{A6.1.3-1})$$

donde:

M_{yc} = momento de fluencia respecto al ala sujeta a compresión, determinado como se especifica en el artículo D6.2, en Nmm.

R_{pc} = factor de plastificación del alma por el ala sujeta a compresión, determinado como se especifica en el artículo A6.2.1 o A6.2.2, según corresponda.

A6.1.4. Secciones de las alas sujetas a tracción con arriostamiento continuo

En el estado límite de resistencia, se deberá satisfacer el siguiente requisito:

$$M_u \leq \phi_f R_{pt} M_{yt} \quad (\text{A6.1.4-1})$$

M_{yt} = momento de fluencia respecto al ala sujeta a tracción, determinado como se especifica en el artículo D6.2, en Nmm.

R_{pt} = factor de plastificación del alma por el ala sujeta a tracción, determinado como se especifica en el artículo A6.2.1 o A6.2.2, según corresponda.

A6.2. FACTORES DE PLASTIFICACIÓN DEL ALMA

A6.2.1. Secciones de alma compacta

Las secciones que satisfacen el siguiente requisito deberán ser clasificadas como secciones de alma compacta:

$$\frac{2 D_{cp}}{t_w} \leq \lambda_{pw(D_{cp})} \quad (\text{A6.2.1-1})$$

donde:

$\lambda_{pw(D_{cp})}$ = relación de esbeltez límite para un alma compacta, correspondiente a $2 \cdot D_{cp} / t_w$

$$\lambda_{pw(D_{cp})} = \frac{\sqrt{\frac{E}{F_{yc}}}}{\left(0,54 \frac{M_p}{R_h M_y} - 0,09\right)^2} \leq \lambda_{rw} \left(\frac{D_{cp}}{D_c}\right) \quad (\text{A6.2.1-2})$$

λ_{rw} = relación de esbeltez límite para un alma no compacta

$$\lambda_{rw} = 5,7 \sqrt{\frac{E}{F_{yc}}} \quad (\text{A6.2.1-3})$$

donde:

D_c = altura del alma comprimida en el rango elástico, en mm. Para secciones compuestas, D_c se debe determinar tal como se especifica en el artículo D6.3.1.

D_{cp} = altura del alma comprimida cuando se produce el momento plástico, determinada como se especifica en el artículo D6.3.2, en mm.

M_y = momento de fluencia tomado como el menor valor entre M_{yc} y M_{yt} , determinado como se especifica en el artículo D6.2, en Nmm.

R_h = factor de hibridez determinado como se especifica en el artículo 6.10.1.10.1.

Los factores de plastificación del alma se deberán tomar como:

$$R_{pc} = \frac{M_p}{M_{yc}} \quad (\text{A6.2.1-4})$$

$$R_{pt} = \frac{M_p}{M_{yt}} \quad (\text{A6.2.1-5})$$

donde:

M_p = momento plástico determinado como se especifica en el artículo D6.1, en Nmm.

M_{yc} = momento de fluencia con respecto al ala comprimida, determinado como se especifica en el artículo D6.2, en Nmm.

M_{yt} = momento de fluencia con respecto al ala traccionada, determinado como se especifica en el artículo D6.2, en Nmm.

R_{pc} = factor de plastificación del alma por el ala sujeta a compresión.

R_{pt} = factor de plastificación del alma por la fluencia del ala sujeta a tracción.

A6.2.2. Secciones de alma no compacta

Las secciones que no satisfacen el requisito de la Ecuación A6.2.1-1, salvo por el cual el alma tiene una esbeltez que satisface el siguiente requisito:

$$\lambda_w < \lambda_{rw} \quad (\text{A6.2.2-1})$$

deberán ser calificadas como secciones de alma no compacta, donde:

λ_w = relación de esbeltez para el alma con base en el momento elástico.

$$\lambda_w = \frac{2 D_c}{t_w} \quad (\text{A6.2.2-2})$$

λ_{rw} = relación de esbeltez límite para un alma no compacta.

$$\lambda_{rw} = 5,7 \sqrt{\frac{E}{F_{yc}}} \quad (\text{A6.2.2-3})$$

D_c = altura del alma comprimida en el rango elástico, en mm. Para secciones compuestas, D_c se debe determinar tal como se especifica en el artículo D6.3.1.

Los factores de plastificación del alma se deben tomar como:

$$R_{pc} = \left[1 - \left(1 - \frac{R_h M_{yc}}{M_p} \right) \left(\frac{\lambda_w - \lambda_{pw(D_c)}}{\lambda_{rw} - \lambda_{pw(D_c)}} \right) \right] \frac{M_p}{M_{yc}} \leq \frac{M_p}{M_{yc}} \quad (\text{A6.2.2-4})$$

$$R_{pt} = \left[1 - \left(1 - \frac{R_h M_{yt}}{M_p} \right) \left(\frac{\lambda_w - \lambda_{pw(D_c)}}{\lambda_{rw} - \lambda_{pw(D_c)}} \right) \right] \frac{M_p}{M_{yt}} \leq \frac{M_p}{M_{yt}} \quad (\text{A6.2.2-5})$$

donde:

$\lambda_{pw(D_c)}$ = relación de esbeltez límite para un alma compacta, correspondiente a $2 \cdot D_c / t_w$

$$\lambda_{pw(D_c)} = \lambda_{pw(D_{cp})} \left(\frac{D_c}{D_{cp}} \right) \leq \lambda_{rw} \quad (\text{A6.2.2-6})$$

A6.3. RESISTENCIA A LA FLEXIÓN CON BASE EN EL ALA COMPRIMIDA

A6.3.1. Requisitos generales

La Ecuación A6.1.1-1 deberá satisfacer tanto para el pandeo local como para el pandeo lateral torsional utilizando el valor apropiado de M_{nc} que se determina para cada caso tal como se especifica en los artículos A6.3.2 y A6.3.3, respectivamente.

A6.3.2. Resistencia al pandeo local

La resistencia a la flexión con base en el pandeo local del ala sujeta a compresión se deberá tomar como:

- Si $\lambda_f \leq \lambda_{pf}$, entonces:

$$M_{nc} = R_{pc} M_{yc} \quad (\text{A6.3.2-1})$$

- Caso contrario:

$$M_{nc} = \left[1 - \left(1 - \frac{F_{yr} S_{xc}}{R_{pc} M_{yc}} \right) \left(\frac{\lambda_f - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}} \right) \right] R_{pc} M_{yc} \quad (\text{A6.3.2-2})$$

en el cual:

λ_f = relación de esbeltez para el ala sujeta a compresión.

$$\lambda_f = \frac{b_{fc}}{2 t_{fc}} \quad (\text{A6.3.2-3})$$

λ_{pf} = relación de esbeltez límite para un ala compacta.

$$\lambda_{pf} = 0,38 \sqrt{\frac{E}{F_{yc}}} \quad (\text{A6.3.2-4})$$

λ_{rf} = relación de esbeltez límite para un ala no compacta.

$$\lambda_{rf} = 0,95 \sqrt{\frac{E k_c}{F_{yr}}} \quad (\text{A6.3.2-5})$$

k_c = coeficiente de pandeo local del ala.

- Para secciones armadas:

$$k_c = \frac{4}{\sqrt{\frac{D}{t_w}}} \quad (\text{A6.3.2-6})$$

$$0,35 \leq k_c \leq 0,76$$

- Para perfiles laminados:

$$k_c = 0,76$$

donde:

F_{yr} = esfuerzo en el ala sujeta a compresión al inicio de la fluencia nominal en la sección transversal, incluyendo los efectos de la tensión residual, pero sin incluir la flexión lateral del ala comprimida, tomado como el menor valor de $0,7 \cdot F_{yc}$, $R_h \cdot F_{yt} \cdot S_{xt} / S_{xc}$ y F_{yw} , pero no menor que $0,5 \cdot F_{yc}$.

M_{yc} = momento de fluencia con respecto al ala sujeta a compresión, determinado como se especifica en el artículo D6.2, en Nmm.

M_{yt} = momento de fluencia con respecto al ala sujeta a tracción, determinado como se especifica en el artículo D6.2, en Nmm.

R_h = factor de hibridez, determinado como se especifica en el artículo 6.10.1.10.1.

R_{pc} = factor de plastificación del alma para el ala sujeta a compresión, determinado como se especifica en el artículo A6.2.1 o A6.2.2, según corresponda.

S_{xc} = módulo elástico de la sección respecto al eje fuerte de la sección para el ala comprimida, tomado como M_{yc} / F_{yc} , en mm^3 .

S_{xt} = módulo elástico de la sección respecto al eje fuerte de la sección para el ala traccionada, tomado como M_{yt}/F_{yt} , en mm^3 .

A6.3.3. Resistencia al pandeo lateral torsional

Para longitudes no arriostradas en el cual el miembro es prismático, la resistencia a la flexión basada en el pandeo lateral torsional se deberá tomar como:

- Si $L_b \leq L_p$, entonces:

$$M_{nc} = R_{pc} M_{yc} \quad (\text{A6.3.3-1})$$

- Si $L_p < L_b \leq L_r$, entonces:

$$M_{nc} = C_b \left[1 - \left(1 - \frac{F_{yr} S_{xc}}{R_{pc} M_{yc}} \right) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] R_{pc} M_{yc} \leq R_{pc} M_{yc} \quad (\text{A6.3.3-2})$$

- Si $L_b > L_r$, entonces:

$$M_{nc} = F_{cr} S_{xc} \leq R_{pc} M_{yc} \quad (\text{A6.3.3-3})$$

en el cual:

L_b = longitud no arriostrada, en mm.

L_p = longitud no arriostrada límite para alcanzar la resistencia nominal a flexión, $R_{pc} \cdot M_{yc}$, bajo flexión uniforme, en mm.

$$L_p = 1,0 r_t \sqrt{\frac{E}{F_{yc}}} \quad (\text{A6.3.3-4})$$

L_r = longitud no arriostrada límite para alcanzar el inicio de la fluencia nominal en cualquiera de las alas bajo flexión uniforme, considerando los efectos de las tensiones residuales en el ala sujeta a compresión, en mm.

$$L_r = 1,95 r_t \frac{E}{F_{yr}} \sqrt{\frac{J}{S_{xc} h}} \sqrt{1 + \sqrt{1 + 6,76 \left(\frac{F_{yr} S_{xc} h}{E J} \right)^2}} \quad (\text{A6.3.3-5})$$

C_b = factor de modificación por gradiente de momentos. En ausencia de un análisis racional alternativo, C_b se puede calcular de la siguiente manera:

- Para voladizos no arriostrados y para miembros donde $M_{mid}/M_2 > 1$ o $M_2 = 0$:

$$C_b = 1,0 \quad (\text{A6.3.3-6})$$

- Para todos los demás casos:

$$C_b = 1,75 - 1,05 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) + 0,3 \left(\frac{M_1}{M_2} \right)^2 \leq 2,3 \quad (\text{A6.3.3-7})$$

F_{cr} = esfuerzo de pandeo lateral torsional elástico, en MPa.

$$F_{cr} = \frac{C_b \pi^2 E}{\left(\frac{L_b}{r_t} \right)^2} \sqrt{1 + 0,078 \frac{J}{S_{xc} h} \left(\frac{L_b}{r_t} \right)^2} \quad (\text{A6.3.3-8})$$

J = constante torsional de St. Venant, en mm⁴.

$$J = \frac{D t_w^3}{3} + \frac{b_{fc} t_{fc}^3}{3} \left(1 - 0,63 \frac{t_{fc}}{b_{fc}} \right) + \frac{b_{ft} t_{ft}^3}{3} \left(1 - 0,63 \frac{t_{ft}}{b_{ft}} \right) \quad (\text{A6.3.3-9})$$

r_t = radio de giro efectivo para pandeo lateral torsional, en mm.

$$r_t = \frac{b_{fc}}{\sqrt{12 \left(1 + \frac{1}{3} \frac{D_c t_w}{b_{fc} t_{fc}} \right)}} \quad (\text{A6.3.3-10})$$

donde:

F_{yr} = tensión del ala comprimida cuando se inicia la fluencia nominal dentro de la sección transversal, incluidos los efectos de la tensión residual pero sin incluir la flexión lateral del ala comprimida, tomada como el menor valor de $0,7 \cdot F_{yc}$, $R_h \cdot F_{yt} \cdot S_{xt} / S_{xc}$ y F_{yw} , pero no menor que $0,5 \cdot F_{yc}$.

D_c = altura del alma comprimida en el rango elástico, en mm. Para las secciones compuestas, D_c se debe determinar tal como se especifica en el artículo D6.3.1.

h = altura entre los ejes de las alas, en mm.

M_{mid} = momento flexor respecto del eje fuerte en la mitad de la longitud no arriostrada, calculado a partir del valor de la envolvente de momentos que produce la mayor compresión en este punto en el ala considerada, o la menor tracción si este punto nunca está comprimido, en Nmm. M_{mid} se debe a las cargas mayoradas y cuando el momento genera compresión se considera positivo y negativo cuando genera tracción en el ala considerada.

M_o = momento en un punto arriostrado opuesto al correspondiente a M_2 , calculado a partir del valor de la envolvente de momentos que produce la mayor compresión en este punto en el ala considerada, o la menor tracción si este punto nunca está comprimido, en Nmm. M_o se debe a las cargas mayoradas y cuando el momento genera compresión se considera positivo y negativo cuando genera tracción en el ala en consideración.

M_1 = momento en un punto arriostrado opuesto al correspondiente a M_2 , calculado como la intersección de la variación de momento lineal supuesta más crítica que pasa por M_2 y por ya sea M_{mid} o M_0 , el que produzca el menor valor de C_b , en Nmm. M_1 se puede calcular como sigue:

- Cuando la variación en el momento, a lo largo de toda la longitud entre los puntos de arriostramiento, es de forma cóncava:

$$M_1 = M_0 \quad (A6.3.3-11)$$

- De lo contrario:

$$M_1 = 2 M_{mid} - M_2 \geq M_0 \quad (A6.3.3-12)$$

M_2 = excepto como se indica a continuación, el mayor momento flexor alrededor del eje fuerte en cualquiera de los extremos de una longitud no arriostrada que genera compresión en el ala considerada, calculado a partir del valor crítico de la envolvente de momentos, en Nmm. M_2 se debe a las cargas mayoradas y se toma como positivo. Si el momento es nulo o genera tracción en el ala considerada en ambos extremos de la longitud no arriostrada, M_2 se toma igual a cero.

M_{yc} = momento de fluencia con respecto al ala comprimida, determinado como se especifica en el artículo D6.2, en Nmm.

M_{yt} = momento de fluencia con respecto al ala traccionada, determinado como se especifica en el artículo D6.2, en Nmm.

R_h = factor de hibridez, determinado como se especifica en el artículo 6.10.1.10.1.

R_{pc} = factor de plastificación del alma por el ala sujeta a compresión, determinado como se especifica en el artículo A6.2.1 o A6.2.2, según corresponda.

S_{xc} = módulo elástico de la sección respecto del eje fuerte de la sección hasta el ala sujeta a compresión tomado como M_{yc}/F_{yc} , en mm^3 .

S_{xt} = módulo elástico de la sección respecto del eje fuerte de la sección hasta el ala sujeta a tracción tomado como M_{yt}/F_{yt} , en mm^3 .

Para longitudes no arriostradas en las cuales el miembro consta de secciones monosimétricas no compuestas y está sujeto a flexión que produce doble curvatura, se deberá verificar la resistencia al pandeo lateral torsional para ambas alas, a menos que se considere que el ala superior tiene arriostramiento continuo.

Para longitudes no arriostradas en las cuales el miembro no es prismático, la resistencia a la flexión basada en el pandeo lateral torsional se puede tomar como la menor resistencia dentro de la longitud no arriostrada bajo consideración determinada a partir de la Ecuación A6.3.3-1, A6.3.3-2 o A6.3.3-3, según corresponda, suponiendo que la longitud no arriostrada es prismática. La resistencia a la flexión, M_{nc} en cada sección dentro de la longitud no arriostrada se deberá tomar igual a esta resistencia multiplicada por la relación entre S_{xc} en la sección considerada y S_{xc} en la sección que gobierna la resistencia al pandeo lateral torsional. En este caso el factor de modificación por gradiente de

momentos, C_b , se debe tomar igual a **1,0** y L_b no se debe modificar por un factor de longitud efectiva.

Para longitudes no arriostradas que contienen una transición hacia una sección de menor tamaño a una distancia menor o igual que el **20 por ciento** de la longitud no arriostrada a partir del punto de arriostramiento que tiene el menor momento, la resistencia a la flexión basada en el pandeo lateral torsional se puede determinar suponiendo que no existe tal transición, siempre y cuando el momento de inercia lateral del ala o alas de la sección más pequeña sea mayor o igual que la mitad del valor correspondiente en la sección más grande.

A6.4. RESISTENCIA A LA FLEXIÓN CON BASE EN LA FLUENCIA DEL ALA SUJETA A TRACCIÓN

La resistencia nominal a la flexión con base en la fluencia del ala sujeta a tracción se debe tomar como:

$$M_{nt} = R_{pt} M_{yt} \quad (A6.4-1)$$

donde:

M_{yt} = momento de fluencia con respecto al ala sujeta a tracción, determinado como se especifica en el artículo D6.2, en Nmm.

R_{pt} = factor de plastificación del alma por la fluencia del ala sujeta a tracción, determinado como se especifica en el artículo A6.2.1 o A6.2.2, según corresponda

APÉNDICE B6. REDISTRIBUCIÓN DE MOMENTOS SOBRE LA PILA INTERIOR DE PUENTES RECTOS CON TRAMOS CONTINUOS DE SECCIÓN I

B6.1. REQUISITOS GENERALES

Este artículo se debe aplicar para calcular la redistribución de momentos en las secciones sobre pila interior de miembros continuos de sección I solicitados a flexión en los estados límite de servicio y/o resistencia. Estos requisitos se deben aplicar solamente para los miembros de sección I que satisfagan los requisitos del artículo B6.2.

B6.2. ALCANCE

La redistribución de momentos se debe aplicar solamente en miembros de sección I de tramos rectos continuos cuyas líneas de apoyo no tengan una oblicuidad mayor de **10 grados** respecto de la perpendicular al eje del puente y a lo largo de los cuales no haya marcos transversales discontinuos. Las secciones pueden ser tanto compuestas como no compuestas en flexión positiva o negativa.

Las secciones transversales a lo largo de las longitudes no arriostradas, inmediatamente adyacentes a las secciones sobre una pila interior desde la cual se redistribuyen los momentos, deben tener una tensión de fluencia mínima especificada menor o igual que **485 MPa**. No se deben colocar agujeros dentro del ala sujeta a tracción a una distancia igual a **dos veces** la altura del alma a cada lado de las secciones sobre la pila interior desde la cual se redistribuyen los momentos. Todas las demás secciones que tengan agujeros en el ala sujeta a tracción deben satisfacer los requisitos del artículo 6.10.1.8 después que los momentos se hayan redistribuido.

Los momentos se deben redistribuir solamente en las secciones sobre la pila interior para las cuales las secciones transversales a lo largo de las longitudes no arriostradas inmediatamente adyacentes a esas secciones satisfacen los requisitos de los artículos B6.2.1 a B6.2.6. Si para calcular los momentos de redistribución se utiliza el método refinado del artículo B6.6, no es necesario que todas las secciones sobre la pila interior satisfagan estos requisitos; sin embargo, no se deberán redistribuir los momentos en las secciones que no satisfagan estos requisitos. En cambio, después de la redistribución tales secciones deberán satisfacer los requisitos de los artículos 6.10.4.2, 6.10.8.1 o el artículo A6.1, según corresponda. Si para calcular los momentos de redistribución sobre la pila interior se utilizan los requisitos de los artículos B6.3 o B6.4, las longitudes no arriostradas inmediatamente adyacentes a todas las secciones sobre la pila interior deben satisfacer los requisitos de los artículos B6.2.1 a B6.2.6.

B6.2.1. Dimensiones del alma

El alma, dentro de la longitud no arriostrada bajo consideración, se deberá dimensionar de manera que:

$$\frac{D}{t_w} \leq 150 \quad (\text{B6.2.1-1})$$

$$\frac{2D}{t_w} \leq 6,8 \sqrt{\frac{E}{F_{yc}}} \quad (\text{B6.2.1-2})$$

y:

$$D_{cp} \leq 0,75 D \quad (\text{B6.2.1-3})$$

donde:

D_c = altura del alma comprimida en el rango elástico, en mm. Para las secciones compuestas, D_c se debe determinar como se especifica en el artículo D6.3.1.

D_{cp} = altura del alma comprimida cuando se produce el momento plástico, determinada como se especifica en el artículo D6.3.2, en mm.

B6.2.2. Dimensiones del ala sujeta a compresión

El ala sujeta a compresión, dentro de la longitud no arriostrada bajo consideración, se deberá dimensionar de manera que:

$$\frac{b_{fc}}{2 t_{fc}} \leq 0,38 \sqrt{\frac{E}{F_{yc}}} \quad (\text{B6.2.2-1})$$

y:

$$b_{fc} \geq \frac{D}{4,25} \quad (\text{B6.2.2-2})$$

B6.2.3. Transiciones de sección

El miembro de sección I de acero deberá ser prismático dentro de la longitud no arriostrada bajo consideración.

B6.2.4. Arriostramiento del ala sujeta a compresión

La longitud no arriostrada bajo consideración deberá satisfacer:

$$L_b \leq \left[0,1 - 0,06 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) \right] \frac{r_t E}{F_{yc}} \quad (\text{B6.2.4-1})$$

donde:

L_b = longitud no arriostrada, en mm.

M_1 = momento flexor alrededor del eje fuerte de la sección transversal en el punto de arriostramiento con el menor momento debido a las cargas mayoradas, tomado ya sea como el valor máximo o mínimo de la envolvente de momentos, cualquiera sea el valor que produzca la menor longitud no arriostrada admisible, en Nmm.

M_2 = momento flexor alrededor del eje fuerte de la sección transversal en el punto de arriostramiento con el mayor momento debido a las cargas mayoradas, tomado como el valor crítico de la envolvente de momentos, en Nmm.

r_t = radio efectivo de giro para el pandeo lateral torsional, en la longitud no arriostrada bajo consideración, determinado a partir de la Ecuación A6.3.3-10, en mm.

La relación (M_1/M_2) se deberá considerar negativa cuando los momentos generen doble curvatura.

B6.2.5. Corte

Las almas con o sin rigidizadores transversales, dentro de la longitud no arriostrada bajo consideración, deberán satisfacer el siguiente requisito en el estado límite de resistencia:

$$V_u \leq \phi_v V_{cr} \quad (\text{B6.2.5-1})$$

donde:

ϕ_v = factor de resistencia al corte, especificado en el artículo 6.5.4.2.

V_u = corte en el alma debido a las cargas mayoradas, en N.

V_{cr} = resistencia al pandeo por corte determinado a partir de la Ecuación 6.10.9.2-1 para almas no rigidizadas y de la Ecuación 6.10.9.3.3-1 para almas rigidizadas, en N.

B6.2.6. Rigidizadores de apoyo

En la sección sobre la pila interior bajo consideración se deberán colocar rigidizadores de apoyo diseñados de acuerdo con los requisitos del artículo 6.10.11.2.

B6.3. ESTADO LÍMITE DE SERVICIO

B6.3.1. Requisitos generales

Se debe aplicar la combinación de cargas correspondiente al estado límite de servicio II indicada en la Tabla 3.4.1-1.

B6.3.2. Flexión

B6.3.2.1. Zona adyacente a las secciones sobre la pila interior

Con la excepción que se debe satisfacer el requisito de la Ecuación 6.10.4.2.2-4, no será necesario verificar los requisitos del artículo 6.10.4.2 dentro de las zonas que se extienden en cada tramo adyacente desde las secciones sobre la pila interior que satisfacen los requisitos del artículo B6.2 hasta la transición del ala más cercana o al punto de inflexión bajo carga permanente, cualquiera sea el que esté más próximo.

B6.3.2.2. En todas las demás ubicaciones

Las secciones en todas las demás ubicaciones deberán satisfacer los requisitos del artículo 6.10.4.2, según corresponda, luego de la redistribución. Al calcular los esfuerzos de flexión en la sección de acero, para secciones compuestas en flexión positiva, los momentos de redistribución se deben aplicar a la sección compuesta a largo plazo. Para calcular los esfuerzos de flexión longitudinal en el tablero de hormigón, debido a los momentos de redistribución, se deben aplicar los requisitos del artículo 6.10.1.1.1d.

Los momentos de redistribución se deben calcular de acuerdo con los requisitos especificados en el artículo B6.3.3 y se sumarán a los momentos elásticos debidos a las cargas correspondientes al estado límite de servicio II.

B6.3.3. Momentos de redistribución

B6.3.3.1. En secciones sobre la pila interior

En cada sección sobre la pila interior, donde no se verifiquen los esfuerzos de flexión tal como lo permite el artículo B6.3.2.1, el momento de redistribución para las cargas correspondientes al estado límite de servicio II se debe tomar como:

$$M_{rd} = |M_e| - M_{pe} \quad (\text{B6.3.3.1-1})$$

en el cual:

$$0 \leq M_{rd} \leq 0,2 |M_e| \quad (\text{B6.3.3.1-2})$$

donde:

M_{pe} = momento plástico efectivo en flexión negativa para el estado límite de servicio determinado como se especifica en el artículo B6.5, en Nmm.

M_e = valor crítico de la envolvente de momento elástico en la sección sobre la pila interior debido a las cargas correspondientes al estado límite de servicio II, en Nmm.

B6.3.3.2. En todas las demás ubicaciones

El diagrama momento-redistribución para la combinación de cargas, correspondiente al estado límite de servicio II, se determinará uniendo con líneas rectas los momentos de redistribución en las secciones sobre la pila interior adyacente. Estas líneas se deben extender hasta cualquier punto de momento de redistribución nulo en los apoyos adyacentes, incluso en los estribos.

B6.4. ESTADO LÍMITE DE RESISTENCIA

B6.4.1. Resistencia a la flexión

B6.4.1.1. Zona adyacente a las secciones sobre la pila interior

No será necesario verificar las resistencias a la flexión de las secciones dentro de las longitudes no arriostradas inmediatamente adyacentes a las secciones sobre la pila interior que satisfagan los requisitos del artículo B6.2.

B6.4.1.2. En todas las demás ubicaciones

Las secciones en todas las demás ubicaciones deberán satisfacer los requisitos de los artículos 6.10.7, 6.10.8.1 o A6.1, según corresponda, luego de la redistribución. Al calcular los esfuerzos de flexión en la sección de acero para las secciones compuestas en flexión positiva, los momentos de redistribución se deberán aplicar a la sección compuesta a largo plazo. Para calcular los esfuerzos de flexión longitudinal en el tablero de hormigón, debido a los momentos de redistribución, se deben aplicar los requisitos del artículo 6.10.1.1.1d.

Los momentos de redistribución se deberán calcular utilizando los requisitos del artículo B6.4.2 y se sumarán a los momentos elásticos debidos a las cargas mayoradas en el estado límite de resistencia.

B6.4.2. Momentos de redistribución

B6.4.2.1. En secciones sobre la pila interior

En cada sección sobre la pila interior donde no se verifiquen las resistencias a la flexión tal como lo permite el artículo B6.4.1.1, el momento de redistribución en el estado límite de resistencia se debe tomar como el mayor de los siguientes valores:

$$M_{rd} = |M_e| + \frac{1}{3} f_\ell S_{xc} - \phi_f M_{pe} \quad (\text{B6.4.2.1-1})$$

o bien:

$$M_{rd} = |M_e| + \frac{1}{3} f_\ell S_{xt} - \phi_f M_{pe} \quad (\text{B6.4.2.1-2})$$

en la cual:

$$0 \leq M_{rd} \leq 0,2 |M_e| \quad (\text{B6.4.2.1-3})$$

donde:

f_ℓ = esfuerzo de flexión lateral en el ala considerada en la sección sobre la pila interior, en MPa. Para las alas sujetas a tracción o compresión con arriostramiento continuo, f_ℓ se debe tomar igual a **cero**.

ϕ_f = factor de resistencia a la flexión, especificado en el artículo 6.5.4.2.

M_{pe} = momento plástico efectivo en flexión negativa para el estado límite de resistencia, determinado como se especifica en el artículo B6.5, en Nmm.

M_e = valor crítico de la envolvente de momento elástico en la sección sobre la pila interior debido a las cargas mayoradas, en Nmm.

M_{yc} = momento de fluencia con respecto al ala sujeta a compresión, determinado como se especifica en el artículo D6.2, en Nmm.

M_{yt} = momento de fluencia con respecto al ala sujeta a tracción, determinado como se especifica en el artículo D6.2, en Nmm.

S_{xc} = módulo elástico de la sección alrededor del eje fuerte de la sección hasta el ala sujeta a compresión tomado como M_{yc}/F_{yc} , en mm^3 .

S_{xt} = módulo elástico de la sección alrededor del eje fuerte de la sección hasta el ala sujeta a tracción tomado como M_{yt}/F_{yt} , en mm^3 .

B6.4.2.2. En todas las demás secciones

El diagrama momento-redistribución para el estado límite de resistencia se deberá determinar utilizando el mismo procedimiento especificado en el artículo B6.3.3.2 para la combinación de cargas correspondiente al estado límite de servicio II.

B6.5. MOMENTO PLÁSTICO EFECTIVO

B6.5.1. Secciones sobre la pila interior con características momento-rotación mejoradas

Para las secciones sobre la pila interior que satisfacen los requisitos del artículo B6.2 y que contienen:

- Rigidizadores transversales con una separación menor o igual que $D/2$ sobre una distancia mínima de $D/2$ a cada lado de la sección sobre la pila interior

o bien:

- Almas ultracompactas que satisfacen:

$$\frac{2 D_{cp}}{t_w} \leq 2,3 \sqrt{\frac{E}{F_{yc}}} \quad (\text{B6.5.1-1})$$

donde:

D_{cp} = altura del alma comprimida cuando se produce el momento plástico, determinada como se especifica en el artículo D6.3.2, en mm.

el momento plástico efectivo se deberá tomar como:

- Para el estado límite de servicio:

$$M_{pe} = M_n \quad (\text{B6.5.1-2})$$

- Para el estado límite de resistencia:

$$M_{pe} = \left(\begin{array}{l} 2,78 - 2,3 \frac{b_{fc}}{t_{fc}} \sqrt{\frac{F_{yc}}{E}} \\ -0,35 \frac{D}{b_{fc}} + 0,39 \frac{b_{fc}}{t_{fc}} \sqrt{\frac{F_{yc}}{E}} \frac{D}{b_{fc}} \end{array} \right) M_n \leq M_n \quad (\text{B6.5.1-3})$$

donde:

M_n = resistencia nominal a la flexión de la sección sobre la pila interior, tomada como el menor valor entre $F_{nc} \cdot S_{xc}$ y $F_{nt} \cdot S_{xt}$, con F_{nc} y F_{nt} determinados como se especifica en el artículo 6.10.8. Para secciones con almas compactas o no compactas, M_n se puede tomar como el menor valor entre M_{nc} y M_{nt} determinados como se especifica en el apéndice A6, en Nmm.

B6.5.2. Todas las demás secciones sobre la pila interior

Para las secciones sobre la pila interior que satisfacen los requisitos del artículo B6.2, pero que no satisfacen los requisitos del artículo B6.5.1, el momento plástico efectivo se deberá tomar como:

- Para el estado límite de servicio:

$$M_{pe} = \left(\begin{array}{l} 2,90 - 2,3 \frac{b_{fc}}{t_{fc}} \sqrt{\frac{F_{yc}}{E}} \\ -0,35 \frac{D}{b_{fc}} + 0,39 \frac{b_{fc}}{t_{fc}} \sqrt{\frac{F_{yc}}{E}} \frac{D}{b_{fc}} \end{array} \right) M_n \leq M_n \quad (\text{B6.5.2-1})$$

- Para el estado límite de resistencia:

$$M_{pe} = \left(\begin{array}{l} 2,63 - 2,3 \frac{b_{fc}}{t_{fc}} \sqrt{\frac{F_{yc}}{E}} \\ -0,35 \frac{D}{b_{fc}} + 0,39 \frac{b_{fc}}{t_{fc}} \sqrt{\frac{F_{yc}}{E}} \frac{D}{b_{fc}} \end{array} \right) M_n \leq M_n \quad (\text{B6.5.2-2})$$

B6.6. MÉTODO REFINADO

B6.6.1. Requisitos generales

Los miembros sujetos a flexión de sección I de tramos continuos que satisfacen los requisitos del artículo B6.2 también se pueden dimensionar en base a un análisis directo. En este enfoque, los momentos de redistribución se deben determinar satisfaciendo la continuidad rotacional y las relaciones inelásticas momento-rotación especificadas en las secciones seleccionadas sobre la pila interior. El análisis directo se puede emplear en los estados límite de servicio y/o resistencia. En este análisis se deberá utilizar la envolvente de momento elástico debido a las cargas mayoradas.

Para el análisis directo, los momentos de redistribución se deberán determinar utilizando las propiedades elásticas de rigidez de la sección compuesta a corto plazo suponiendo que el tablero de hormigón es efectivo en toda la longitud del tramo. Al calcular los esfuerzos elásticos de flexión en la sección de acero para las secciones compuestas en flexión positiva, los momentos de redistribución se deberán aplicar a la sección compuesta a largo plazo. Para calcular los esfuerzos elásticos de flexión longitudinal en el tablero de hormigón debido a los momentos de redistribución, se deben aplicar los requisitos del artículo 6.10.1.1.d.

Las secciones adyacentes a las pilas interiores desde las cuales se redistribuyen los momentos deben satisfacer los requisitos del artículo B6.3.2.1 para el estado límite de servicio y el artículo B6.4.1.1 para el estado límite de resistencia. Todas las demás secciones deberán satisfacer todos los requisitos aplicables de los artículos 6.10.4.2, 6.10.7, 6.10.8.1 o A6.1 después de que se haya encontrado una solución.

Al aplicar el análisis directo en el estado límite de resistencia, las ordenadas de las curvas nominales momento-rotación se deberán multiplicar por el factor de resistencia a la flexión especificado en el artículo 6.5.4.2. Al aplicar el análisis directo en el estado límite de servicio II, se utilizarán las curvas nominales momento-rotación.

B6.6.2. Curvas nominales momento-rotación

En las secciones sobre la pila interior que satisfacen los requisitos del artículo B6.2, se puede utilizar la curva nominal momento-rotación indicada en la Figura B6.6.2-1.

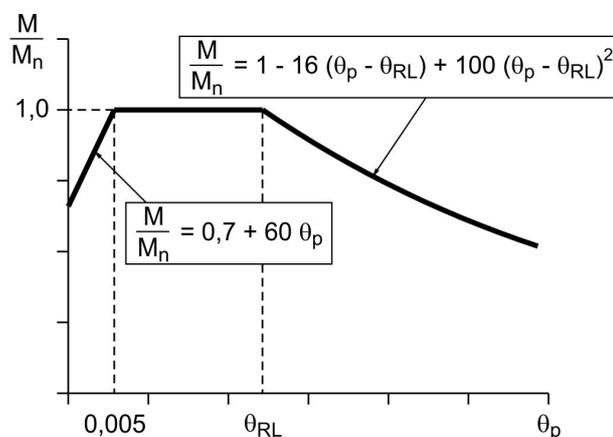


Figura B6.6.2-1. Curva nominal momento-rotación para secciones sobre la pila interior que satisfacen el artículo B6.2.

en el cual:

θ_{RL} = rotación plástica en la cual el momento, en una sección sobre la pila interior, comienza nominalmente a disminuir a medida que aumenta θ_p , en radianes.

$$\theta_{RL} = 0,137 - 0,143 \frac{b_{fc}}{t_{fc}} \sqrt{\frac{F_{yc}}{E}} - 0,0216 \frac{D}{b_{fc}} + 0,0241 \frac{D}{b_{fc}} \frac{b_{fc}}{t_{fc}} \sqrt{\frac{F_{yc}}{E}} \quad (\text{B6.6.2-1})$$

para secciones que satisfacen los requisitos adicionales especificados en el artículo B6.5.1, y:

$$\theta_{RL} = 0,128 - 0,143 \frac{b_{fc}}{t_{fc}} \sqrt{\frac{F_{yc}}{E}} - 0,0216 \frac{D}{b_{fc}} + 0,0241 \frac{D}{b_{fc}} \frac{b_{fc}}{t_{fc}} \sqrt{\frac{F_{yc}}{E}} \quad (\text{B6.6.2-2})$$

para todas las demás secciones.

donde:

θ_p = rotación plástica en una sección sobre la pila interior, en radianes.

M = momento flexor respecto al eje fuerte de la sección transversal debido a las cargas mayoradas, en Nmm.

M_n = resistencia nominal a la flexión de una sección sobre la pila interior tomada como el menor valor entre $F_{nc} \cdot S_{xc}$ y $F_{nt} \cdot S_{xt}$, con F_{nc} y F_{nt} determinados como se especifica en el artículo 6.10.8, en Nmm. Para secciones con almas compactas o no compactas, M_n se puede tomar como el menor valor entre M_{nc} y M_{nt} determinados como se especifica en el apéndice A6. Para las combinaciones de cargas que inducen esfuerzos significativos de flexión lateral en el ala, la influencia de la flexión lateral del ala se debe considerar restando a los valores anteriores el mayor valor entre $\frac{1}{3} f_\ell S_{xc}$ y $\frac{1}{3} f_\ell S_{xt}$.

f_ℓ = esfuerzo de flexión lateral en el ala bajo consideración en la sección sobre la pila interior, en MPa. Para las alas sujetas a tracción o compresión con arriostramiento continuo, f_ℓ se debe tomar igual a **cero**.

Para secciones sobre la pila interior, que satisfacen los requisitos del artículo B6.2, se pueden emplear otras relaciones nominales momento-rotación siempre que estas relaciones se desarrollen considerando todos los factores potenciales que afecten las características momento-rotación dentro de las restricciones de esos requisitos.

El análisis deberá suponer que las secciones sobre la pila interior que no satisfacen los requisitos del artículo B6.2 permanecen elásticas, y se deben satisfacer los requisitos de los artículos 6.10.4.2, 6.10.8.1, o A6.1, según corresponda, luego de hallar una solución.

APÉNDICE C6. PASOS BÁSICOS PARA LAS SUPERESTRUCTURAS EN Puentes DE ACERO

C6.1. REQUISITOS GENERALES

La intención de este esquema es ilustrar, con visión genérica, el proceso de diseño. No se debe considerar como totalmente completo, ni tampoco se debe utilizar en reemplazo de un conocimiento exhaustivo de los requisitos de esta Capítulo.

C6.2. CONSIDERACIONES GENERALES

- A. Filosofía de diseño (1.3.1)
- B. Estados límite (1.3.2)
- C. Características de diseño y ubicación (2.3) (2.5)

C6.3. DISEÑO DE LA SUPERESTRUCTURA

A. Desarrollar la sección general

- 1. Definir el ancho de calzada (ancho especificado de la carretera)
- 2. Determinar las disposiciones del tramo (2.3.2) (2.5.4) (2.5.5) (2.6)
- 3. Elegir el tipo de puente – se supone que es con viga primaria I o tipo cajón

B. Desarrollar sección típica

1. Viga primaria I

- a. Compuesta (6.10.1.1) o no compuesta (6.10.1.2)
- b. Híbrida o no híbrida (6.10.1.3)
- c. Altura de alma variable (6.10.1.4)
- d. Dimensiones límites de la sección transversal (6.10.2)

2. Viga primaria tipo cajón

- a. Cajones múltiples o cajón simple (6.11.1.1) (6.11.2.3)
- b. Híbrida o no híbrida (6.10.1.3)
- c. Altura de alma variable (6.10.1.4)
- d. Dimensiones límites de la sección transversal (6.11.2)
- e. Apoyos (6.11.1.2)
- f. Tablero ortótropo (6.14.3)

C. Diseño convencional del tablero de hormigón armado

- 1. Losas del tablero (4.6.2.1)
- 2. Altura mínima (9.7.1.1)
- 3. Diseño empírico (9.7.2)
- 4. Diseño tradicional (9.7.3)
- 5. Método de las fajas (4.6.2.1)
- 6. Aplicación de las sobrecargas (3.6.1.3.3) (4.6.2.1.4) (4.6.2.1.5)
- 7. Armadura de distribución (9.7.3.2)
- 8. Diseño de los voladizos (A13.4) (3.6.1.3.4)
- 9. Armadura mínima del tablero de hormigón en flexión negativa (6.10.1.7)

D. Seleccionar los factores de resistencia

- 1. Estado límite de resistencia (6.5.4.2)

E. Seleccionar los modificadores de carga

1. Ductilidad (1.3.3)
2. Redundancia (1.3.4)
3. Importancia operativa (1.3.5)

F. Seleccionar las combinaciones de carga y factores de carga (3.4.1)

1. Estado límite de resistencia (6.5.4.1) (6.10.6.1) (6.11.6.1)
2. Estado límite de servicio (6.10.4.2.1)
3. Estado límite de fatiga y fractura (6.5.3)

G. Calcular las solicitaciones debidas a las sobrecarga

1. Seleccionar las sobrecargas (3.6.1) y número de carriles (3.6.1.1.1)
2. Presencia múltiple (3.6.1.1.2)
3. Incremento por carga dinámica (3.6.2)
4. Factor de distribución para momento (4.6.2.2.2)
 - a. Vigas interiores con tableros de hormigón (4.6.2.2.2b)
 - b. Vigas exteriores (4.6.2.2.2d)
 - c. Puentes oblicuos (4.6.2.2.2e)
5. Factor de distribución para corte (4.6.2.2.3)
 - a. Vigas interiores (4.6.2.2.3a)
 - b. Vigas exteriores (4.6.2.2.3b)
 - c. Puentes oblicuos (4.6.2.2.3c)
6. Rigidez (6.10.1.5)
7. Efectos de la carga de viento (4.6.2.7)
8. Reacciones a la subestructura (3.6)

H. Calcular las solicitaciones debidas a otras cargas identificadas en el Paso C6.3.F

I. Secciones requeridas para el diseño – Ilustrada para el diseño de una viga primaria I

1. Diseño a flexión
 - a. Tensiones en la sección compuesta (6.10.1.1.1)
 - b. Tensiones en el ala y momentos flexores en el miembro (6.10.1.6)
 - c. Propiedades fundamentales de la sección (D6.1) (D6.2) (D6.3)
 - d. Constructibilidad (6.10.3)
 - (1) Requisitos generales (2.5.3) (6.10.3.1)
 - (2) Flexión (6.10.3.2) (6.10.1.8) (6.10.1.9) (6.10.1.10.1) (6.10.8.2) (A6.3.3 – opcional)
 - (3) Corte (6.10.3.3)
 - (4) Colocación del tablero (6.10.3.4)
 - (5) Flechas por carga permanente (6.10.3.5)
 - e. Estado límite de servicio (6.5.2) (6.10.4)
 - (1) Deformaciones elásticas (6.10.4.1)
 - (a) Criterio opcional para control de flechas debida a la sobrecarga (2.5.2.6.2)
 - (b) Criterio opcional para las relaciones luz/altura (2.5.2.6.3)
 - (2) Deformaciones permanentes (6.10.4.2)
 - (a) Requisitos generales (6.10.4.2.1)
 - (b) Flexión (6.10.4.2.2) (apéndice B – opcional) (6.10.1.9) (6.10.1.10.1)
 - f. Estado límite de fatiga y fractura (6.5.3) (6.10.5)
 - (1) Fatiga (6.10.5.1) (6.6.1)

- (2) Fractura (6.10.5.2) (6.6.2)
- (3) Requisito especial de fatiga aplicable a las almas (6.10.5.3)
- g. Estado límite de resistencia (6.5.4) (6.10.6)
 - (1) Secciones compuestas en flexión positiva (6.10.6.2.2) (6.10.7)
 - (2) Secciones compuestas en flexión negativa y secciones no compuestas (6.10.6.2.3) (6.10.8) (apéndice A – opcional) (apéndice B – opcional) (D6.4 – opcional)
 - (3) Fractura de la sección neta (6.10.1.8)
 - (4) Factores de reducción de resistencia del ala (6.10.1.10)
- 2. Diseño al corte
 - a. Requisitos generales (6.10.9.1)
 - b. Alma no rigidizada (6.10.9.2)
 - c. Alma rigidizada (6.10.9.3)
 - (1) Requisitos generales (6.10.9.3.1)
 - (2) Paneles interiores (6.10.9.3.2)
 - (3) Paneles extremos (6.10.9.3.3)
 - d. Diseño del rigidizador (6.10.11)
 - (1) Rigidizadores transversales intermedios (6.10.11.1)
 - (2) Rigidizadores de apoyo (6.10.11.2) (D6.5)
 - (3) Rigidizadores longitudinales (6.10.11.3)
- 3. Conectores de corte (6.10.10)
 - a. Requisitos generales (6.10.10.1)
 - b. Resistencia a la fatiga (6.10.10.2)
 - c. Requisitos especiales para puntos de inflexión de la carga permanente (6.10.10.3)
 - d. Estado límite de resistencia (6.10.10.4)

J. Requisitos sobre dimensionado y detalle

- 1. Espesor del material (6.7.3)
- 2. Uniones abulonadas (6.13.2)
 - a. Capacidad mínima de diseño (6.13.1)
 - b. Secciones netas (6.8.3)
 - c. Límites en la separación de los bulones (6.13.2.6)
 - d. Resistencia de un bulón al deslizamiento crítico (6.13.2.2) (6.13.2.8)
 - e. Resistencia al corte (6.13.2.7)
 - f. Resistencia al aplastamiento (6.13.2.9)
 - g. Resistencia a la tracción (6.13.2.10)
- 3. Uniones soldadas (6.13.3)
- 4. Resistencia a la rotura del bloque de corte (6.13.4)
- 5. Elementos de conexión (6.13.5)
- 6. Empalmes (6.13.6)
 - a. Empalmes abulonados (6.13.6.1)
 - b. Empalmes soldados (6.13.6.2)
- 7. Platabandas (6.10.12)
- 8. Diafragmas y marcos transversales (6.7.4)
- 9. Arriostramiento lateral (6.7.5)

C6.4. DIAGRAMAS DE FLUJO PARA DISEÑOS A FLEXIÓN DE SECCIONES I

C6.4.1. Diagrama de flujo para el artículo 6.10.3

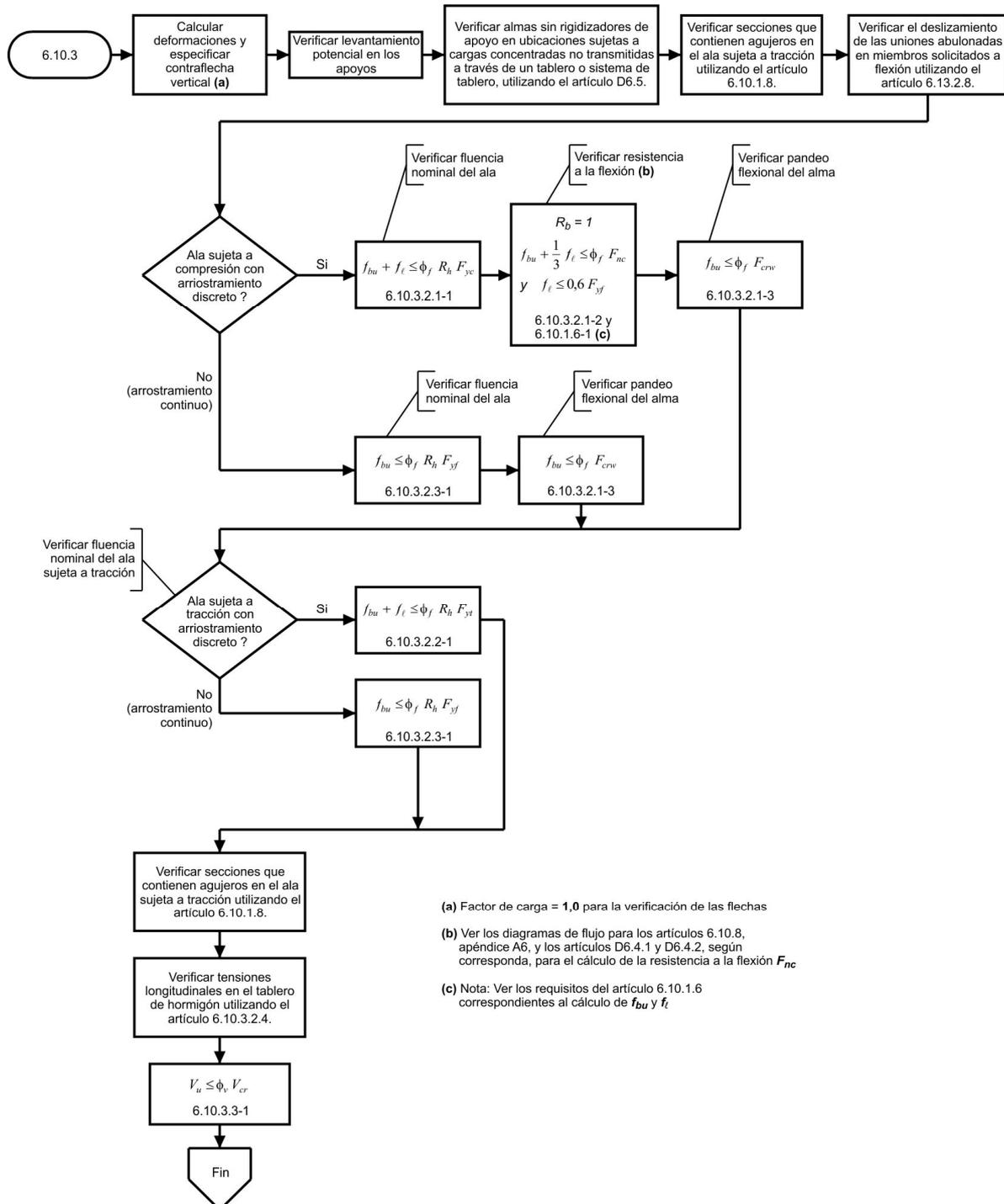


Figura C6.4.1-1. Diagrama de flujo para el artículo 6.10.3 – Constructibilidad

C6.4.2. Diagrama de flujo para el artículo 6.10.4

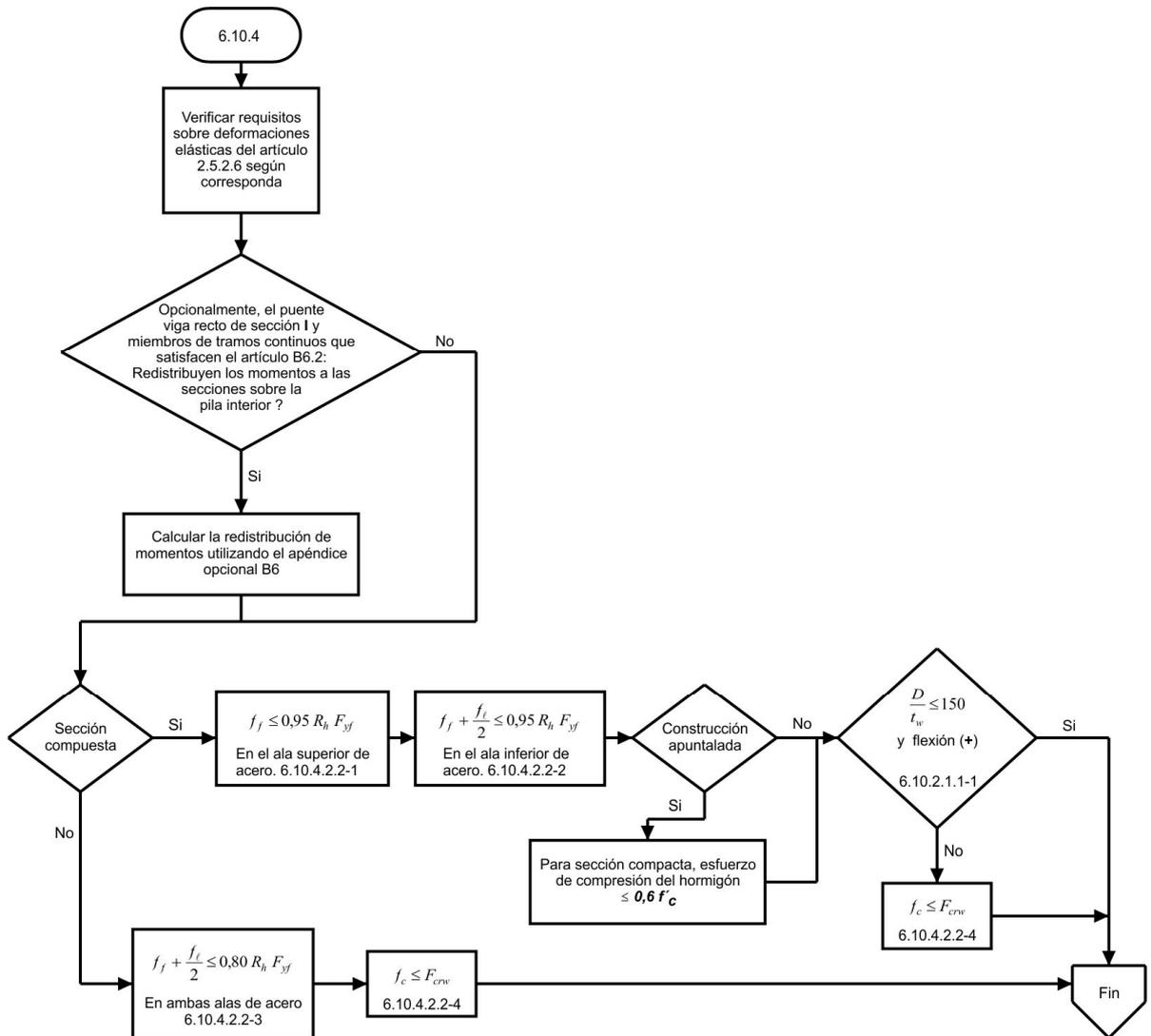
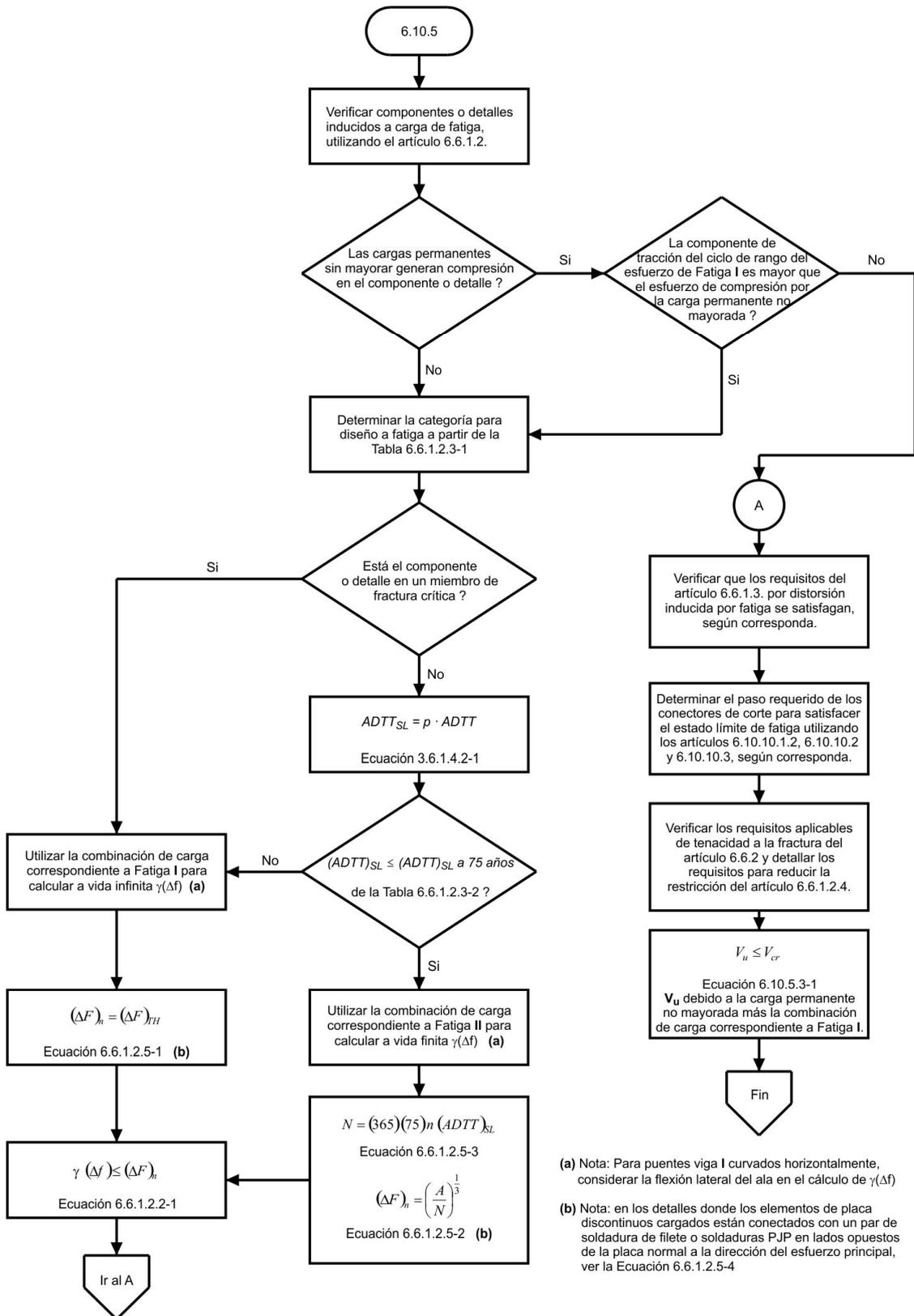


Figura C6.4.2-1. Diagrama de flujo para artículo 6.10.4 – Estado límite de servicio

C6.4.3. Diagrama de flujo para el artículo 6.10.5



- (a) Nota: Para puentes viga I curvados horizontalmente, considerar la flexión lateral del ala en el cálculo de $\gamma(\Delta F)$
- (b) Nota: en los detalles donde los elementos de placa discontinuos cargados están conectados con un par de soldadura de filete o soldaduras PJP en lados opuestos de la placa normal a la dirección del esfuerzo principal, ver la Ecuación 6.6.1.2.5-4

Figura C6.4.3-1. Diagrama de flujo para el artículo 6.10.5 – Estado límite de fatiga y fractura

C6.4.4. Diagrama de flujo para el artículo 6.10.6

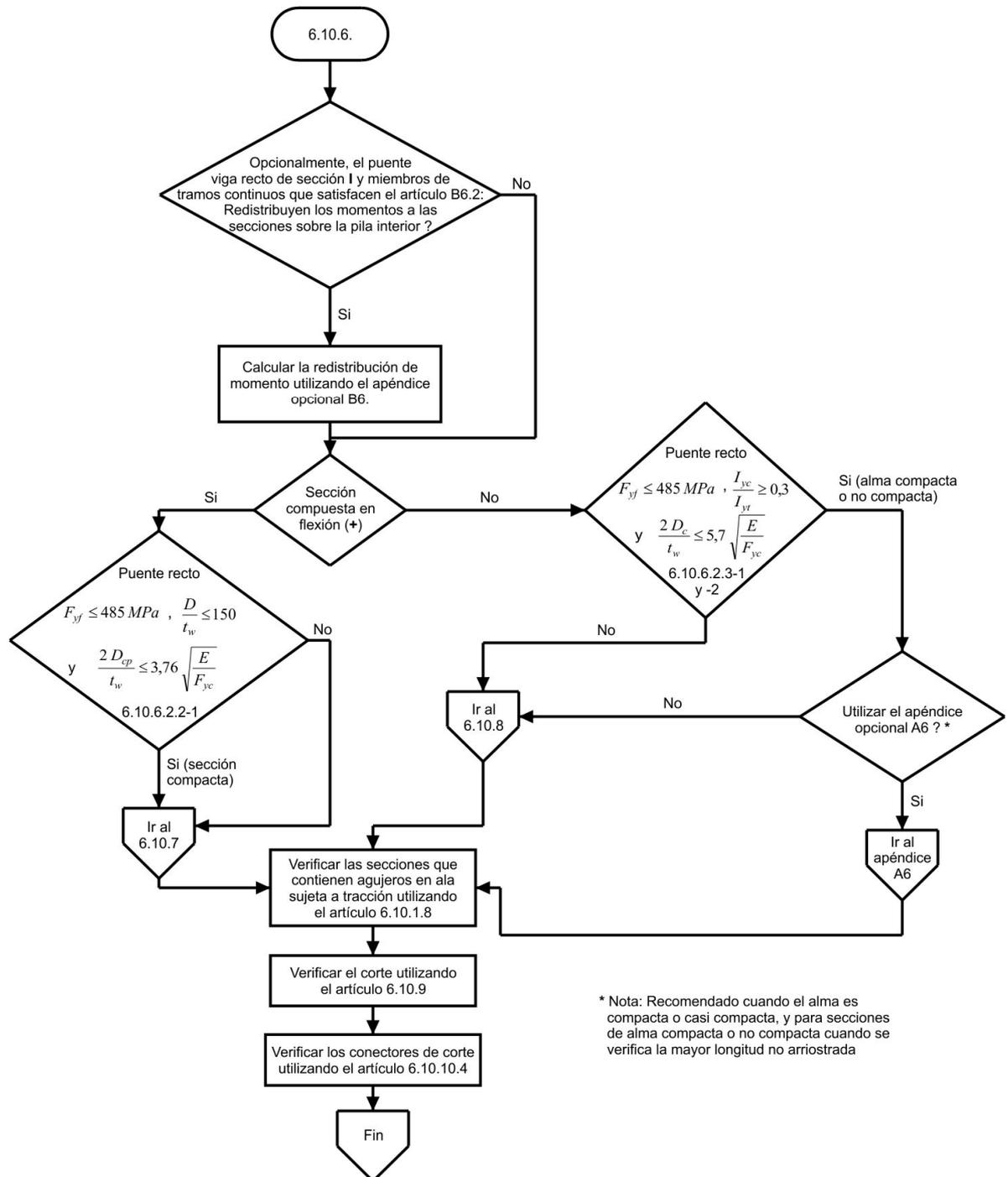


Figura C6.4.4-1. Diagrama de flujo para el artículo 6.10.6 – Estado límite de resistencia

C6.4.5. Diagrama de flujo para el artículo 6.10.7

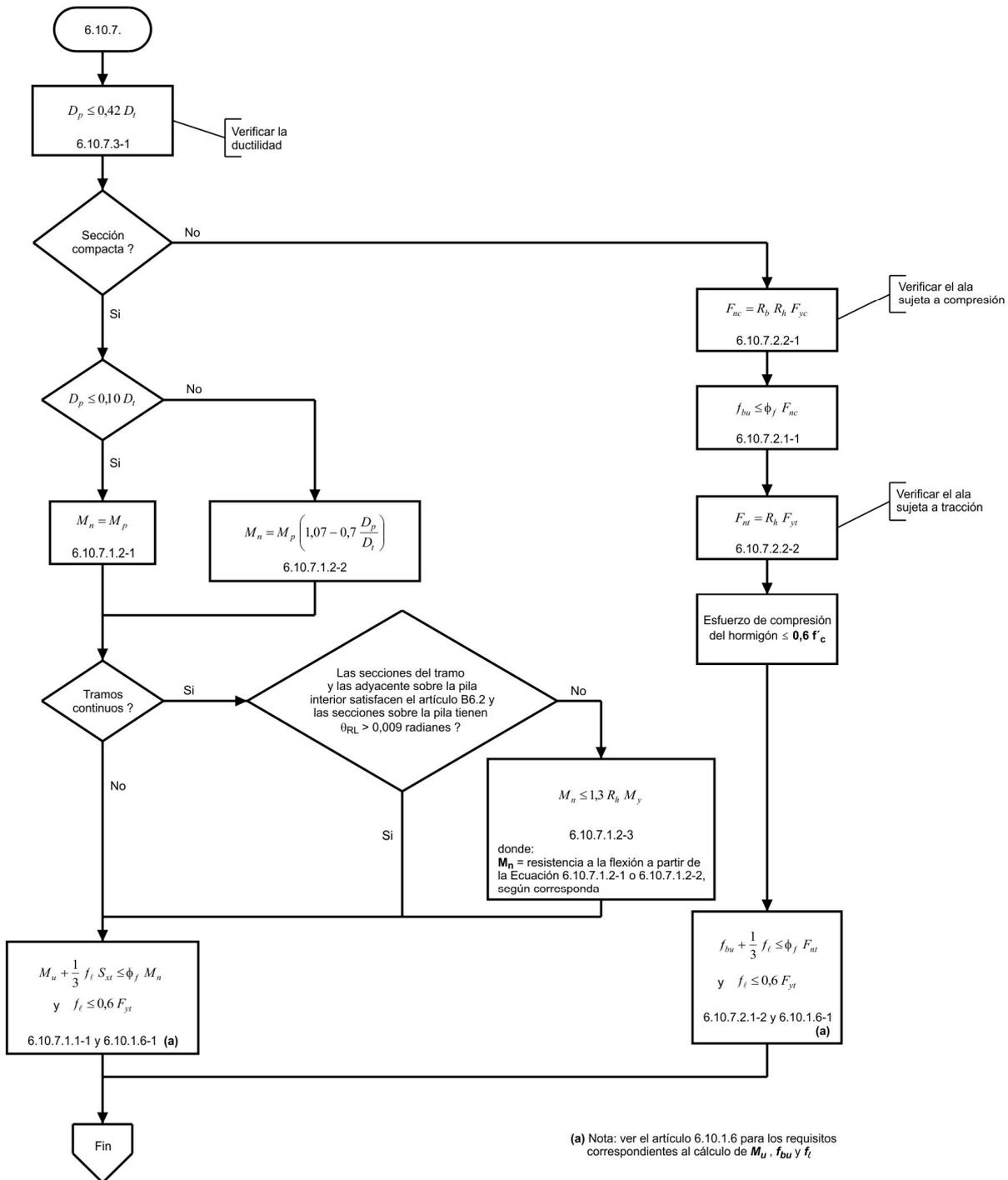


Figura C6.4.5-1. Diagrama de flujo para el artículo 6.10.7 – Secciones compuestas en flexión positiva

C6.4.6. Diagrama de flujo para el artículo 6.10.8

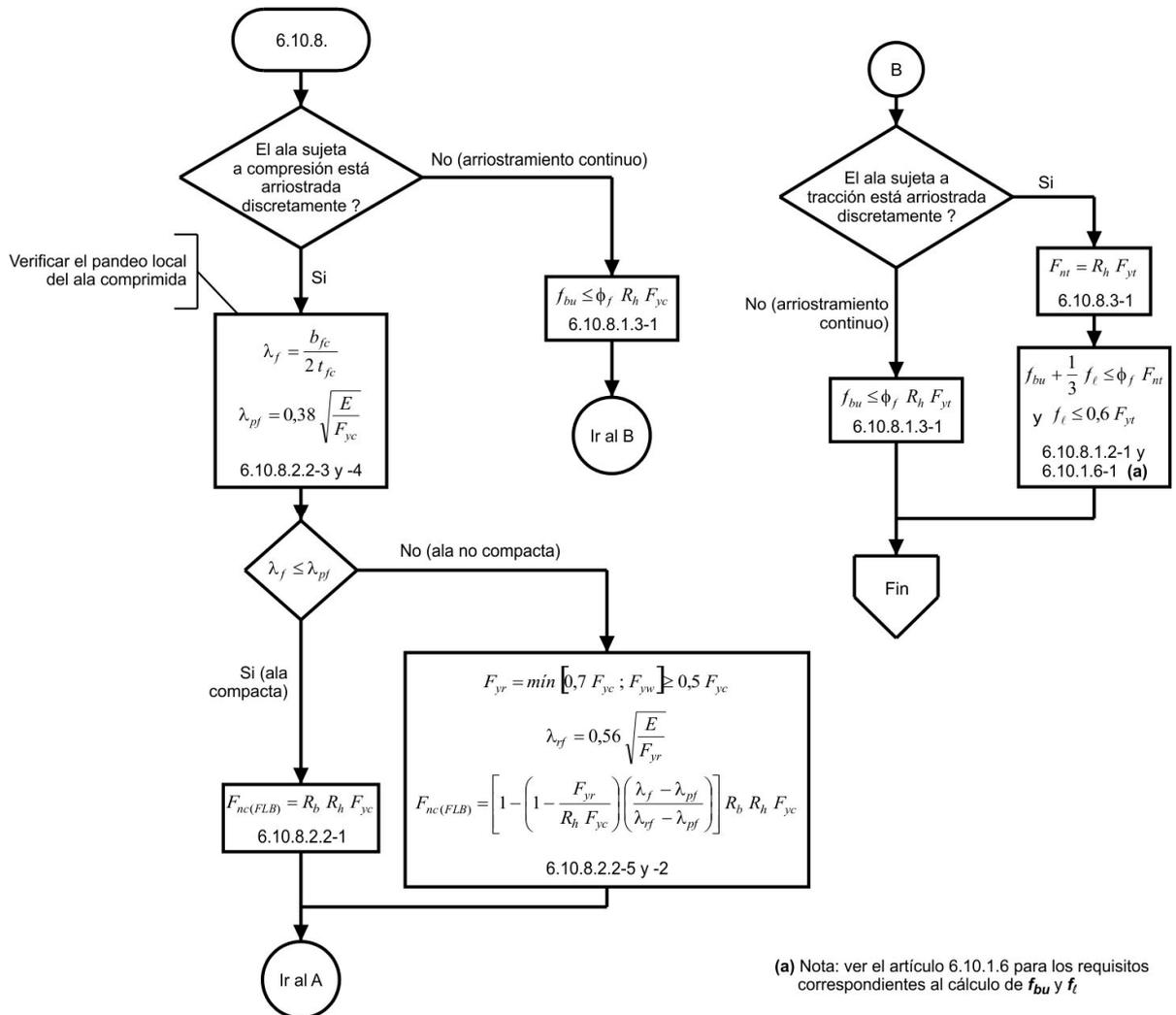


Figura C6.4.6-1. Diagrama de flujo para el artículo 6.10.8 – Secciones compuestas en flexión negativa y secciones no compuestas

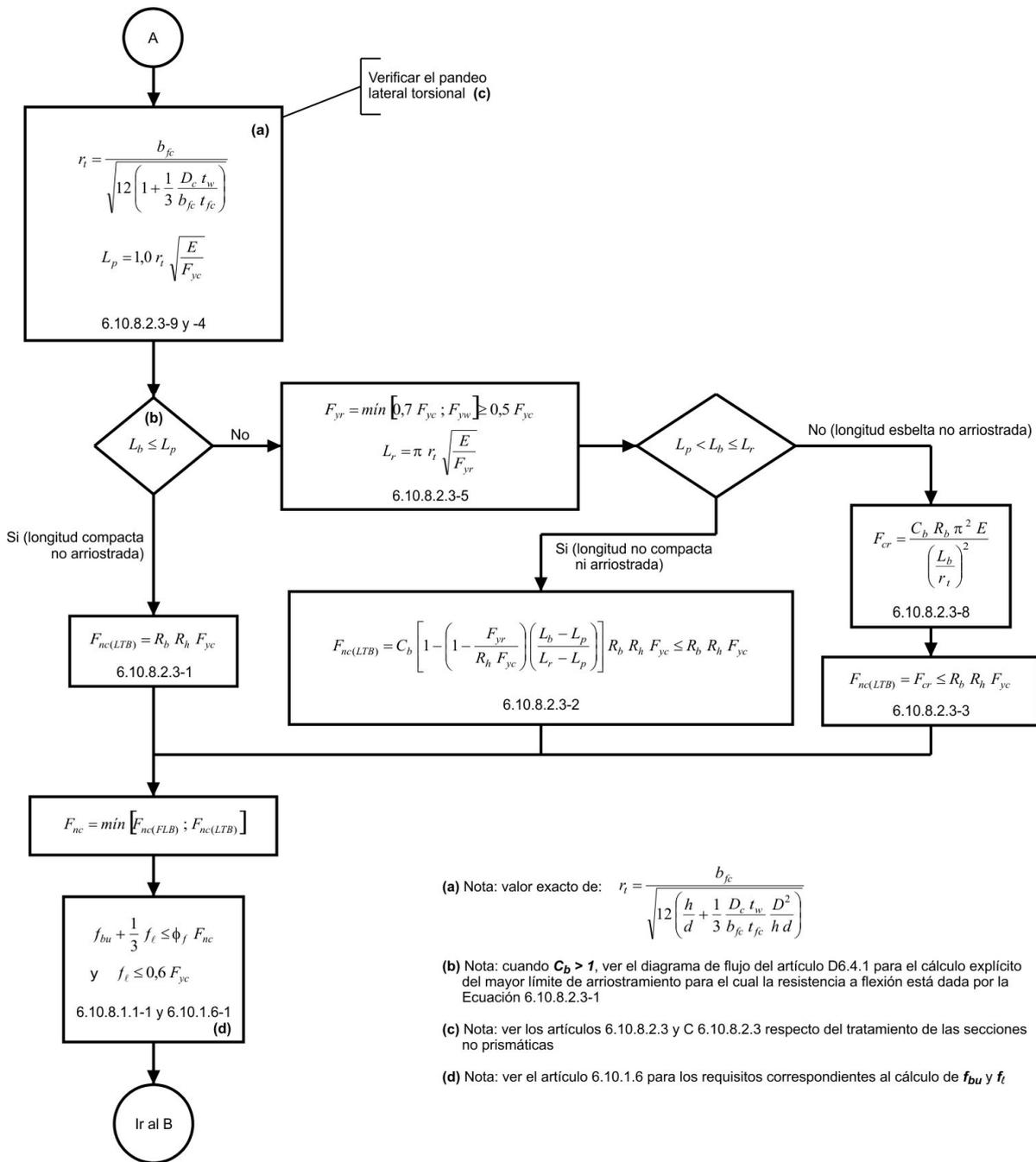


Figura C6.4.6-1 (cont). Diagrama de flujo para el artículo 6.10.8 – Secciones compuestas en flexión negativa y secciones no compuestas

C6.4.7. Diagrama de flujo para el apéndice A6

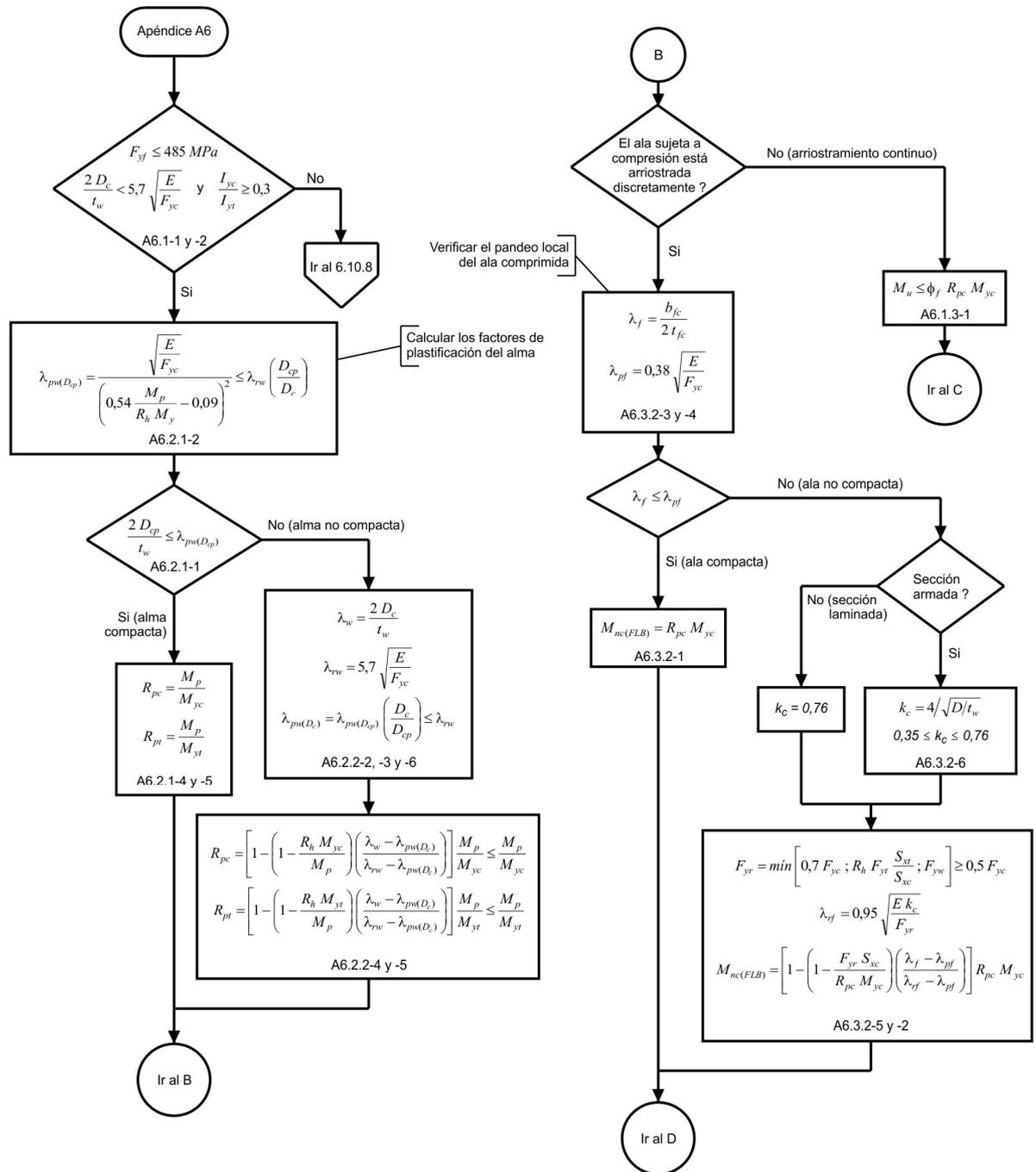


Figura C6.4.7-1. Diagrama de flujo para el apéndice A6 – Resistencia a la flexión - Secciones compuestas en flexión negativa y secciones no compuestas con almas compactas o no compactas.

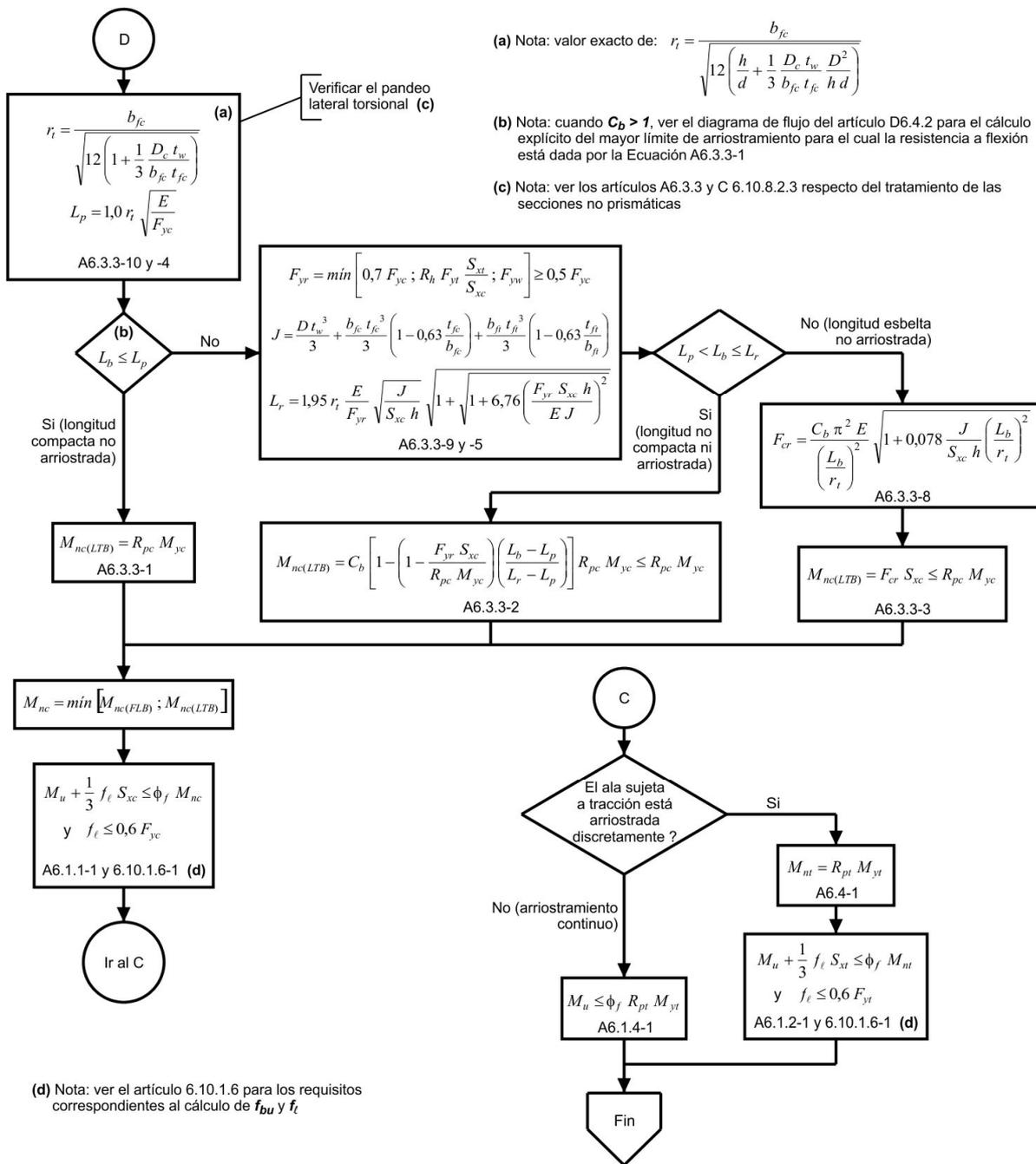


Figura C6.4.7-1 (cont). Diagrama de flujo para apéndice A6 – Resistencia a la flexión - Secciones compuestas en flexión negativa y secciones no compuestas con almas compactas o no compactas.

C6.4.8. Diagrama de flujo para el artículo D6.4.1

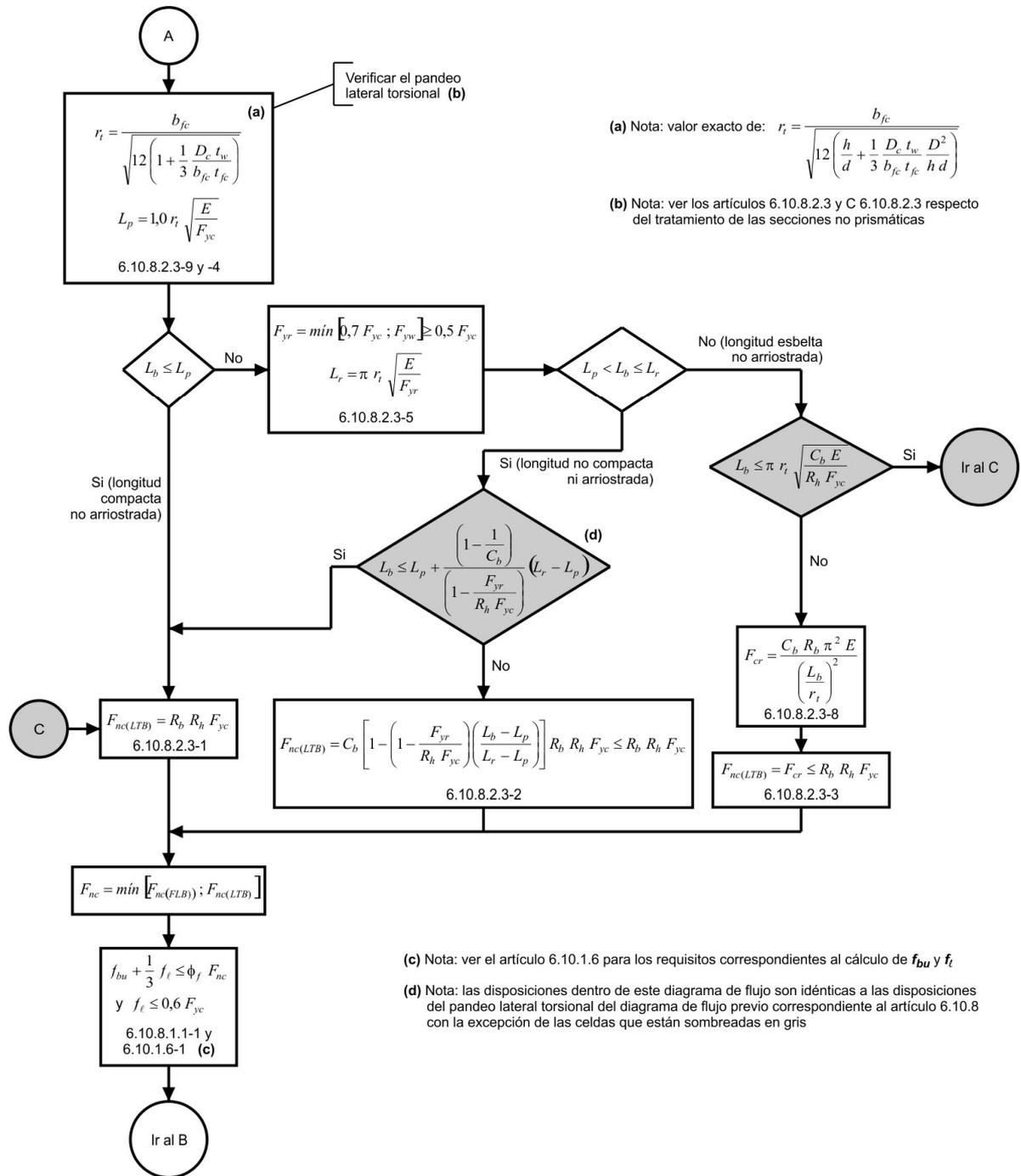


Figura C6.4.8-1. Diagrama de flujo para el artículo D6.4.1 – Requisitos para pandeo lateral torsional del artículo 6.10.8.2.3 con énfasis en los requisitos sobre longitud no arriostrada para el desarrollo de la máxima resistencia a la flexión.

C6.4.9. Diagrama de flujo para el artículo D6.4.2

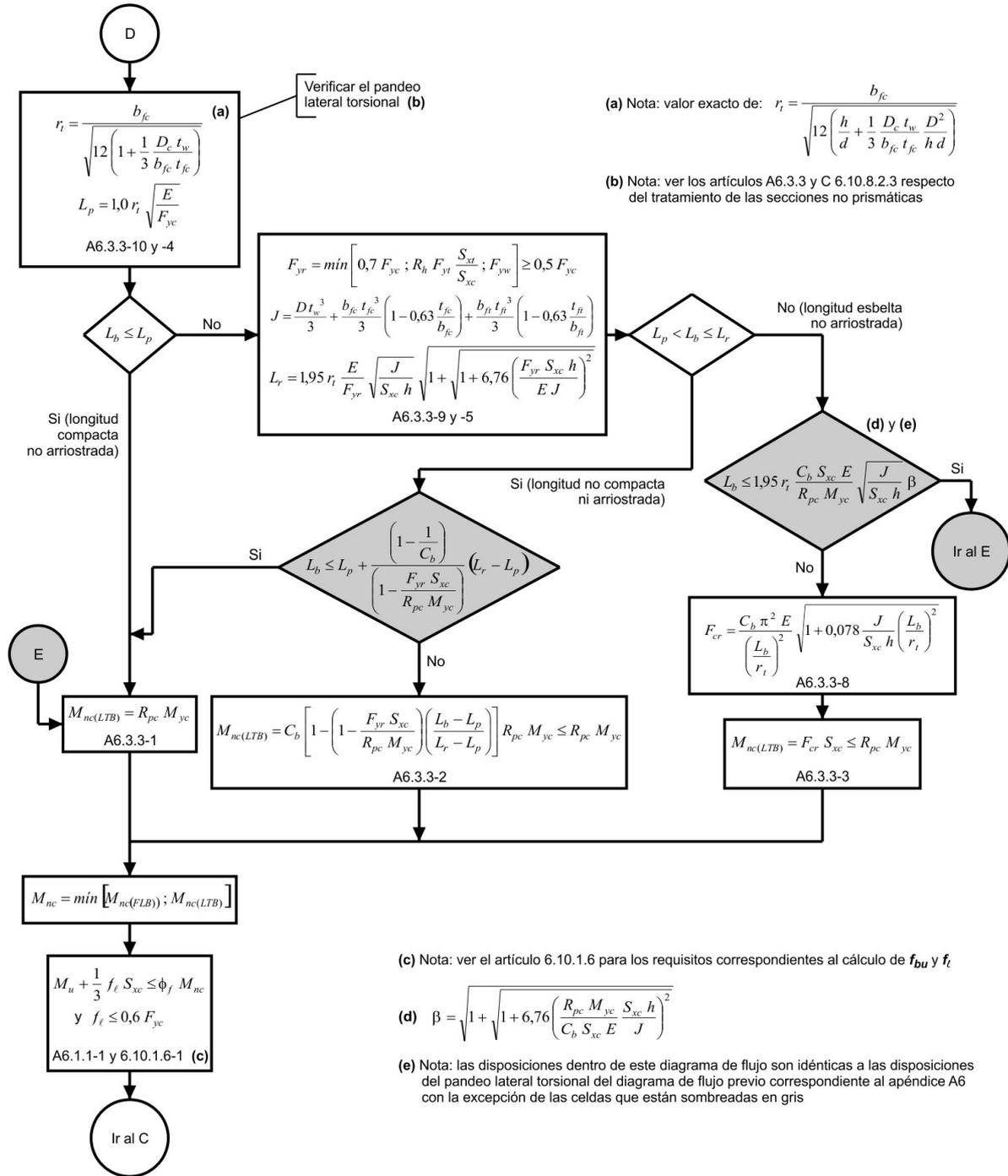


Figura C6.4.9-1. Diagrama de flujo para el artículo D6.4.2 – Requisitos para pandeo lateral torsional del artículo A6.3.3 con énfasis en los requisitos sobre longitud no arriostrada para el desarrollo de la máxima resistencia a la flexión.

C6.4.10. Modificador del gradiente de momentos, C_b (casos de muestra)

Miembros o voladizos no arriostrados donde $f_{mid}/f_2 > 1$ o $f_2 = 0$: $C_b = 1$

De lo contrario: $C_b = 1,75 - 1,05 (f_1/f_2) + 0,3 (f_1/f_2)^2 \leq 2,3$

Si la variación del momento es cóncavo entre los puntos de arriostramiento: $f_1 = f_0$

De lo contrario: $f_1 = 2 f_{mid} - f_2 \geq f_0$

Ejemplos:

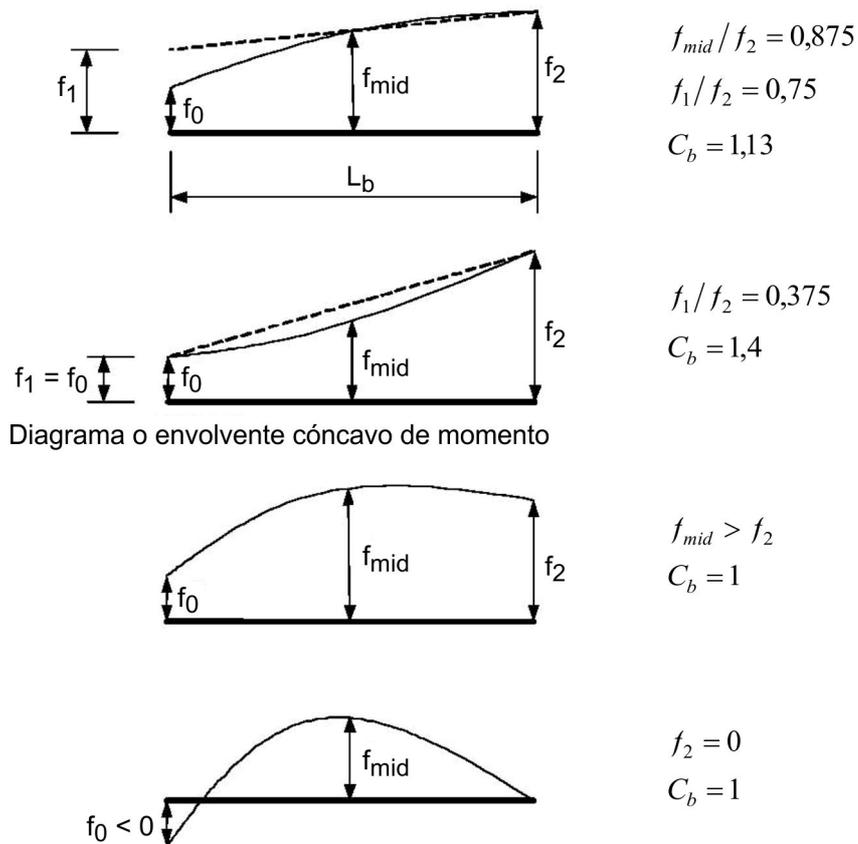


Figura C6.4.10-1. Modificador del gradiente de momentos, C_b (casos de muestra).

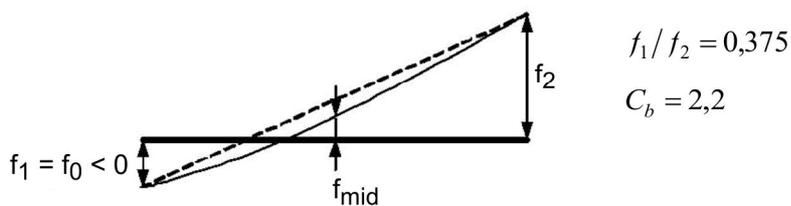
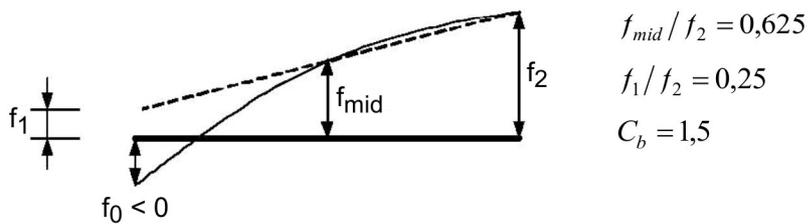
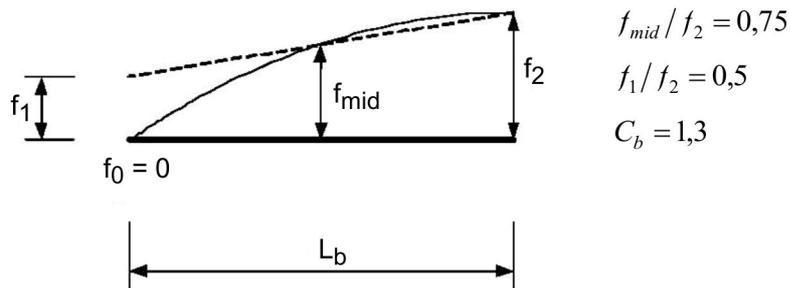


Diagrama o envolvente cóncavo de momento

Nota: Los ejemplos de arriba suponen que el miembro es prismático dentro de la longitud no arriostrada, o la transición a secciones pequeñas está dentro de $0,3 L_b$ desde el punto de arriostramiento con el momento más bajo. De lo contrario, utilizar $C_b = 1$.

Figura C6.4.10-1 (cont). Modificador del gradiente de momentos, C_b (casos de muestra).

APÉNDICE D6. CÁLCULOS FUNDAMENTALES PARA MIEMBROS SOLICITADOS A FLEXIÓN

D6.1. MOMENTO PLÁSTICO

El momento plástico, M_p , se debe calcular como el momento de las fuerzas plásticas alrededor del eje neutro plástico. Las fuerzas plásticas en las porciones de acero de una sección transversal se deben calcular utilizando las tensiones de fluencia de las alas, del alma, y de las armaduras de acero, según corresponda. Las fuerzas plásticas en las partes de hormigón de la sección transversal que están sujetas a compresión se pueden basar en un bloque rectangular de tensiones con un esfuerzo de compresión de magnitud igual a $0,85 \cdot f'_c$. El hormigón sujeto a tracción se deberá despreciar.

La posición del eje neutro plástico estará determinada por la condición de equilibrio que establece que la fuerza axial neta es nula.

El momento plástico de una sección compuesta en flexión positiva se puede determinar de la siguiente manera:

- Calculando las fuerzas del elemento y utilizarlas para determinar si el eje neutro plástico se encuentra en el alma, ala superior o tablero de hormigón;
- Calculando la ubicación del eje neutro plástico dentro del elemento determinado en el primer paso, y
- Calculando M_p . En la Tabla D6.1-1 se indican las ecuaciones para las diversas ubicaciones potenciales del eje neutro plástico.

Las fuerzas en la armadura longitudinal se pueden despreciar de manera conservadora. Para hacer esto, en las ecuaciones de la Tabla D6.1-1 se deben establecer que P_{rb} y P_{rt} sean iguales a **cero**.

El momento plástico de una sección compuesta en flexión negativa se puede calcular mediante un procedimiento análogo. En la Tabla D6.1-2 se indican las ecuaciones para los dos casos más habituales en la práctica.

El momento plástico de una sección no compuesta se puede calcular eliminando los términos correspondientes al tablero de hormigón y de la armadura longitudinal de las ecuaciones para secciones compuestas indicadas en las Tablas D6.1-1 y D6.1-2.

En las ecuaciones para M_p indicadas en las Tablas D6.1-1 y D6.1-2, d es la distancia desde la fuerza en un elemento hasta el eje neutro plástico. Las fuerzas en el elemento actúan en (a) la mitad del espesor de las alas y en el tablero de hormigón, (b) la mitad de la altura del alma, y (c) el centro de las armaduras. Todas las fuerzas, dimensiones y distancias de los elementos se deberán considerar positivas. Las condiciones se deberían verificar en el orden indicado en las Tablas D6.1-1 y D6.1-2.

Tabla D6.1-1. Cálculo de \bar{Y} y M_p para secciones en flexión positiva

Caso	PNA (Eje neutro plástico)	Condición	\bar{Y} y M_p
I	En el alma	$P_t + P_w \geq P_c + P_s + P_{rb} + P_{rt}$	$\bar{Y} = \left(\frac{D}{2}\right) \left[\frac{P_t - P_c - P_s - P_{rt} - P_{rb}}{P_w} + 1 \right]$ $M_p = \frac{P_w}{2D} \left[\bar{Y}^2 + (D - \bar{Y})^2 \right] + [P_s d_s + P_{rt} d_{rt} + P_{rb} d_{rb} + P_c d_c + P_t d_t]$
II	En el ala superior	$P_t + P_w + P_c \geq P_s + P_{rb} + P_{rt}$	$\bar{Y} = \left(\frac{t_c}{2}\right) \left[\frac{P_w + P_t - P_s - P_{rt} - P_{rb}}{P_c} + 1 \right]$ $M_p = \frac{P_c}{2t_c} \left[\bar{Y}^2 + (t_c - \bar{Y})^2 \right] + [P_s d_s + P_{rt} d_{rt} + P_{rb} d_{rb} + P_w d_w + P_t d_t]$
III	Tablero de hormigón, debajo de P_{rb}	$P_t + P_w + P_c \geq \left(\frac{c_{rb}}{t_s}\right) P_s + P_{rb} + P_{rt}$	$\bar{Y} = (t_s) \left[\frac{P_c + P_w + P_t - P_{rt} - P_{rb}}{P_s} \right]$ $M_p = \left(\frac{\bar{Y}^2}{2t_s} P_s\right) + [P_{rt} d_{rt} + P_{rb} d_{rb} + P_c d_c + P_w d_w + P_t d_t]$
IV	Tablero de hormigón, en P_{rb}	$P_t + P_w + P_c + P_{rb} \geq \left(\frac{c_{rb}}{t_s}\right) P_s + P_{rt}$	$\bar{Y} = c_{rb}$ $M_p = \left(\frac{\bar{Y}^2}{2t_s} P_s\right) + [P_{rt} d_{rt} + P_c d_c + P_w d_w + P_t d_t]$
V	Tablero de hormigón, arriba de P_{rb} y debajo de P_{rt}	$P_t + P_w + P_c + P_{rb} \geq \left(\frac{c_{rt}}{t_s}\right) P_s + P_{rt}$	$\bar{Y} = (t_s) \left[\frac{P_{rb} + P_c + P_w + P_t - P_{rt}}{P_s} \right]$ $M_p = \left(\frac{\bar{Y}^2}{2t_s} P_s\right) + [P_{rt} d_{rt} + P_{rb} d_{rb} + P_c d_c + P_w d_w + P_t d_t]$
VI	Tablero de hormigón, en P_{rt}	$P_t + P_w + P_c + P_{rb} + P_{rt} \geq \left(\frac{c_{rt}}{t_s}\right) P_s$	$\bar{Y} = c_{rt}$ $M_p = \left(\frac{\bar{Y}^2}{2t_s} P_s\right) + [P_{rb} d_{rb} + P_c d_c + P_w d_w + P_t d_t]$
VII	Tablero de hormigón, arriba de P_{rt}	$P_t + P_w + P_c + P_{rb} + P_{rt} < \left(\frac{c_{rt}}{t_s}\right) P_s$	$\bar{Y} = (t_s) \left[\frac{P_{rb} + P_c + P_w + P_t + P_{rt}}{P_s} \right]$ $M_p = \left(\frac{\bar{Y}^2}{2t_s} P_s\right) + [P_{rt} d_{rt} + P_{rb} d_{rb} + P_c d_c + P_w d_w + P_t d_t]$

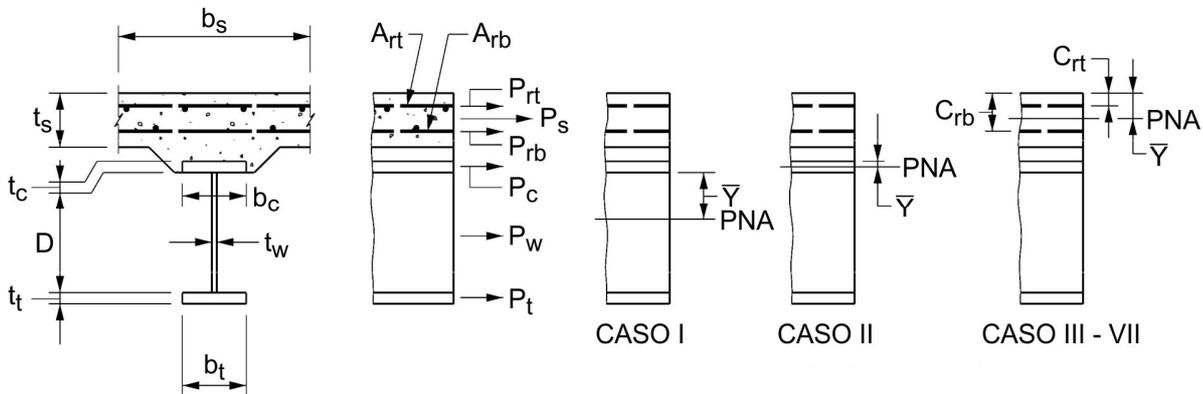
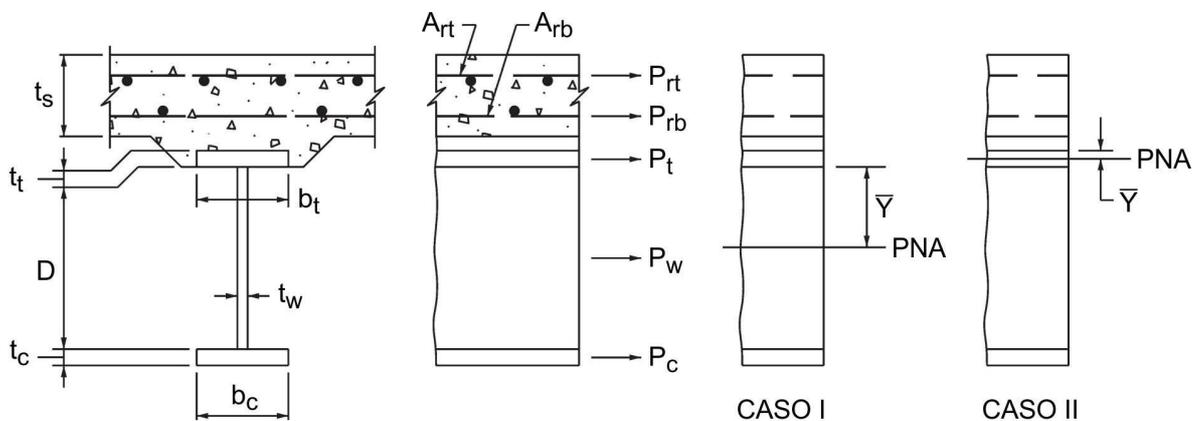


Tabla D6.1-2. Cálculo de \bar{Y} y M_p para secciones en flexión negativa

Caso	PNA (Eje neutro plástico)	Condición	\bar{Y} y M_p
I	En el alma	$P_c + P_w \geq P_t + P_{rb} + P_{rt}$	$\bar{Y} = \left(\frac{D}{2}\right) \left[\frac{P_c - P_t - P_{rt} - P_{rb} + 1}{P_w} \right]$ $M_p = \frac{P_w}{2D} \left[\bar{Y}^2 + (D - \bar{Y})^2 \right] + [P_{rt} d_{rt} + P_{rb} d_{rb} + P_t d_t + P_c d_c]$
II	En el ala superior	$P_c + P_w + P_t \geq P_{rb} + P_{rt}$	$\bar{Y} = \left(\frac{t_t}{2}\right) \left[\frac{P_w + P_c - P_{rt} - P_{rb} + 1}{P_t} \right]$ $M_p = \frac{P_t}{2t_t} \left[\bar{Y}^2 + (t_t - \bar{Y})^2 \right] + [P_{rt} d_{rt} + P_{rb} d_{rb} + P_w d_w + P_c d_c]$



en el cual:

$$P_{rt} = F_{yrt} A_{rt}$$

$$P_s = 0,85 f'_c b_s t_s$$

$$P_{rb} = F_{yrb} A_{rb}$$

$$P_c = F_{yc} b_c t_c$$

$$P_w = F_{yw} D t_w$$

$$P_t = F_{yt} b_t t_t$$

D6.2. MOMENTO DE FLUENCIA

D6.2.1. Secciones no compuestas

El momento de fluencia, M_y , de una sección no compuesta se debe tomar como el menor valor entre el momento requerido para generar la primera fluencia nominal en el ala sujeta a compresión, M_{yc} , y el momento requerido para generar la primera fluencia nominal en el ala sujeta a tracción, M_{yt} , en el estado límite de resistencia. En este cálculo se deberán desprestigiar la flexión lateral del ala, en todos los tipos de secciones, y la fluencia del alma en las secciones híbridas.

D6.2.2. Secciones compuestas en flexión positiva

El momento de fluencia de una sección compuesta en flexión positiva se debe tomar como la suma de los momentos aplicados separadamente al acero y a las secciones compuestas a corto y a largo plazo para generar la primera fluencia nominal en cualquiera de las alas de acero en el estado límite de resistencia. En este cálculo se deberán desprestigiar la flexión lateral del ala, en todos los tipos de secciones, y la fluencia del alma en las secciones híbridas.

El momento de fluencia de una sección compuesta en flexión positiva se puede determinar de la siguiente manera:

- Calcular el momento M_{D1} debido a la carga permanente mayorada aplicada antes que el tablero de hormigón haya endurecido o se haya efectivizado la acción compuesta. Aplicar este momento a la sección de acero.
- Calcular el momento M_{D2} debido al resto de la carga permanente mayorada. Aplicar este momento a la sección compuesta a largo plazo.
- Calcular el momento adicional M_{AD} que se debe aplicar a la sección compuesta a corto plazo para generar la fluencia nominal en cualquiera de las alas de acero.
- El momento de fluencia es la suma del momento debido a la carga permanente total y el momento adicional.

Simbólicamente, el procedimiento es:

1) Resolver para M_{AD} de la siguiente ecuación:

$$F_{yf} = \frac{M_{D1}}{S_{NC}} + \frac{M_{D2}}{S_{LT}} + \frac{M_{AD}}{S_{ST}} \quad (D6.2.2-1)$$

2) Luego calcular:

$$M_y = M_{D1} + M_{D2} + M_{AD} \quad (D6.2.2-2)$$

donde:

S_{NC} = módulo de la sección no compuesta, en mm^3 .

S_{ST} = módulo de la sección compuesta a corto plazo, en mm^3 .

S_{LT} = módulo de la sección compuesta a largo plazo, en mm^3 .

M_{D1} , M_{D2} y M_{AD} = momentos debido a las cargas mayoradas aplicadas a las secciones correspondientes, en Nmm.

M_y se deberá tomar como el menor valor calculado para el ala sujeta a compresión, M_{yc} , o el ala sujeta a tracción, M_{yt} .

D6.2.3. Secciones compuestas en flexión negativa

Para las secciones compuestas en flexión negativa, se debe seguir el procedimiento especificado en el artículo D6.2.2, excepto que la sección compuesta tanto para los momentos a corto y largo plazo debe consistir de la sección de acero y de la armadura longitudinal dentro del ancho efectivo del tablero de hormigón.

Por lo tanto, S_{ST} y S_{LT} tienen el mismo valor. Además, M_{yt} se debe tomar con respecto ya sea al ala sujeta a tracción o a la armadura longitudinal, cualquiera sea el que entre primero en fluencia.

D6.2.4. Secciones con platabandas

Para las secciones que contienen platabandas en las alas, M_{yc} o M_{yt} se debe tomar como el menor valor del momento asociado con la primera fluencia nominal con base en el esfuerzo ya sea en el ala en consideración o en cualquiera de las platabandas unidas a dicha ala, cualquiera sea el que entre primero en fluencia. En este cálculo se deberán desprestigiar la flexión lateral del ala, en todos los tipos de secciones, y la fluencia del alma en las secciones híbridas.

D6.3. ALTURA DEL ALMA SUJETA A COMPRESIÓN

D6.3.1. En el rango elástico (D_c)

Para las secciones compuestas en flexión positiva, la altura del alma sujeta a compresión en el rango elástico, D_c , será la altura sobre la cual la suma algebraica de los esfuerzos en las secciones de acero, compuestas a corto y largo plazo debidos a las cargas permanentes y sobrecargas, más las cargas de impacto, es de compresión.

En lugar de calcular D_c , en las secciones en flexión positiva, a partir de los diagramas de esfuerzos, se puede utilizar la siguiente ecuación:

$$D_c = \left(\frac{-f_c}{|f_c| + f_t} \right) d - t_{fc} \geq 0 \quad (D6.3.1-1)$$

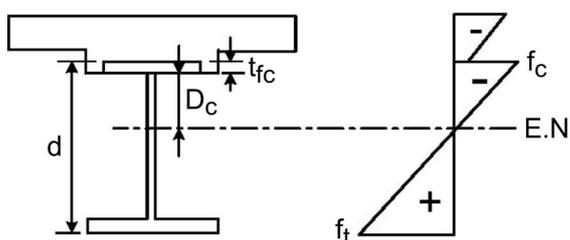


Figura D6.3.1-1. Cálculo de D_c en secciones de flexión positiva.

donde:

d = altura de la sección de acero, en mm.

f_c = sumatoria de los esfuerzos en el ala sujeta a compresión debido a las diferentes cargas, esto es, **DC1**, carga permanente que actúa sobre la sección no compuesta, **DC2**, carga permanente que actúa sobre la sección compuesta a largo plazo, **DW**, carga correspondiente a la superficie de rodamiento, y **LL+IM**, actuando sobre sus respectivas secciones, en MPa. El valor de f_c se debe considerar negativo cuando el esfuerzo sea de compresión. En este cálculo se omite la flexión lateral del ala.

f_t = sumatoria de los esfuerzos en el ala sujeta a tracción debido a las diferentes cargas, en MPa. En este cálculo se omite la flexión lateral del ala.

Para las secciones compuestas en flexión negativa, D_c se debe calcular para la sección que consta de la viga primaria de acero más la armadura longitudinal con la excepción de lo siguiente. Para dichas secciones compuestas en flexión negativa en el estado límite de servicio, donde el tablero de hormigón se considera efectivo en tracción para el cálculo de los esfuerzos de flexión en la sección compuesta debidos a la combinación de cargas correspondiente al estado límite de servicio II, D_c se debe calcular a partir de la Ecuación D6.3.1-1.

D6.3.2. En el momento plástico (D_{cp})

Para las secciones compuestas en flexión positiva, la altura del alma sujeta a compresión en el momento plástico, D_{cp} , se deberá tomar de la siguiente manera para los casos de la Tabla D6.1-1 donde el eje neutro plástico está en el alma:

$$D_{cp} = \frac{D}{2} \left(\frac{F_{yt} A_t - F_{yc} A_c - 0,85 f'_c A_s - F_{yrs} A_{rs}}{F_{yw} A_w} + 1 \right) \quad (D6.3.2-1)$$

donde:

A_c = área del ala sujeta a compresión, en mm².

A_{rs} = área total de la armadura longitudinal dentro del ancho efectivo del tablero de hormigón, en mm².

A_s = área del tablero de hormigón, en mm².

A_t = área del ala sujeta a tracción, en mm².

A_w = área del alma, en mm².

D_{cp} = altura del alma sujeta a compresión en el momento plástico, en mm.

F_{yrs} = tensión de fluencia mínima especificada de la armadura longitudinal, en MPa.

Para todas las demás secciones compuestas en flexión positiva, D_{cp} se deberá tomar igual a **cero**.

Para las secciones compuestas en flexión negativa, D_{cp} se deberá tomar de la siguiente manera para los casos de la Tabla D6.1-2 donde el eje neutro plástico está en el alma:

$$D_{cp} = \frac{D}{2 A_w F_{yw}} (F_{yt} A_t + F_{yw} A_w + F_{yrs} A_{rs} - F_{yc} A_c) \quad (D6.3.2-2)$$

Para todas las demás secciones compuestas en flexión negativa, D_{cp} se deberá tomar igual a D .

Para las secciones no compuestas donde:

$$F_{yw} A_w \geq |F_{yc} A_c - F_{yt} A_t| \quad (D6.3.2-3)$$

D_{cp} se debe tomar como:

$$D_{cp} = \frac{D}{2 A_w F_{yw}} (F_{yt} A_t + F_{yw} A_w - F_{yc} A_c) \quad (D6.3.2-4)$$

Para todas las demás secciones no compuestas, D_{cp} se deberá tomar igual a D .

D6.4. ECUACIONES DE PANDEO LATERAL TORSIONAL, PARA $C_b > 1,0$, CON ÉNFASIS EN LOS REQUISITOS SOBRE LONGITUD NO ARRIOSTRADA PARA EL DESARROLLO DE LA MÁXIMA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN

D6.4.1. Según los requisitos del artículo 6.10.8.2.3

Para longitudes no arriostradas en las cuales el miembro es prismático, la resistencia al pandeo lateral torsional del ala sujeta a compresión se deberá tomar como:

- Si $L_b \leq L_p$, entonces:

$$F_{nc} = R_b R_h F_{yc} \quad (D6.4.1-1)$$

- Si $L_p < L_b \leq L_r$, entonces:

- Si $L_b \leq L_p + \frac{\left(1 - \frac{1}{C_b}\right)}{\left(1 - \frac{F_{yr}}{R_h F_{yc}}\right)} (L_r - L_p)$, entonces:

$$F_{nc} = R_b R_h F_{yc} \quad (D6.4.1-2)$$

- Caso contrario:

$$F_{nc} = C_b \left[1 - \left(1 - \frac{F_{yr}}{R_h F_{yc}} \right) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] R_b R_h F_{yc} \leq R_b R_h F_{yc} \quad (D6.4.1-3)$$

- Si $L_b > L_r$, entonces:

- Si $L_b \leq \pi r_t \sqrt{\frac{C_b E}{R_h F_{yc}}}$, entonces:

$$F_{nc} = R_b R_h F_{yc} \quad (D6.4.1-4)$$

- Caso contrario:

$$F_{nc} = F_{cr} \leq R_b R_h F_{yc} \quad (D6.4.1-5)$$

Todos los términos de las ecuaciones anteriores se deberán tomar como se definen en el artículo 6.10.8.2.3.

D6.4.2. Según los requisitos del artículo A6.3.3

Para longitudes no arriostradas en las cuales el miembro es prismático, la resistencia a la flexión con base en el pandeo lateral torsional se deberá tomar como:

- Si $L_b \leq L_p$, entonces:

$$M_{nc} = R_{pc} M_{yc} \quad (D6.4.2-1)$$

- Si $L_p < L_b \leq L_r$, entonces:

- Si $L_b \leq L_p + \frac{\left(1 - \frac{1}{C_b}\right)}{\left(1 - \frac{F_{yr} S_{xc}}{R_{pc} M_{yc}}\right)} (L_r - L_p)$, entonces:

$$M_{nc} = R_{pc} M_{yc} \quad (D6.4.2-2)$$

- Caso contrario:

$$M_{nc} = C_b \left[1 - \left(1 - \frac{F_{yr} S_{xc}}{R_{pc} M_{yc}} \right) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] R_{pc} M_{yc} \leq R_{pc} M_{yc} \quad (D6.4.2-3)$$

- Si $L_b > L_r$, entonces:

- Si $L_b \leq 1,95 r_t \frac{C_b S_{xc} E}{R_{pc} M_{yc}} \sqrt{\frac{J}{S_{xc} h}} \sqrt{1 + \sqrt{1 + 6,76 \left(\frac{R_{pc} M_{yc} S_{xc} h}{C_b S_{xc} E J} \right)^2}}$, entonces:

$$M_{nc} = R_{pc} M_{yc} \quad (D6.4.2-4)$$

- Caso contrario:

$$M_{nc} = F_{cr} S_{xc} \leq R_{pc} M_{yc} \quad (D6.4.2-5)$$

Todos los términos de las ecuaciones anteriores se deberán tomar como se definen en el artículo A6.3.3.

D6.5. CARGAS CONCENTRADAS APLICADAS A ALMAS SIN RIGIDIZADORES DE APOYO

D6.5.1. Requisitos generales

En los apoyos y en otras ubicaciones sujetas a cargas concentradas, donde las cargas no se transmiten a través de un tablero o sistema de tablero, las almas sin rigidizadores de apoyo se deben analizar para los estados límite de fluencia local del alma y al pandeo localizado del alma de acuerdo con los requisitos de los artículos D6.5.2 y D6.5.3.

D6.5.2. Fluencia local del alma

Las almas, sujetas a cargas concentradas de compresión o tracción, deberán satisfacer:

$$R_u \leq \phi_b R_n \quad (D6.5.2-1)$$

en el cual:

R_n = resistencia nominal a la carga concentrada, en N.

- Para las reacciones de las pilas interiores y para las cargas concentradas aplicadas a una distancia mayor que d a partir del extremo del miembro:

$$R_n = (5k + N) F_{yw} t_w \quad (D6.5.2-2)$$

- En caso contrario:

$$R_n = (2,5k + N) F_{yw} t_w \quad (D6.5.2-3)$$

donde:

ϕ_b = factor de resistencia por aplastamiento, especificado en el artículo 6.5.4.2

d = altura de la sección de acero, en mm.

k = distancia desde la cara exterior del ala, que resiste la carga concentrada o reacción de apoyo, hasta el talón del filete del alma, en mm.

N = longitud de apoyo, en mm. En los apoyos ubicados en los extremos N se debe tomar mayor o igual a k .

R_u = carga concentrada o reacción de apoyo mayorada, en N.

D6.5.3. Pandeo localizado del alma

Las almas, sujetas a cargas concentradas de compresión, deberán satisfacer:

$$R_u \leq \phi_w R_n \quad (\text{D6.5.3-1})$$

en el cual:

R_n = resistencia nominal a la carga concentrada, en N.

- Para las reacciones de las pilas interiores y para las cargas concentradas aplicadas a una distancia mayor o igual que $d/2$ a partir del extremo del miembro:

$$R_n = 0,8 t_w^2 \left[1 + 3 \left(\frac{N}{d} \right) \left(\frac{t_w}{t_f} \right)^{1,5} \right] \sqrt{\frac{E F_{yw} t_f}{t_w}} \quad (\text{D6.5.3-2})$$

- En caso contrario:

- Si $N/d \leq 0,2$, entonces:

$$R_n = 0,4 t_w^2 \left[1 + 3 \left(\frac{N}{d} \right) \left(\frac{t_w}{t_f} \right)^{1,5} \right] \sqrt{\frac{E F_{yw} t_f}{t_w}} \quad (\text{D6.5.3-3})$$

- Si $N/d > 0,2$, entonces:

$$R_n = 0,4 t_w^2 \left[1 + \left(\frac{4N}{d} - 0,2 \right) \left(\frac{t_w}{t_f} \right)^{1,5} \right] \sqrt{\frac{E F_{yw} t_f}{t_w}} \quad (\text{D6.5.3-4})$$

donde:

ϕ_w = factor de resistencia a la abolladura del alma, especificado en el artículo 6.5.4.2.

t_f = espesor del ala que resiste la carga concentrada o reacción de apoyo, en mm.

INTI

INSTITUTO NACIONAL DE
TECNOLOGÍA INDUSTRIAL



CIRSOC

CENTRO DE INVESTIGACIÓN DE LOS
REGLAMENTOS NACIONALES DE
SEGURIDAD PARA LAS OBRAS CIVILES