

Reglamento CIRSOC 303
Ministerio de Planificación Federal,
Inversión Pública y Servicios
Secretaría de Obras Públicas de la Nación

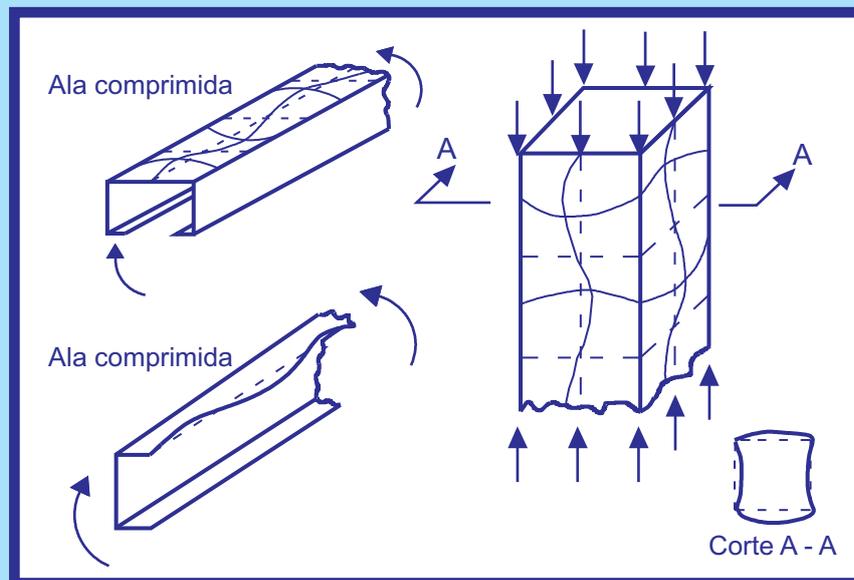
INTI

Instituto Nacional de
Tecnología Industrial



CIRSOC

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



***REGLAMENTO ARGENTINO DE
ELEMENTOS ESTRUCTURALES
DE ACERO DE SECCIÓN ABIERTA
CONFORMADOS EN FRÍO***

Julio 2009

***REGLAMENTO ARGENTINO
DE ELEMENTOS
ESTRUCTURALES DE ACERO
DE SECCIÓN ABIERTA
CONFORMADOS EN FRÍO***

EDICIÓN JULIO 2009



**Av. Cabildo 65 Subsuelo Ala Savio
(C1426AAA) Buenos Aires – República Argentina
TELEFAX. (54 11) 4779-5271 / 4779-5273**

**E-mail: cirsoc@inti.gov.ar
cirsoc@ffmm.gov.ar**

INTERNET: www.inti.gov.ar/cirsoc

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

Directora Técnica: Inga. Marta S. Parmigiani

Coordinadora Área Acciones: Inga. Alicia M. Aragno

Área Estructuras de Hormigón: Ing. Daniel A. Ortega

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

Área Venta de Publicaciones: Sr. Néstor D. Corti

© 2009

**Editado por INTI
INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGÍA INDUSTRIAL
Av. Leandro N. Alem 1067 – 7° piso - Buenos Aires. Tel. 4515-5001**

**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
Subsecretaría de Vivienda 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
Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires
Dirección Nacional de Vialidad
Vialidad de la Provincia de Buenos Aires
Consejo Interprovincial de Ministros de Obras Públicas
Cámara Argentina de la Construcción
Consejo Profesional de Ingeniería Civil
Cámara Industrial de Cerámica Roja
Asociación de Fabricantes de Cemento Pórtland
Techint
Acindar
Instituto Argentino de Normalización
Consejo Vial Federal

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 Argentina de Empresas de Fundaciones de Ingeniería Civil
Centro Argentino de Ingenieros
Instituto Argentino de Siderurgia
Telefónica de Argentina
Transportadora Gas del Sur
Sociedad Central de Arquitectos
Sociedad Argentina de Ingeniería Geotécnica
Quasdam Ingeniería
Colegio de Ingenieros de la Provincia de Buenos Aires
Cámara Argentina del Aluminio y Metales Afines

ASESORES QUE INTERVINIERON EN LA REDACCIÓN DEL

**REGLAMENTO ARGENTINO
DE ELEMENTOS
ESTRUCTURALES DE ACERO
DE SECCIÓN ABIERTA
CONFORMADOS EN FRÍO**

CIRSOC 303

**Ing. Gabriel Troglia
Ing. Gustavo Darin
Ing. Daniel Troglia**

COMISION PERMANENTE DE ESTRUCTURAS DE ACERO DE INTI-CIRSOC

Coordinador

Ing. Gabriel R. Troglia	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA, DEPARTAMENTO ESTRUCTURAS, FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS FISICAS Y NATURALES
	DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA, FACULTAD DE ARQUITECTURA URBANISMO Y DISEÑO

Integrantes:

Ing. Francisco Pedrazzi	INSTITUTO ARGENTINO DE SIDERURGIA
Ing. Horacio Rezk	UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES, FACULTAD DE INGENIERÍA
Ing. Arnaldo Mallamaci	UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN JUAN, FACULTAD DE INGENIERIA
Ing. Alejandro Sesin	TECHINT S.A.
Ing. Gustavo Darin	UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES, FACULTAD DE INGENIERÍA - U.T.N. FACULTAD REGIONAL BS. AS. - ASOCIACIÓN DE INGENIEROS ESTRUCTURALES
Ing. Juan C. Reimundin	UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUCUMÁN, FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y TECNOLOGIA
Inga. Nora Moncada	UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO, FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, INGENIERIA Y AGRIM., PROFESORA TITULAR CONSTRUCCIONES METÁLICAS II
Ing. Juan Carlos Piter	UNIVERSIDAD TECNOLOGICA NACIONAL, FACULTAD REGIONAL CONCEPCIÓN DEL URUGUAY
Ing. Hector Auad	UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUCUMÁN, FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y TECNOLOGÍA
Ing. Alejandro Giuliano	INPRES - INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN SÍSMICA
Ing. Fructuoso Berganza	CÁMARA DE FABRICANTES DE CAÑOS Y TUBOS DE ACERO
Ing. Adrián Puente Vergara	
Ing. Osvaldo R. Arario	ACINDAR S. A.
Ing. Faustino Amelong	

COMISION PERMANENTE DE ESTRUCTURAS DE ACERO DE INTI-CIRSOC

(*continuación*)

Ing. Daniel García Gei	UNIVERSIDAD TECNOLOGICA NACIONAL, FACULTAD REGIONAL MENDOZA
Ing. Pablo Alra	TENARIS-SIDERCA
Ing. Raul Cardoso	MARBY S.A.
Ing. Pablo Ruival	M. ROYO S.A.
Ing. Heriberto Martin	TUBOS ARGENTINOS S.A.
Ing. Oliva Hernández	IRAM
Ing. Oscar Troviano	MINISTERIO DE HACIENDA, FINANZAS Y OBRAS PÚBLICAS DE LA PROVINCIA DEL NEUQUEN, SUBSECRETARÍA DE OBRAS Y SERVICIOS PÚBLICOS
Ing. Enrique Trivelli	TUBHIER S.A.
Ing. Francisco Crisafulli	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO, FACULTAD DE INGENIERIA
Ing. José M Vidmar	INVITADO ESPECIAL
Ing. Antonio Coloccini	INVITADO ESPECIAL
Ing. Bruno Coloccini	INVITADO ESPECIAL
Ing. Juan Carlos Martínez	INVITADO ESPECIAL
Ing. Eduardo Asta	INVITADO ESPECIAL
Ing. Martín Polimeni	ASOCIACIÓN DE INGENIEROS ESTRUCTURALES - EEPP S.A
Ing. Héctor Ruffo	CINTER

RECONOCIMIENTO ESPECIAL

El **INTI-CIRSOC** agradece muy especialmente a las Autoridades del **American Iron Steel Construction (AISI)** por habernos permitido adoptar como base para el desarrollo de este Reglamento el documento "*Specification for the Design of Cold-Formed Steel Structural Member*", Edición 1996, como así también a las Autoridades del Comité Técnico conjunto integrado por **AISI**, **Canadian Standards Association** y la **Cámara Nacional de la Industria del Hierro y del Acero (CANACERO)** por permitirnos utilizar parte de las especificaciones que constituyen el documento conocido como **AISI Standard North American Specification for the Design of Cold Formed Steel Structural Members - 2001 Edition**.

ÍNDICE

SIMBOLOGÍA

GLOSARIO

CAPÍTULO A. ESPECIFICACIONES GENERALES

A.1. CAMPO DE VALIDEZ	1
A.1.1. Unidades	1
A.2. MATERIALES – Normas IRAM e IRAM – IAS de aplicación	
A.2.1. Acero Estructural	2
A.2.2. Tuercas y Arandelas	4
A.2.3. Tornillos auto-perforantes y autoroscantes	4
A.2.4. Metal de aporte y fundente para soldadura	4
A.2.5. Propiedades generales del acero	5
A.2.6. Ductilidad	5
A.2.7. Espesor mínimo	5
A.2.8. Límite de fluencia e incremento de la resistencia debido a la conformación en frío	5
A.2.8.1. Límite de fluencia	5
A.2.8.2. Incremento de la resistencia debido al conformado en frío	5
A.3. ACCIONES	
(a) Acciones permanentes	7
(b) Acciones variables	7
(c) Acciones accidentales	8
(d) Acumulación de agua	8
(e) Acciones originadas en el armado y montaje	8
A.4. PROYECTO POR FACTORES DE CARGA Y RESISTENCIA	
A.4.1. Bases del proyecto	9
A.4.2. Dimensionado para estados límites últimos (Condición de resistencia)	9
A.4.3. Combinación de acciones para los estados límites últimos	10
A.4.4. Dimensionado para estados límites de servicio (Condición de deformaciones)	11
A.5. ANÁLISIS ESTRUCTURAL	
A.5.1. Métodos de análisis	11
A.5.2. Análisis global elástico	11
A.5.3. Efecto de las deformaciones (Efectos de Segundo Orden)	12
A.5.4. Estabilidad de la estructura y de sus elementos estructurales	12
A.6. REGLAMENTOS DE APLICACIÓN	13
A.7. DOCUMENTACIÓN DE PROYECTO Y DOCUMENTACIÓN CONFORME A OBRA	14

A.7.1. Documentación de Proyecto	14
A.7.1.1. Planos	14
A.7.1.2. Memoria de cálculo	15
A.7.1.3. Especificaciones	16
A.7.2. Documentación conforme a obra	16

CAPÍTULO B. ELEMENTOS

B.1. LIMITACIONES Y CONSIDERACIONES SOBRE LAS DIMENSIONES	17
B.1.1. Consideraciones sobre la relación entre el ancho plano de las alas y su espesor	17
B.1.2. Máxima relación entre la altura del alma y su espesor	19
B.2. ANCHOS EFECTIVOS DE LOS ELEMENTOS RIGIDIZADOS	20
B.2.1. Elementos rigidizados uniformemente comprimidos	20
B.2.2. Elementos rigidizados uniformemente comprimidos con perforaciones circulares	22
B.2.3. Almas y otros elementos rigidizados con tensiones linealmente variables	23
B.2.4. Almas de secciones C con perforaciones y tensiones linealmente variables	25
B.3. ANCHOS EFECTIVOS DE LOS ELEMENTOS NO RIGIDIZADOS	
B.3.1. Elementos no rigidizados uniformemente comprimidos	26
B.3.2. Elementos no rigidizados y rigidizadores de borde con tensiones variables	26
B.4. ANCHOS EFECTIVOS DE LOS ELEMENTOS CON UN RIGIDIZADOR INTERMEDIO O UN RIGIDIZADOR DE BORDE	27
B.4.1. Elementos uniformemente comprimidos con un rigidizador intermedio	28
B.4.2. Elementos uniformemente comprimidos con un rigidizador de borde	29
B.5. ANCHOS EFECTIVOS DE ELEMENTOS RIGIDIZADOS CON MÁS DE UN RIGIDIZADOR INTERMEDIO O ELEMENTOS RIGIDIZADOS EN SUS BORDES Y CON RIGIDIZADORES INTERMEDIOS	
B.5.1. Anchos efectivos de elementos uniformemente comprimidos rigidizados con más de un rigidizador intermedio	30
B.5.1.1. Caso particular: "n" rigidizadores idénticos, igualmente espaciados	32
B.5.1.2. Caso general: Rigidizadores con ubicación, tamaño y cantidad arbitraria	32
B.5.2. Elementos con rigidizador de borde y rigidizadores intermedios	34

CAPÍTULO C. ESPECIFICACIONES PARA EL DISEÑO DE BARRAS

C.1. PROPIEDADES DE LAS SECCIONES	35
C.2. BARRAS TRACCIONADAS	35

C.3. BARRAS FLEXADAS	36
C.3.1. Resistencia para flexión simple	36
C.3.1.1. Resistencia nominal de secciones lateralmente arriostradas en forma continua	36
C.3.1.2. Resistencia al pandeo lateral-torsional	36
C.3.1.2.1 Resistencia al pandeo lateral-torsional de barras de sección abierta	38
C.3.1.2.2. Pandeo lateral de alas comprimidas sin arriostramiento lateral (Secciones U, C y tableros con rigidizaciones múltiples)	42
C.3.1.3. Vigas con el ala traccionada unida en forma fija y continua a un tablero o revestimiento	45
C.3.1.4. Vigas de Sección C o Z con el ala comprimida unida a una cubierta o revestimiento de chapa plegada	47
C.3.2. Resistencia al Corte	47
C.3.2.1. Resistencia al Corte de barras con almas sin perforaciones	47
C.3.2.2. Resistencia al Corte de almas de secciones C con perforaciones	49
C.3.3. Flexión y Corte combinados	50
C.3.4. Pandeo localizado del alma	50
C.3.4.1. Resistencia al pandeo localizado en almas sin perforaciones	50
C.3.4.2. Resistencia al pandeo localizado en almas de secciones C con perforaciones	54
C.3.5. Flexión y pandeo localizado del alma combinados	55
C.3.6. Rigidizadores	57
C.3.6.1. Rigidizadores transversales de fuerza	57
C.3.6.2. Rigidizadores de corte	58
C.3.6.3. Rigidizadores que no satisfacen los requisitos	59
C.4. BARRAS AXILMENTE COMPRIMIDAS	59
C.4.1. Secciones no sometidas a pandeo torsional ni a pandeo flexo-torsional	60
C.4.2. Secciones con simetría doble o simetría simple sometidas a pandeo torsional o flexo-torsional	61
C.4.3. Secciones con simetría puntual	62
C.4.4. Secciones no simétricas	62
C.4.5. Barras con secciones armadas	62
C.4.6 Barras comprimidas que tienen en toda su longitud un ala unida al tablero o revestimiento mediante pasadores en forma discontinua	63
C.5. COMBINACIÓN DE ESFUERZO AXIL Y FLEXIÓN	65
C.5.1. Combinación de tracción y flexión	65
C.5.2. Combinación de compresión y flexión	66
C.5.2.1. Caso general	66
C.5.2.2. Barras armadas formadas por dos barras distanciadas unidas por planos de celosías o presillas (Grupo IV o Grupo V)	67
C.6. EFECTOS DE SEGUNDO ORDEN	67

C.6.1.(a).	Métodos Generales de Análisis Elástico de Segundo Orden	67
C.6.1.(b).	Análisis de Segundo Orden por amplificación de momentos elásticos de Primer Orden	67
CAPÍTULO D. CONJUNTOS ESTRUCTURALES		73
D.1. SECCIONES ARMADAS		73
D.1.1.	Secciones doble Te compuestas por dos perfiles C	73
D.1.2.	Separación de los medios de unión en elementos comprimidos	74
D.2. SISTEMAS MIXTOS		75
D.3. ARRIOSTRAMIENTO LATERAL		75
D.3.1. Columnas y vigas sometidas a cargas que no inducen torsión		75
D.3.1.1.	Arriostramientos discretos	76
D.3.1.2.	Arriostramientos mediante tableros o revestimientos que funcionen como diafragmas	76
D.3.2. Perfiles C y Z utilizados como vigas		76
D.3.2.1.	Arriostramiento de sistemas de cubierta sometidos a cargas gravitatorias que poseen el ala superior vinculada al revestimiento	76
D.3.2.2.	Alas no vinculadas al revestimiento	79
D.4. MONTANTES Y CONJUNTOS DE MONTANTES QUE INTEGRAN UN TABIQUE		81
D.4.1.	Montantes de tabiques comprimidos	82
D.4.2.	Montantes de tabiques solicitados a flexión	85
D.4.3.	Montantes de tabiques sometidos a carga axil y flexión	86
D.5. CONSTRUCCIÓN DE DIAFRAGMAS DE ACERO PARA ENTREPISOS, CUBIERTAS O TABIQUES		86
CAPÍTULO E. UNIONES Y MEDIOS DE UNIÓN		89
E.1. REQUISITOS GENERALES		89
E.2. UNIONES SOLDADAS		89
E.2.1.	Soldaduras a tope	89
E.2.2.	Soldaduras de tapón	90
E.2.2.1.	Corte	91
E.2.2.2.	Tracción	93
E.2.3.	Soldadura de costura	94
E.2.4.	Soldaduras de filete	96

E.2.5.	Soldaduras a tope acampanadas	98
E.2.6.	Soldaduras de resistencia por puntos	101
E.2.7.	Rotura en la sección neta de elementos que no sean chapas planas (retardo de corte)	102
E.3.	UNIONES ABULONADAS	103
E.3.1.	Resistencia a corte, separación y distancia a los bordes de los agujeros	104
E.3.2.	Rotura en la sección neta (Retardo de corte)	104
E.3.3.	Aplastamiento de la chapa en los agujeros	106
E.3.3.1.	Resistencia al aplastamiento con deformación permitida	106
E.3.3.2.	Resistencia al aplastamiento sin permitir deformación	107
E.3.4.	Resistencia al corte y a la tracción en los bulones	108
E.4.	UNIONES ATORNILLADAS	108
E.4.1.	Separación mínima	110
E.4.2.	Distancias mínimas a los bordes y a los extremos	111
E.4.3.	Resistencia al Corte	111
E.4.3.1.	Uniones sometidas a corte; limitaciones por volcamiento del tornillo y aplastamiento de la chapa	111
E.4.3.2.	Uniones sometidas a corte; limitación por la distancia al borde	111
E.4.3.3.	Resistencia al corte de los tornillos	111
E.4.4.	Resistencia a la tracción	112
E.4.4.1.	Arrancamiento	112
E.4.4.2.	Aplastamiento	112
E.4.4.3.	Resistencia a la tracción de los tornillos	112
E.5.	RESISTENCIA A LA ROTURA	112
E.5.1.	Rotura por corte	112
E.5.2.	Rotura por tracción	113
E.5.3.	Rotura de bloque de corte	113
E.6.	UNIONES CON OTROS MATERIALES	113
E.6.1.	Apoyos	113
E.6.2.	Tracción	113
E.6.3.	Corte	114
CAPÍTULO F.	ENSAYOS PARA CASOS ESPECIALES	115
F.1.	ENSAYOS PARA DETERMINAR EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL	115
F.2.	ENSAYOS PARA CONFIRMAR EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL	119
F.3.	ENSAYOS PARA DETERMINAR PROPIEDADES MECÁNICAS	119
F.3.1.	Sección bruta	119

F.3.2.	Elementos planos de secciones conformadas	120
F.3.3.	Acero virgen	120

SIMBOLOGÍA

El artículo que figura entre paréntesis al final de la definición de un símbolo se refiere al artículo del Reglamento donde el símbolo es definido o utilizado por primera vez

- A** longitud del panel de corte del elemento de alma no reforzada. Para un elemento de alma rigidizada, distancia entre rigidizadores transversales (C.3.2.1)
- A** distancia entre uniones intermedias (C.4.5)
- A** distancia entre el medio de unión y el borde externo del alma (C.4.6)
- A** distancia entre ejes de arriostramientos (D.3.2.2)
- A** área total no reducida de la sección transversal del miembro (C.3.1.2.1)
- A** área bruta o área de los miembros directamente unidos (E.2.7)
- A_b** para rigidizadores transversales en apoyos interiores y bajo cargas concentradas, $A_b = b_1 t + A_s$, y para rigidizadores transversales en apoyos extremos $A_b = b_2 t + A_s$ (C.3.6.1)
- A_b** área bruta de la sección transversal de un bulón (E.3.4)
- A_c** para rigidizadores transversales en apoyos interiores y bajo cargas concentradas, $A_c = 18t^2 + A_s$, y para rigidizadores transversales en apoyos extremos $A_c = 10t^2 + A_s$, (C.3.6.1)
- A_e** área efectiva a la tensión F_n (C.3.6.1, C.4)
- A_e** área neta efectiva (E.2.7)
- A_e** área de la sección transversal de la columna equivalente (C.3.1.2.2)
- A_g** área bruta del elemento incluyendo los rigidizadores (B.5.1)
- A_g** área bruta de la sección transversal (C.2)
- A_{gt}** área bruta solicitada a tracción (E.5.3)
- A_{gv}** área bruta solicitada a corte (E.5.3)
- A_n** área neta de la sección transversal (C.2)
- A_{nt}** área neta solicitada a tracción (E.5.3)

A_{nv}	área neta solicitada a corte (E.5.3)
A_s	área reducida de la sección transversal de un rigidizador de borde o intermedio (B.4)
A_s	área de la sección transversal de un rigidizador transversal (C.3.6.1)
A'_s	área efectiva de un rigidizador (B.4)
A_{st}	área bruta de la sección transversal de un rigidizador de corte (C.3.6.2)
A_w	área del alma (C.3.2.1)
A_{wn}	área neta del alma (E.5.1)
B_c	término para determinar el límite de fluencia a tracción de las esquinas (A.2.8.2)
B_1	factor de amplificación para el método de amplificación de momentos de primer orden (C.6.1.(b))
B_2	factor de amplificación para el método de amplificación de momentos de primer orden (C.6.1.(b))
b	ancho plano del ala de la viga que está en contacto con la placa de apoyo (C.3.5)
b	ancho plano de un elemento excluyendo los radios de esquina (B.1.1.)
b	longitud de la perforación del alma (B.2.4)
b	ancho de ala de perfil C o Z (C.4.6)
b_e	ancho efectivo de cálculo de un elemento o subelemento comprimido (B.2.1)
b_e	ancho efectivo de un elemento, ubicado en el baricentro de un elemento incluyendo los rigidizadores (B.5.1)
b_{ed}	ancho efectivo para el cálculo de las deformaciones (B.2.1)
b_o	dimensión definida en la Figura B.4-1 (B.4)
b_o	ancho total externo del ala comprimida definido en la Figura B.2-3 (B.2.3)
b_o	ancho plano total del elemento rigidizado (B.5.1)
b_o	ancho plano total del elemento con rigidizador de borde (B.5.2)
b_p	máximo ancho plano de un subelemento (B.5.1)
b_{e1}, b_{e2}	anchos efectivos definidos en la Figura B.2-2 (B.2.3)

b_1, b_2	anchos efectivos de los rigidizadores transversales (B.6.1)
C	- para miembros flexados: relación entre el área total de la sección transversal de las esquinas del ala comprimida y el área total de la sección transversal completa del ala comprimida. - para miembros comprimidos: relación entre el área total de la sección de las esquinas y el área total de la sección transversal completa (A.2.8.2)
C	coeficiente que se obtiene de Tablas (C.3.4.1)
C_N	coeficiente de longitud de apoyo (C.3.4.1)
C_R	coeficiente de radio de curvatura interno (C.3.4.1)
C_{TF}	coeficiente para momentos extremos (C.3.1.2.1)
C_b	coeficiente de flexión que depende del diagrama de momentos (C.3.1.2)
C_h	coeficiente de esbeltez del alma (C.3.4.1)
C_m	coeficiente para momentos extremos en fórmula de B_1 (C.6.1(b))
C_{ms}	coeficiente para arriostamiento lateral de un perfil Z (D.3.2.1)
C_o	imperfección inicial de una columna (D.4.1)
C_p	factor de corrección (F.1.1)
C_s	coeficiente para pandeo lateral torsional (C.3.1.2.1)
C_{th}	coeficiente para arriostamiento lateral de los perfiles Z (D.3.2.1)
C_{tr}	coeficiente para arriostamiento lateral de los perfiles Z (D.3.2.1)
C_v	coeficiente de los rigidizadores de corte (C.3.6.2)
C_w	módulo de alabeo torsional de la sección transversal (C.3.1.2.1)
C_y	factor de deformación por compresión (C.3.1.1)
C_1	término utilizado para calcular la deformación por corte en el revestimiento de los tabiques (D.4.1)
C_1, C_2, C_3	coeficientes de pandeo de barras comprimidas unidas al revestimiento (C.4.6)
c	distancia (C.3.2.2)
c_c	distancia entre el eje neutro y la fibra extrema comprimida (C.3.1.2.2)

c_f	desplazamiento vertical de las alas (longitud) (B.1.1)
c_i	distancia horizontal desde el borde del elemento hasta el baricentro del rigidizador (B.5.1)
c_t	distancia entre el eje neutro y la fibra extrema traccionada (C.3.1.2.2)
D	longitud total de un labio rigidizador (B.4.1)
D	coeficiente de rigidizador de corte (C.3.6.2)
D	carga permanente nominal (A.3)
D_o	imperfección inicial de una columna (D.4.1)
D	altura de una sección (B.1.1)
D	diámetro nominal de un tornillo (E.4)
D	longitud plana de un labio rigidizador definido en la Figura B.4-2 (B.4)
D	ancho de una soldadura de costura (E.2.3)
D	diámetro visible de la superficie exterior de una soldadura de tapón (E.2.2.1)
D	diámetro nominal de un bulón (E.3)
d_a	diámetro promedio de la soldadura de tapón en la mitad del espesor, t (E.2.2.1)
d_a	ancho promedio de la soldadura de costura (E.2.3)
d_e	diámetro efectivo de la superficie fundida (E.2.2)
d_e	ancho efectivo de la soldadura de costura en las superficies fundidas (E.2.3)
d_h	diámetro de un agujero normal (B.2.2, E3)
d_o	altura de un agujero del alma (B.2.4)
d_s	ancho efectivo reducido de un rigidizador (B.4)
d'_s	ancho efectivo real de un rigidizador (B.4)
d_w	mayor valor entre el diámetro de la cabeza del tornillo o el diámetro de la arandela (E.4)
E	módulo de elasticidad longitudinal del acero, (200.000 MPa) (A.2.5)
E	acción sísmica nominal (A.3)

E	distancia medida en la dirección de la fuerza entre el centro de un agujero normal y el borde más cercano de un agujero adyacente o hasta el extremo de la parte unida hacia la cual se dirige la fuerza (E.3.1)
E	distancia medida en la dirección de la fuerza desde el centro del agujero normal hasta el borde extremo de la parte unida (E.4.3.1)
E_o	imperfección inicial de una columna, medida como la torsión inicial del montante con respecto a la forma inicial ideal, no deformada (D.4.1)
E_1	término utilizado para calcular la deformación por corte en el revestimiento de los tabiques (D.4.1)
E'	módulo de elasticidad inelástico (D.4.1)
$e_{mín}$	distancia mínima admisible, medida en la dirección de la fuerza, desde el eje de una soldadura hasta el borde más cercano de una soldadura adyacente o hasta el extremo de la parte unida hacia la cual se dirige la fuerza (E.2.2.1)
e_y	deformación de fluencia = F_y/E (C.3.1.1)
F	acción nominal debida a líquidos (A.3)
F	factor de fabricación (F.1.1)
F_{EXX}	resistencia a tracción del metal de aporte (E.2.1)
F_c	tensión crítica de pandeo (B.2.1)
F_{cr}	tensión de pandeo elástico de placas (B.2.1)
F_e	tensión de pandeo elástico (C.3.1.2.1)
F_m	valor promedio del factor de fabricación (F.1.1)
F_n	tensión nominal de pandeo (B.2.1)
F_n	tensión nominal de los bulones (E.3.4)
F_{nt}	tensión nominal a la tracción de los bulones (E.3.4)
F_{nv}	tensión nominal al corte de los bulones (E.3.4)
F'_{nt}	resistencia nominal a la tracción para bulones sometidos a una combinación de corte y tracción (E.3.4)
F_{sy}	límite de fluencia de acuerdo con lo especificado en los artículos A.2.1 y A.2.8.1 (A.2.8.1)
F_t	tensión nominal de tracción en chapas planas (E.3.2)

F_u	resistencia de rotura a la tracción de acuerdo con lo especificado en el artículo A.2.1 (C.2)
F_{uv}	resistencia a la tracción del acero virgen, especificada en el artículo A.2.1 (A2.8.2)
F_{wy}	límite de fluencia para el diseño de rigidizadores transversales (C.3.6.1)
F_{u1}	resistencia a la tracción del acero del elemento que está en contacto con la cabeza del tornillo (E.4)
F_{u2}	resistencia a la tracción del acero del elemento que no está en contacto con la cabeza del tornillo (E.4)
F_v	tensión nominal a corte (E.3.2.1)
F_y	tensión de fluencia utilizada para el diseño, que no debe ser mayor que la tensión de fluencia especificada del acero, ni mayor que el valor incrementado por la conformación en frío dado en el artículo A.2.8.2, (A.2.8.1)
F_{ya}	tensión de fluencia promedio del acero en la sección (A.2.8.1)
F_{yc}	tensión de fluencia a tracción de las esquinas (A.2.8.1)
F_{yf}	promedio ponderado de la tensión de fluencia de las partes planas de la sección (A.2.8.1)
F_{ys}	tensión de fluencia del acero de los rigidizadores (C.3.6.1)
F_{yv}	tensión de fluencia a tracción del acero virgen especificado en el artículo A.2.1 o establecido de acuerdo con el artículo F3.3 (A.2.8.1)
f	tensión de compresión en el elemento determinada en base al ancho efectivo de cálculo (B.2.1)
f_{av}	tensión media calculada en el ancho total, no reducido, del ala (B.1.1)
f_c	tensión en la platabanda o chapa de refuerzo calculada para las cargas de servicio (D.1.2)
f_d	tensión de compresión calculada en servicio para el elemento analizado. Los cálculos se basan en la sección efectiva a la carga para la cual se determinan las deformaciones (B.2.1)
f_{d1}, f_{d2}	tensiones f_1 y f_2 calculadas como se ilustra en la Figura B.2-2. Los cálculos se basan en la sección efectiva a la carga para la cual se determinan las deformaciones (B.2.3)
f_{d3}	tensión f_3 calculada en el rigidizador de borde, como se ilustra en la Figura B.4-2. Los cálculos se basan en la sección efectiva a la carga para la cual se determinan las deformaciones (B.3.2)
f_v	tensión de corte calculada en un bulón (E.3.4)

f_1, f_2	tensiones en las almas definidas en la Figura B.2-2 (B.2.3)
f_3	tensión en el rigidizador de borde definido en la Figura B.4-2 (B.3.2)
G	módulo de elasticidad transversal del acero, (77.200 MPa) (A.2.5)
G'	módulo de elasticidad transversal inelástico del acero (D.4.1)
g	distancia vertical entre las dos filas de uniones más próximas a las alas superior e inferior (D.1.1)
g	distancia transversal entre dos líneas de agujeros (gramil) (E.3.2)
H	carga nominal debida al peso y empuje lateral del suelo y del agua presente en el suelo (A.3)
h	ancho del elemento adyacente a un elemento rigidizado (B.5.1)
h	altura de la parte plana del alma medida sobre el plano del alma (B.1.2)
h	altura del labio rigidizador definida en las Figuras E.2-14 a E.2-17 (E.2.5)
h_{eq}	distancia desde la fibra extrema comprimida que define la columna equivalente (C.3.1.2.2)
h_0	altura total externa del alma como se indica en la Figura B.2-3 (B.2.3)
h_{wc}	altura del alma rebajada (E.5.1)
I_a	momento de inercia adecuado de un rigidizador, necesario para que el elemento se comporte como rigidizado (B.1.1)
I_s	momento de inercia real del rigidizador respecto a su eje baricéntrico paralelo al elemento rigidizado (B.1.1)
I_{smin}	momento mínimo de inercia de un rigidizador de corte con respecto a un eje en el plano del alma (C.3.6.2)
I_{sp}	momento de inercia del rigidizador respecto del baricentro de la parte plana del elemento, incluyendo la parte curva que une el rigidizador con la parte plana (B.5.1)
I_x, I_y	momentos de inercia de la sección bruta sin reducir con respecto a los ejes principales (D.3.2.2)
I_{xy}	momento centrífugo de la sección bruta respecto a los ejes baricéntricos paralelo y perpendicular al alma (D.3.2.2)
I_{yc}	momento de inercia de la parte comprimida de la sección respecto del eje baricéntrico de la sección bruta paralelo al alma, utilizando la sección total no reducida. (C.3.1.2.1)
i	índice del rigidizador (B.5.1)

<i>J</i>	módulo de torsión de St. Venant de la sección transversal (C.3.1.2.1)
<i>J</i>	propiedad de la sección para pandeo lateral torsional (C.3.1.2.1)
<i>K'</i>	constante (D.3.2.2)
<i>k</i>	factor de longitud efectiva (C.4)
<i>k</i>	coeficiente de abolladura de placas (B.2.1)
<i>k_t</i>	factor de longitud efectiva para torsión (C.3.1.2.1)
<i>k_x</i>	factor de longitud efectiva para pandeo alrededor del eje x (C.3.1.2.1)
<i>k_y</i>	factor de longitud efectiva para pandeo alrededor del eje y (C.3.1.2.1)
<i>k_d</i>	coeficiente de abolladura para pandeo distorsional (B.5.1)
<i>k_{lok}</i>	coeficiente de abolladura para el subelemento (B.5.1)
<i>k_v</i>	coeficiente de abolladura por corte (C.3.2.1)
<i>L</i>	luz total para vigas simplemente apoyadas; distancia entre puntos de inflexión para vigas continuas; doble de la longitud para vigas en voladizo (B.1.1)
<i>L</i>	longitud de la soldadura (E.2.1)
<i>L</i>	longitud del tramo (D.3.2.1)
<i>L</i>	longitud del cordón longitudinal (E.2.7)
<i>L</i>	longitud de la soldadura de costura, excluyendo los extremos redondeados (E.2.3)
<i>L</i>	longitud de la soldadura de filete (E2.4)
<i>L</i>	longitud no arriostrada del miembro (C.4.1)
<i>L</i>	longitud de la unión (E.3.2)
<i>L</i>	longitud total (D.4.1)
<i>L</i>	cargas útiles y sobrecargas (A.3)
<i>L_{br}</i>	longitud libre entre puntos de arriostramiento u otros dispositivos que restringen el pandeo distorsional del miembro (B.5.1)
<i>L_r</i>	cargas útiles en techos (A.3)
<i>L_{st}</i>	longitud del rigidizador transversal (C.3.6.1)

L_t	longitud no arriostrada de un miembro comprimido para torsión (C.3.1.2.1)
L_x	longitud no arriostrada de un miembro comprimido para flexión alrededor del eje x (C.3.1.2.1)
L_y	longitud no arriostrada de un miembro comprimido para flexión alrededor del eje y (C.3.1.2.1)
$M_{m\acute{a}x},$ $M_A,$ M_B M_C	valor absoluto de los momentos en un segmento no arriostrado, utilizados para determinar C_b (C.3.1.2.1)
M_m	valor promedio del factor de material (F.1.1)
M_n	resistencia nominal a flexión (B.2.1)
M_{no}	resistencia nominal a flexión para perfiles Z anidados (C.3.5)
M_{nx}, M_{ny}	resistencias nominales a la flexión con respecto a los ejes principales determinadas de acuerdo con el artículo C.3.1 (C.5.1)
M_{nxo}, M_{nyo}	resistencias nominales a la flexión con respecto a los ejes baricéntricos determinadas de acuerdo con el artículo C.3.1.1 (C.3.3)
M_{nxt}, M_{nyt}	resistencias nominales a la flexión con respecto a los ejes principales determinadas utilizando las propiedades de la sección transversal total, no reducida (C.5.1)
M_u	resistencia requerida a flexión (C.3.3)
M_{ux}, M_{uy}	resistencia requerida a flexión respecto de los ejes principales (C.5.1)
M_y	momento que produce el inicio de la fluencia en la sección efectiva (máxima deformación igual a e_y) (B.2.1)
M_1	menor momento de extremo (C.3.1.2.1)
M_2	mayor momento de extremo (C.3.1.2.1)
m	grados de libertad (F.1)
m	término para determinar el límite de fluencia a tracción de las esquinas (A.2.8.2)
m	distancia entre el centro de corte de un perfil C y el plano medio de su alma (D.1.1)
m_f	factor de modificación para distintos tipos de unión (E.3.3.1)

N	longitud real del apoyo (C.3.4.1)
n	cantidad de rigidizadores en un elemento (B.5.1)
n	número de perforaciones en el plano crítico (E.5.1)
n	coeficiente (B.4.1)
n	número de ensayos (F.1.1)
n_b	cantidad de agujeros en la sección analizada (E.3.2)
n_p	número de líneas de correas paralelas (D.3.2.1)
P	factor profesional (F.1)
P_L	resistencia requerida para una riostra de una viga intermedia (D.3.2.1)
P_{e1}, P_{e2}	resistencias críticas elásticas a pandeo flexional de la barra considerando los nudos indesplazables y desplazables respectivamente (C.6.1.(b))
P_m	valor promedio del factor profesional (F.1)
P_n	resistencia nominal al pandeo localizado del alma de una sección (C.3.4.1)
P_n	resistencia nominal a compresión axil de un miembro (C.4)
P_n	resistencia nominal a compresión axil de un rigidizador transversal de fuerza (C.3.6.1)
P_n	resistencia nominal de una unión (E.2.1)
P_n	resistencia nominal al aplastamiento de la chapa en los agujeros (E.3.3)
P_n	resistencia nominal a tracción de un miembro soldado (E.2.7)
P_{not}	resistencia nominal al arrancamiento por tornillo (E.4)
P_{nov}	resistencia nominal al aplastamiento por tornillo (E.4)
P_{ns}	resistencia nominal al corte por tornillo (E.4)
P_{nt}	resistencia nominal a la tracción por tornillo (E.4)
P_s	carga concentrada o reacción mayorada (D.1.1)
P_{ss}	resistencia nominal al corte por tornillo garantizada por el fabricante o determinada mediante ensayos (E.4)
P_{ts}	resistencia nominal a tracción por tornillo garantizada por el fabricante o determinada mediante ensayos (E.4)

P_u	resistencia requerida a la compresión axial (C.5.2.1)
P_u	resistencia requerida a transmitir por una soldadura (E.2.2.1)
P_u	resistencia requerida para la carga concentrada o reacción en presencia de momento flector (C.3.5)
\bar{Q}	rigidez al corte de cálculo para revestimiento a ambos lados del tabique (D.4.1)
\bar{Q}_a	$= 10 \bar{Q}/A$ (MPa) (D.4.1)
Q_i	efecto de las cargas (F.1)
\bar{Q}_o	parámetro del revestimiento (D.4.1)
\bar{Q}_t	$= 10 (\bar{Q}d^2)/(4Ar^2)$ (MPa) (D.4.1)
q	carga requerida equivalente en el plano del alma (D.1.1)
q_s	factor de reducción (C.3.2.2)
R	acción debida al agua de lluvia sobre la cubierta (A.3)
R	factor de modificación (B.5.1)
R	factor de reducción (C.3.1.3)
R	radio interno de plegado (A.2.8.2)
R	radio de la superficie curva exterior (E.2.5)
R_c	factor de reducción (C.3.4.2)
R_d	resistencia de diseño (A.4.2)
R_I	$= I_s / I_a$ (B.4.1)
R_n	resistencia nominal (A.4.2)
R_n	resistencia nominal a la rotura de bloque de corte (E.5.3)
R_n	resistencia nominal de las series de ensayos (F.1)
R_u	resistencia requerida (A.4.2)
r	factor de corrección (C.3.1.3)
r	radio de giro de la sección transversal total, no reducida, respecto al eje de pandeo considerado (C.4.1)

r_i	radio de giro mínimo de la sección bruta de un perfil individual de la barra armada (C.4.5)
r_o	radio de giro polar de la totalidad de la sección transversal respecto al centro de corte (C.3.1.2.1)
r_x, r_y	radios de giro de la sección bruta respecto de los ejes principales baricéntricos (C3.1.2.1)
S	$= 1,28\sqrt{E/f}$ (B.4)
S	acción de la nieve y el hielo (A.3)
S_c	módulo resistente elástico de la sección efectiva referido a la fibra extrema comprimida con la tensión F_c (B.2.1)
S_e	módulo resistente elástico de la sección efectiva calculado para la fibra extrema comprimida o traccionada con F_y (C.3.1.1)
S_f	módulo resistente elástico de la sección total, no reducida, referido a la fibra extrema comprimida (C.3.1.2.1)
S_{ft}	módulo resistente de la sección bruta para la fibra traccionada extrema respecto del eje correspondiente (C.5.1)
S_n	resistencia nominal al corte en el plano de un diafragma (D.5)
s	separación de las uniones (D.1.1) (D.4.1)
s	separación en la dirección de la fuerza de los medios de unión entre una platabanda, una chapa de refuerzo o un rigidizador no integral comprimidos a otro elemento (D.1.2)
s	ancho total de la chapa dividido por la cantidad de agujeros en la sección analizada (E.3.2)
s'	distancia longitudinal entre dos agujeros consecutivos (E.3.2)
s'	separación máxima de los conectores para la cual \bar{Q}_o está tabulado (D.4.1)
$s_{m\acute{a}x}$	máxima separación longitudinal admisible entre medios de unión que unen dos perfiles C para formar una sección doble T (D.1.1)
T	fuerzas y efectos resultantes del impedimento de deformación, del proceso de soldadura o del asentamiento de apoyos (A.3)
T_n	resistencia nominal a la tracción (C.2)
T_s	resistencia de diseño de una unión a tracción (D.1.1)

T_u	resistencia requerida a tracción axil (C.5.1)
t	espesor nominal del acero base de cualquier elemento o sección (A.2.7)
t	espesor de un alma rebajada (E.5.1)
t	espesor total combinado del acero base de las chapas que participan en la transferencia de corte sobre el plano de máxima transferencia de corte (E.2.2.1)
t	espesor de la pieza unida más delgada (E.2.4)
t_1, t_2	espesores de las chapas unidas con soldadura (E.2.4)
t_1	espesor del miembro en contacto con la cabeza del tornillo (E.4)
t_2	espesor del miembro que no está en contacto con la cabeza del tornillo (E.4)
t_c	menor valor entre la profundidad de penetración y el espesor t_2 (E.4)
t_e	espesor efectivo de garganta de una soldadura a tope (E.2.1)
t_i	espesor de la aislación de fibra de vidrio sin comprimir (C.3.1.3)
t_s	espesor del rigidizador (C.3.6.1)
t_w	espesor efectivo de garganta de una soldadura de filete (E.2.4)
U	coeficiente de reducción por retardo de corte (E.2.7)
V_F	coeficiente de variación del factor de fabricación (F.1)
V_M	coeficiente de variación del factor de material (F.1)
V_P	coeficiente de variación de los resultados de ensayos (F.1)
V_Q	coeficiente de variación del efecto de cargas (F.1)
V_n	resistencia nominal al corte (C.3.2.1)
V_u	resistencia requerida a corte (C.3.3)
W	carga vertical total mayorada soportada por todas las líneas de correas arriostradas (D.3.2.1)
W	carga nominal de viento (A.3)
w_f	proyección de las alas a partir de la cara interna del alma (B1.1, D1.1)
w_1, w_2	lado del filete de soldadura (E.2.4)

x	distancia desde la carga concentrada hasta el arriostramiento (D.3.2.2)
x	posición adimensional de los medios de unión (C.4.6)
x	menor distancia entre la perforación del alma y el borde del apoyo (C.3.4.2)
x_o	distancia entre el centro de corte y el baricentro medida sobre el eje principal x (C.3.1.2.1)
\bar{x}	distancia entre el plano de la unión y el centro de gravedad de la sección (E.2.7)
Y	tensión de fluencia del acero del alma dividido por la tensión de fluencia del acero del rigidizador (C.3.6.2)
y_o	distancia entre el baricentro y el centro de corte de la columna equivalente medida paralela al alma (C.3.1.2.2)
α	coeficiente para determinar la fuerza actuante sobre un sistema de arriostramiento de correas de sección C (D.3.2.1)
β	coeficiente (B.5.1.1)
β_o	índice de confiabilidad (F.1)
$\delta, \delta_i, \gamma, \gamma_i, \omega_i$	coeficientes (B.5.1.1) (B.5.1.2)
γ	deformación por corte en el revestimiento (D.4.1)
$\bar{\gamma}$	deformación por corte admisible del revestimiento (D.4.1)
γ_i	factor de carga (F.1)
θ	ángulo entre el plano del alma y el plano de la superficie de apoyo (C.3.4.1)
θ	ángulo entre la vertical y el plano del alma de un perfil Z (D.3.2.1)
θ	ángulo que forma un elemento con su rigidizador de borde (B.4.2)
λ, λ_c	factores de esbeltez (B.2.1)
λ_1, λ_2	parámetros utilizados para determinar el factor de deformación por compresión (C.3.1.1)
μ	coeficiente de Poison del acero en período elástico = 0,30 (B.2.1)
ρ	factor de reducción (B.2.1)
σ_{CR}	tensión teórica de pandeo elástico (D.4.1)

$$\sigma_{ex} = (\pi^2 E) / (k_x L_x / r_x)^2 \text{ (C.3.1.2.1)}$$

$$= (\pi^2 E) / (L / r_x)^2 \text{ (D.4.1)}$$

$$\sigma_{exy} = (\pi^2 E I_{xy}) / (AL^2) \text{ (D.4.1)}$$

$$\sigma_{ey} = (\pi^2 E) / (k_y L_y / r_y)^2 \text{ (C.3.1.2.1)}$$

$$= (\pi^2 E) / (L / r_y)^2 \text{ (D.4.1)}$$

$$\sigma_{tQ} = \sigma_t + \bar{Q}_t \text{ (D.4.1)}$$

σ_t tensión elástica de pandeo torsional (C.3.1.2.1)

ϕ factor de resistencia (A.4.2)

ϕ_b factor de resistencia para resistencia para flexión (C.3.1.1)

ϕ_c factor de resistencia para compresión axil (C.4)

ϕ_d factor de resistencia para diafragmas (D.5)

ϕ_t factor de resistencia para tracción axil (C.2)

ϕ_v factor de resistencia para corte (C3.2.1)

ϕ_w factor de resistencia para pandeo localizado del alma (C.3.4.1)

ψ f_2 / f_1 (B.2.3)

GLOSARIO

A

Acero virgen: acero tal como se recibe del fabricante o proveedor, antes de ser plegado o conformado en frío.

Ala de una sección flexada: ancho plano del ala incluyendo cualquier rigidizador intermedio y los pliegues contiguos.

Alma: en una barra solicitada a flexión, es la parte de la sección unida a dos alas, o unida a un ala si intercepta al eje neutro.

Análisis racional: análisis basado en una teoría apropiada para una determinada situación.

Ancho plano: ancho de un elemento medido en su plano y excluyendo los pliegues.

Ancho efectivo de cálculo: ancho plano de un elemento reducido a los efectos del cálculo, llamado también ancho efectivo.

Área efectiva: área efectiva A_e se calcula utilizando los anchos efectivos de los elementos componentes de acuerdo con el Capítulo B. Puede ser coincidente con el área bruta o el área neta, según corresponda, cuando los anchos efectivos de los elementos planos, determinados de acuerdo con el Capítulo B, son iguales a los anchos reales de los elementos planos.

Área bruta: área A_g sin descontar agujeros, aberturas y cortes.

Área neta: área A_n , igual al área bruta menos el área de los agujeros, aberturas u cortes.

Área total, sin reducir: área total de la sección, A , calculada sin reducir los anchos de los elementos componentes por su ancho efectivo. Puede tratarse de un área sin reducir bruta o neta, según corresponda.

C

Cargas nominales: intensidades de las cargas especificadas en los Reglamentos CIRSOC e INPRES – CIRSOC correspondientes, excluyendo los factores de carga. También se denominan acciones nominales.

E

Elementos: partes planas que componen la sección transversal de una barra.

Elementos comprimidos no rigidizados: un elemento comprimido no rigidizado es un elemento comprimido plano que sólo está rigidizado en uno de sus bordes paralelos a la dirección del esfuerzo.

Elementos comprimidos rigidizados o parcialmente rigidizados: un elemento comprimido rigidizado o parcialmente rigidizado es un elemento comprimido plano (es decir, un ala plana comprimida de un elemento flexado o un alma o ala plana de un elemento comprimido) en el cual ambos bordes paralelos a la dirección del esfuerzo

están rigidizados ya sea por un alma, un ala, un labio rigidizador, un rigidizador intermedio u otro elemento similar.

Elementos con rigidización múltiple: un elemento con rigidización múltiple es un elemento que está rigidizado entre sus almas, o entre un alma y un borde rigidizado, por medio de rigidizadores intermedios que son paralelos a la dirección del esfuerzo.

Elementos estructurales de acero conformado o plegado en frío: los miembros estructurales de acero conformado o plegado en frío son barras de perfiles que se fabrican plegando o conformando, a temperatura ambiente, chapas, flejes o planchuelas de acero, laminadas o cortadas de bobinas o chapas.

Ensayo de confirmación: ensayo de confirmación es un ensayo que se efectúa, sobre barras, uniones y conjuntos estructurales proyectados de acuerdo con los requisitos de los Capítulos de este Reglamento o sus referencias específicas, a fin de comparar el comportamiento real con el comportamiento calculado.

Ensayo de comportamiento: ensayo que se efectúa, sobre barras, uniones y conjuntos estructurales cuyo comportamiento no puede ser determinado con las disposiciones de los Capítulos A a E de este Reglamento o de sus referencias específicas.

Espesor: espesor, t , de cualquier elemento o sección del acero base, excluyendo cualquier revestimiento.

F

Factor de resistencia: factor que toma en cuenta las inevitables diferencias que existen entre la resistencia real y su valor nominal y los modos de falla y sus consecuencias.

M

Miembros estructurales de acero conformado o plegado en frío: los miembros estructurales de acero conformado o plegado en frío son barras de perfiles que se fabrican plegando o conformando, a temperatura ambiente, chapas, flejes o planchuelas de acero, laminadas o cortadas de bobinas o chapas, y que son componentes de la estructura resistente. También llamado **elemento estructural**.

P

Pandeo distorsional: forma de pandeo que produce una modificación de la sección transversal excluyendo el pandeo local.

Pandeo flexional torsional: el pandeo flexional torsional es el modo de pandeo en el cual los miembros comprimidos se pueden flexionar y torsionar simultáneamente sin modificación de la sección transversal.

Pandeo local: pandeo o abolladura de uno o más elementos individuales de una sección transversal, donde la línea de unión entre elementos permanece recta y no cambian los ángulos entre elementos.

Perfil C: designación que incluye tanto a los perfiles sin labio rigidizador (designados como perfil **U** en las Normas IRAM-IAS U 500-205-2 y IRAM-IAS U 500-206-2) como a los perfiles con labio rigidizador (designados como perfil **C** en las Normas IRAM-IAS U 500-205-3 y IRAM-IAS U 500-206-3).

Perfil Z: designación que incluye tanto a los perfiles sin labio rigidizador como a los perfiles con labio rigidizador (designados como perfil **Z** en la Norma IRAM-IAS U 500-205-6, como perfil **Z rigidizado** en la Norma IRAM-IAS U 500-206-6 y como perfil **Z anidable** en la Norma IRAM-IAS U 500-206-7).

Propiedades del acero virgen: propiedades mecánicas del acero antes del plegado o conformado en frío, tales como la tensión de fluencia, la tensión de rotura a tracción y el alargamiento de rotura.

Proyecto por Factores de Carga y Resistencia: método para dimensionar elementos estructurales (barras, uniones, elementos de unión y conjuntos estructurales) de manera tal que cuando la estructura es sometida a todas las combinaciones de cargas que corresponda no se supera ninguno de los estados límites aplicables. Se simboliza LRFD

R

Relación entre el ancho plano de un elemento y su espesor: ancho plano de un elemento medido sobre su plano, dividido por su espesor.

Resistencia: ver la definición de resistencia nominal.

Resistencia a tracción: término equivalente a tensión de rotura a tracción.

Resistencia de diseño: resistencia, (fuerza axial, de corte, momento flector, momento torsor, etc, según corresponda), proporcionada por la estructura, elemento estructural, barra o unión. Es el producto de la Resistencia nominal por el Factor de Resistencia (ϕR_n).

Resistencia nominal R_n : capacidad de una estructura, elemento estructural, barra o unión para resistir los efectos de las cargas y se obtiene de este Reglamento en función de las resistencias del material y las dimensiones especificadas.

Resistencia requerida: efecto de las acciones (fuerza axial, de corte, momento flector, momento torsor, etc, según corresponda) que actúa sobre un componente estructural. Se determina mediante un análisis estructural a partir de las cargas mayoradas (utilizando las combinaciones de acciones críticas).

S

Sección con simetría doble: sección simétrica respecto de dos ejes ortogonales que pasan por el baricentro.

Sección con simetría puntual: sección simétrica con respecto a un punto (baricentro), como por ejemplo un perfil Z de alas iguales.

Sección con simetría simple: sección con un solo eje baricéntrico de simetría.

Sección asimétrica: sección que no tiene simetría respecto de un eje o punto.

Sub elemento de un elemento con rigidización múltiple: parte de un elemento con rigidización múltiple, comprendida entre rigidizadores adyacentes, entre almas y rigidizadores intermedios o entre un rigidizador intermedio y un borde.

T

Tensión: de acuerdo con el uso que se le da en este Reglamento, el término tensión significa fuerza por unidad de superficie.

Tensión de fluencia: F_y o F_{sy} también se denomina límite de fluencia.

Tensión de rotura a tracción: F_u máxima tensión que el material es capaz de resistir en un ensayo a tracción.

CAPÍTULO A. ESPECIFICACIONES GENERALES

A.1. CAMPO DE VALIDEZ

Este Reglamento establece los requisitos mínimos para el proyecto, cálculo y construcción de miembros estructurales resistentes con **secciones abiertas conformadas o plegadas en frío** a partir de chapas, flejes o planchuelas de acero al carbono o de baja aleación de no más de **25,4 mm** de espesor.

Se aplica a miembros de estructuras de acero para edificios destinados a vivienda, locales públicos, depósitos e industrias (incluso las que tengan carácter provisorio) con **cargas predominantemente estáticas**. También es de aplicación para estructuras resistentes de carteles, marquesinas y similares.

Se podrán usar secciones o formas constructivas alternativas que no estén expresamente prohibidas por este Reglamento, siempre que sus resistencias de diseño y su rigidez sean avaladas por apropiadas teorías y corroboradas por ensayos realizados según las especificaciones del Capítulo F.

A.1.1. Unidades

Para las expresiones y parámetros incluidos en este Reglamento se utilizan las mismas unidades empleadas en el Reglamento CIRSOC 301-2005, las que se indican en cada caso.

A.2. MATERIALES – NORMAS IRAM e IRAM – IAS de aplicación

Las normas IRAM e IRAM-IAS nacionales de materiales se encuentran actualmente en proceso de revisión e integración con las de los restantes países del MERCOSUR.

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

Algunas normas IRAM referidas a bulones, tuercas y arandelas y a tornillos auto-perforantes y auto-roscantes que se indican en los artículos A.2.2 y A.2.3 se encuentran en redacción o pueden no estar emitidas al momento de entrada en vigencia de este Reglamento. Por ello, y hasta tanto no estén disponibles, se podrán utilizar las normas ASTM o ISO correspondientes.

Algunas normas IRAM-IAS referidas a metal de aporte y fundente para soldadura, indicadas en el artículo A.2.4 se encuentran en redacción o pueden no estar emitidas al momento de entrada en vigencia de este Reglamento. Por ello, y hasta tanto no estén disponibles, se podrán utilizar las normas ASTM, ISO o las especificaciones AWS correspondientes.

A.2.1. Acero estructural

Este Reglamento requiere el empleo de acero de calidad estructural de acuerdo con lo definido en general por las normas IRAM-IAS y las normas de aplicación en el marco del MERCOSUR. Los materiales que se utilicen deberán cumplir con algunas de las siguientes normas.

IRAM - IAS U 500-42	Chapas de acero al carbono, laminadas en caliente, para uso estructural.
IRAM – IAS U 500-72	Chapas de acero cincadas o recubiertas de una capa de aleación de aluminio - cinc, por inmersión en caliente y prepintadas para uso estructural y general.
IRAM – IAS U 500-99	Chapas de acero revestidas conformadas, de perfil no sinusoidal.
IRAM – IAS U 500-131	Chapas de acero de alta resistencia, laminadas en frío, para uso estructural, con características especiales de conformabilidad.
IRAM – IAS U 500-180	Flejes de acero al carbono, laminados en caliente para uso estructural.
IRAM – IAS U 500-204	Chapas de acero al carbono y de baja aleación de calidad estructural, recubiertas de una capa de aleación de aluminio - cinc por el proceso continuo de inmersión en caliente.
IRAM – IAS U 500-205-1	Perfiles abiertos de chapa de acero galvanizada, conformados en frío para uso en estructuras portantes de edificios - Parte 1: Requisitos generales.
IRAM – IAS U 500-205-2	Perfiles abiertos de chapa de acero galvanizada, conformados en frío para uso en estructuras portantes de edificios - Parte 2: Perfil U - Medidas y características geométricas.
IRAM – IAS U 500-205-3	Perfiles abiertos de chapa de acero galvanizada, conformados en frío para uso en estructuras portantes de edificios - Parte 3: Perfil C - Medidas y características geométricas.
IRAM – IAS U 500-205-4	Perfiles abiertos de chapa de acero galvanizada, conformados en frío para uso en estructuras portantes de edificios - Parte 4: Perfil galera - Medidas y características geométricas.
IRAM – IAS U 500-205-5	Perfiles abiertos de chapa de acero galvanizada, conformados en frío para uso en estructuras portantes de edificios - Parte 5: Perfil omega - Medidas y características geométricas.

IRAM – IAS U 500-205-6	Perfiles abiertos de chapa de acero galvanizada, conformados en frío para uso en estructuras portantes de edificios - Parte 6: Perfil zeta - Medidas y características geométricas.
IRAM – IAS U 500-206-1	Perfiles abiertos de acero conformados en frío, revestidos o no, para usos estructurales - Requisitos generales.
IRAM – IAS U 500-206-2	Perfiles abiertos de acero conformados en frío, para usos generales y estructurales - Perfil U – Dimensiones.
IRAM – IAS U 500-206-3	Perfiles abiertos de acero conformados en frío, para usos generales y estructurales - Perfil C – Dimensiones.
IRAM – IAS U 500-206-4	Perfiles abiertos de acero conformados en frío, para usos generales y estructurales - Perfil G (galera) – Dimensiones.
IRAM – IAS U 500-206-5	Perfiles abiertos de acero conformados en frío, para usos generales y estructurales - Parte 5: Perfil Ω (omega) – Dimensiones.
IRAM – IAS U 500-206-6	Perfiles abiertos de acero conformados en frío, para usos generales y estructurales - Perfil Z (zeta) rigidizado – Dimensiones.
IRAM – IAS U 500-206-7	Perfiles abiertos de acero conformados en frío, para usos generales y estructurales - Perfil Z (zeta) anidable – Dimensiones.
IRAM – IAS U 500-206-8	Perfiles abiertos de acero conformados en frío, para usos generales y estructurales - Otros perfiles - Discrepancias dimensionales.
IRAM – IAS U 500-215-1	Perfiles doble T de acero, de alas anchas. caras paralelas, laminados en caliente.
IRAM – IAS U 500-241	Chapas de acero revestidas conformadas, para uso en placas colaborantes.
IRAM – IAS U 500-503	Acero al carbono para uso estructural.
IRAM – IAS U 500-513	Chapas de acero revestido conformadas, de perfil sinusoidal (acanaladas).
IRAM – IAS U 500-226	Chapas de acero laminadas en frío para paneles aislantes.

A.2.2. Bulones, Tuercas y Arandelas

- IRAM 5451 - Tuercas de aceros al carbono y aleadas para bulones en servicio bajo alta presión y altas temperaturas
- IRAM 5452 - Bulones y pernos de acero al carbono. F_u mínimo: 370 MPa - Tipo A 307
- IRAM 5453 - Bulones estructurales de acero con tratamiento térmico F_u mínimo: 825 - 725 MPa - Tipo A 325
- IRAM 5454 - Bulones y pernos de acero templado y revenido - Tipo A 449
- IRAM 5455 - Bulones estructurales de acero con tratamiento térmico F_u mínimo: 1035 MPa - Tipo A 490
- IRAM 5456 - Tuercas de aceros al carbono y aleados
- IRAM 5457 - Arandelas de acero endurecidas
- IRAM 5464 - Bulones estructurales de cabeza hexagonal de alta resistencia- Clases ISO 8.8 y 10.9
- IRAM 5465 - Tuercas hexagonales para bulones estructurales de alta resistencia- Clases ISO 8.8 y 10.9
- IRAM 5466 - Arandelas planas para bulones estructurales de alta resistencia, endurecidas y templadas
- IRAM 5467 - Arandelas planas para bulones estructurales de alta resistencia, biseladas, endurecidas y templadas

A.2.3. Tornillos auto-perforantes y auto-roscantes

- IRAM correspondiente - ASTM C1513-04 Standard Specification for Steel Tapping Screws for Cold-Formed Steel Framing Connections

A.2.4. Metal de aporte y fundente para soldadura

Los electrodos y fundentes deberán cumplir alguna de las siguientes normas:

- IRAM-IAS U500-601 - Soldadura por arco. Electrodo de acero al carbono revestido
- IRAM-IAS U500-127 - Soldadura por arco. Electrodo de baja aleación revestido
- IRAM-IAS U500-166 - Soldadura. Alambres y varillas de acero al carbono para procesos de soldadura eléctrica con protección gaseosa
- IRAM-IAS U500-232 - Soldadura. Alambres y varillas de acero al carbono y de baja aleación para procesos de soldadura eléctrica con protección gaseosa
- IRAM-IAS U500-233 - Soldadura. Alambres tubulares de acero al carbono
- IRAM-IAS U500-234 - Soldadura. Alambres tubulares de acero de baja aleación

IRAM-IAS U500-235 - Soldadura. Alambres de acero al carbono y fundentes para soldadura por arco sumergido

IRAM-IAS U500-236 - Soldadura. Alambres de acero de baja aleación y fundentes para soldadura por arco sumergido

A.2.5. Propiedades generales del acero

- (a) Módulo de elasticidad longitudinal: $E = 200000 \text{ MPa}$
- (b) Módulo de elasticidad transversal: $G = 77200 \text{ MPa}$
- (c) Coeficiente de Poisson en período elástico: $\mu = 0,30$
- (d) Coeficiente de dilatación térmica: $\alpha_a = 12 \cdot 10^{-6} \text{ cm/cm}^\circ\text{C}$
- (e) Peso específico: $\gamma_a = 77,3 \text{ kN/m}^3$

A.2.6. Ductilidad

Los aceros utilizados para los elementos estructurales y sus uniones deberán cumplir los siguientes requisitos de ductilidad:

- La relación entre la resistencia a la tracción y el límite de fluencia mínimo especificado no deberá ser menor que **1,10**;
- El alargamiento total no deberá ser menor que el **12 por ciento** de una muestra normalizada de 50 mm de longitud ó **10 por ciento** de una muestra normalizada de 200 mm de longitud ensayadas de acuerdo con la norma IRAM correspondiente

A.2.7. Espesor mínimo

El espesor mínimo del acero no revestido en todos los elementos de la sección conformada o plegada en frío del elemento estructural, tal como es entregado en obra, deberá ser mayor o igual que el **95 %** del espesor nominal, t , utilizado para su cálculo. Sin embargo, estarán permitidos espesores menores en los pliegues, tales como las esquinas, debido a los efectos de la conformación en frío.

A.2.8. Límite de fluencia e incremento de la resistencia debido a la conformación en frío

A.2.8.1. Límite de fluencia

La tensión de fluencia utilizada en el diseño, F_y , no deberá ser mayor que la tensión de fluencia mínima especificada de los aceros listados en el artículo A.2.1, o que la resultante del incremento debido a la conformación en frío descrito en el artículo A.2.8.2.

A.2.8.2. Incremento de la resistencia debido al conformado en frío

Este Reglamento permite incrementar la resistencia debido al conformado en frío sustituyendo F_y por F_{ya} en las expresiones para determinar la resistencia nominal, siendo F_{ya} la tensión de fluencia promedio de la sección completa. La utilización de este incremento se limitará a lo especificado en los artículos C.2, C.3.1 (excluyendo el artículo C.3.1.1(b)), C.4, C.5 y D.4.

Los métodos y las limitaciones para determinar F_{ya} son los siguientes:

- (a) Para barras solicitadas a compresión axil y barras solicitadas a flexión cuyas dimensiones sean tales que la magnitud ρ para la determinación de la resistencia sea igual a la unidad según lo determinado de acuerdo con el artículo B.2 para cada uno de los elementos componentes de la sección transversal, la tensión de fluencia de cálculo, F_{ya} , del acero se determinará en base a uno de los métodos siguientes:

- (1) ensayos de tracción de sección completa [ver párrafo (a) del artículo F.3.1]
- (2) ensayos de columnas cortas [ver párrafo (b) del artículo F.3.1]
- (3) determinado con la siguiente expresión:

$$F_{ya} = C F_{yc} + (1 - C) F_{yf} \quad (\text{A.2.8.2-1})$$

siendo:

F_{ya} la tensión de fluencia promedio del acero en la sección transversal completa de las barras comprimidas o secciones transversales completas de las alas de las barras flexionadas

C para barras **comprimidas**, relación entre el área total de la sección de las esquinas y el área total de la sección transversal completa; para barras **flexadas**, relación entre el área total de la sección de las esquinas del ala comprimida y el área total de la sección transversal completa del ala comprimida.

F_{yf} el promedio ponderado de la tensión de fluencia a tracción de las partes planas establecido de acuerdo con el artículo F.3.2 o la tensión de fluencia especificada del acero virgen si no se efectúan ensayos

F_{yc} $B_c F_{yv} / (R/t)^m$, tensión de fluencia de las esquinas. (A.2.8.2.-2)
Esta expresión es aplicable sólo cuando:

- $(F_{uv} / F_{yv}) \geq 1,2$;
- $(R / t) \leq 7$,
- ángulo comprendido $\leq 120^\circ$

$$B_c = 3,69 (F_{uv} / F_{yv}) - 0,819 (F_{uv} / F_{yv})^2 - 1,79 \quad (\text{A.2.8.2.-3})$$

$$m = 0,192 (F_{uv} / F_{yv}) - 0,068 \quad (\text{A.2.8.2.-4})$$

R el radio interno de plegado

F_{yv} la tensión de fluencia especificada del acero virgen definida en el artículo A.2.1 o establecida de acuerdo con el artículo F.3.3.

F_{uv} la tensión de rotura a tracción del acero virgen especificada en el artículo A.2.1 o establecida de acuerdo con el artículo F.3.3.

- (b) Para barras solicitadas a esfuerzos axiales de tracción, el límite de fluencia del acero se deberá determinar ya sea por el método (1) o por el método (3) prescriptos en el párrafo (a) de este artículo.
- (c) El efecto que provocan las uniones soldadas sobre las propiedades mecánicas de una sección se deberá determinar a partir de ensayos de probetas de sección completa que posean soldaduras como las que utilizará el fabricante. Se deberá tener en cuenta cualquier corrección que fuera necesaria para el uso estructural de estas barras.

A.3. ACCIONES

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

Estas acciones y sus intensidades mínimas, serán adoptadas como **nominales**.

Se deberán considerar los siguientes tipos de acciones:

(a) Acciones permanentes

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

- Peso propio de la estructura (**D**). Reglamento CIRSOC 101 - 2005.
- Peso propio de todo elemento de la construcción previsto con carácter permanente (**D**). Reglamento CIRSOC 101 - 2005.
- Fuerzas resultantes del impedimento de cambios dimensionales debidos a variaciones térmicas climáticas o funcionales de tipo normativo, contracción de fraguado, fluencia lenta o efectos similares (**T**).
- Fuerzas resultantes del proceso de soldadura (**T**):
- Acciones de líquidos en general, en caso de presencia continuada y con presiones y altura máxima bien definidas (**F**).
- Asentamientos de apoyo (cedimientos de vínculo en general) (**T**).
- Pesos de máquinas adheridas o fijas a la estructura, de valor definido (**D**).

(b) Acciones variables

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

- La ocupación y el uso en pisos (cargas útiles y sobrecargas) (**L**). Reglamento CIRSOC 101 - 2005.
- Montaje en pisos (**L**). Reglamento CIRSOC 101 - 2005.
- Cargas útiles en techos (**L_r**). Reglamento CIRSOC 101 - 2005.
- Mantenimiento de cubiertas (**L_r**). Reglamento CIRSOC 101 - 2005.
- Montaje en techos (**L_r**). Reglamento CIRSOC 101 - 2005.

- Acción del viento (**W**). Reglamento CIRSOC 102 - 2005.
- Acción de la nieve y del hielo (**S**). Reglamento CIRSOC 104 - 2005.
- Acciones térmicas generadas por equipamientos o funcional, no derivadas de especificaciones normativas (**L**).
- Acciones de líquidos en general (**L**).
- Acciones de granos y materiales sueltos (**L**).
- Acciones de maquinarias, equipos, cargas móviles como puentes grúas y monorrieles, incluyendo el efecto dinámico cuando el mismo sea significativo, y efecto dinámico del peso de maquinarias consideradas como carga permanente (**L**).
- Peso y empuje lateral del suelo y del agua en el suelo (**H**).
- Acción debida al agua de lluvia o al hielo sin considerar los efectos producidos por la acumulación de agua (**R**). Reglamento CIRSOC 101 - 2005.

(c) Acciones accidentales

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

- Sismos de ocurrencia excepcional (**E**). Reglamentos INPRES-CIRSOC 103 - 2005.
- Tornados
- Impacto de vehículos terrestres o aéreos.
- Explosiones.
- Movimientos de suelos.
- Avalanchas de nieve o piedras.

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

(d) Acumulación de agua

El **sistema estructural de la cubierta o techo** deberá ser investigado por análisis estructural a fin de asegurar una adecuada resistencia y estabilidad bajo condiciones de acumulación de agua cuando la cubierta no tenga la suficiente pendiente hacia los desagües ($< 3\%$), o no tenga un adecuado número de descargas, y/o cuando no se prevenga adecuadamente que no exista acumulación de agua de lluvia o de deshielo. En dichos casos se deberá considerar tanto la influencia de la deformación de la estructura de la cubierta como la posibilidad de acumulación de agua hasta la altura de los desbordes libres, (ver el Capítulo K del Reglamento CIRSOC 301-2005).

(e) Acciones originadas en el armado y montaje

La consideración de las acciones originadas por el armado y el montaje debe hacerse sobre la base de un esquema previo de montaje, cuya concepción se base fundamentalmente en los equipos disponibles en esas etapas. El estudio del armado y montaje deberá contemplar los siguientes puntos:

- (a) Evitar esfuerzos torsores o flexotorsores en elementos no proyectados especialmente para resistir dichos esfuerzos,

- (b) Garantizar la estabilidad lateral de elementos planos no arriostrados transversalmente durante el montaje,
- (c) Contemplar la posibilidad de inversión de signo de los esfuerzos de flexión, que puedan comprimir elementos que están traccionados en servicio,
- (d) Evitar la aplicación de cargas concentradas en elementos no especialmente proyectados para tales acciones,
- (e) Analizar la posibilidad de condiciones de apoyo diferentes a las de los estados de servicio,
- (f) Considerar la posibilidad de efectos dinámicos durante el montaje,
- (g) Considerar sobrecargas especiales de operarios actuando en las secuencias de armado y montaje.

Durante la ejecución se deberá garantizar que no existan estados de carga transitorios no previstos en el Proyecto, tales como el acopio de materiales sobre cubiertas y entresijos.

Para dichas acciones se deberá utilizar el Reglamento CIRSOC 108 - 2007 - Reglamento Argentino de Cargas de Diseño para Estructuras durante su Construcción.

A.4. PROYECTO POR FACTORES DE CARGA Y RESISTENCIA

A.4.1. Bases del proyecto

Los proyectos conforme a este Reglamento se deben realizar en base a los principios del Método por Estados Límites (también llamado Proyecto por Factores de Carga y Resistencia, o Método LRFD).

A.4.2. Dimensionado para estados límites últimos (Condición de resistencia)

Un Proyecto Estructural satisficará los requisitos de este Reglamento cuando la resistencia de diseño (R_d) de cada uno de los componentes estructurales sea mayor o igual que la resistencia requerida (R_u) determinada mediante análisis estructural para la combinación de acciones mayoradas crítica según lo especificado en el artículo A.4.3. Los métodos de análisis estructurales aplicables se indican en el artículo A.5.

La condición de Proyecto para resistencia se define con la expresión (A.4.2-1):

$$R_u \leq \phi R_n = R_d \quad (\text{A.4.2-1})$$

siendo:

- R_u la resistencia requerida
- R_n la resistencia nominal especificada en los Capítulos B a F
- ϕ el factor de resistencia especificado en los Capítulos B a F
- R_d la resistencia de diseño. $R_d = \phi R_n$

A.4.3. Combinación de acciones para los estados límites últimos

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

Se deberán analizar como mínimo, las siguientes combinaciones de acciones, con sus correspondientes factores de carga:

$$1,4 (D + F) \quad (\text{A.4.3-1})$$

$$1,2 (D+ F+T) + 1,6 (L +H) + (f_1 L_r \text{ ó } 0,5 S \text{ ó } 0,5 R) \quad (\text{A.4.3-2})$$

$$1,2 D + 1,6 (L_r \text{ o } S \text{ o } R) + (f_1 L \text{ o } 0,8 W) \quad (\text{A.4.3-3})$$

$$1,2 D + 1,6 W + f_1 L + (f_1 L_r \text{ ó } 0,5 S \text{ ó } 0,5 R) \quad (*) \quad (\text{A.4.3-4})$$

$$1,2 D + 1,0 E + f_1 (L+L_r) + f_2 S \quad (\text{A.4.3-5})$$

$$0,9 D + (1,6 W \text{ ó } 1,0 E) + 1,6 H \quad (*) \quad (\text{A.4.3-6})$$

(*) Se podrá adoptar **1,5** como factor de carga para viento (**W**) cuando se consideren las velocidades básicas de viento **V** del Reglamento CIRSOC 102 - 2005.

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

$$1,2D + 1,6 L + (f_1 L_r \text{ ó } 0,5 S \text{ ó } 0,5 R) + 0,8 W \quad (\text{A.4.3-7})$$

siendo:

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

$f_1 = 0,5$ para otras sobrecargas

$f_2 = 0,7$ para configuraciones particulares de techos que no permitan evacuar la nieve acumulada.

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

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

- (1) Acciones variables o accidentales con efectos favorables a la seguridad no serán consideradas en las combinaciones.
- (2) En la combinación (A.4.3-6) el factor de carga puede ser considerado igual a **0** si la acción debida a **H** contrarresta o neutraliza la acción debida a **W**.

- (3) Las estimaciones de los asentamientos diferenciales, la fluencia lenta, la contracción de fraguado, la expansión de hormigones de contracción compensada y los cambios de temperatura (cuando no sean normativos) se deberán fundamentar en una **evaluación realista** de la ocurrencia de tales efectos durante la vida útil de la estructura.
- (4) Cuando esté presente la carga de inundación (F_a), sus efectos deberán ser investigados en el Proyecto utilizando en las combinaciones (A.4.3-2) y (A.4.3-4) el mismo factor de carga usado para L . Los efectos producidos por F_a deberán también ser incluidos cuando se investigue el volcamiento y el deslizamiento en la combinación (A.4.3-6) usando un factor de carga **0,5** cuando actúe simultáneamente el viento y un factor de carga **1,6** cuando F_a actúe sola.

A.4.4. Dimensionado para estados límites de servicio (Condición de deformaciones)

La estructura, sus elementos estructurales y sus uniones se deberán proyectar de manera que satisfagan las funciones requeridas durante su vida útil esperada. Los estados límites de servicio se deben seleccionar y evaluar de acuerdo con lo especificado en el Capítulo L y en el Apéndice L del Reglamento CIRSOS 301-2005.

A.5. ANÁLISIS ESTRUCTURAL

A.5.1. Métodos de análisis

- (1) En estructuras isostáticas las reacciones de vínculo y las solicitaciones de sección se deberán obtener usando las leyes y ecuaciones de la estática.
- (2) En estructuras hiperestáticas las reacciones de vínculo y las solicitaciones de sección se deberán obtener por **Análisis Global Elástico. No se permite** el uso del **Método Global Plástico**.
- (3) Las hipótesis realizadas para el análisis global de la estructura deberán ser consistentes con el tipo de estructura adoptado, y el correspondiente comportamiento de las uniones, (ver el Reglamento CIRSOC 301-2005, Sección A.2.2.)
- (4) Las hipótesis realizadas para el proyecto de las barras de la estructura deberán ser consistentes con (o conservar su relación con) el método de análisis global utilizado y con el tipo de comportamiento previsto para las uniones según el tipo de estructura adoptado.

A.5.2. Análisis global elástico

Se basará en la hipótesis de que el diagrama tensión-deformación del acero es lineal, sea cual fuere el nivel de tensión. Esta hipótesis podrá ser mantenida, tanto para análisis elástico de primer orden como de segundo orden, aún cuando la resistencia de la sección transversal esté basada en la reserva de capacidad flexional inelástica.

A.5.3. Efecto de las deformaciones (efectos de Segundo Orden)

Se deberán considerar los **efectos de Segundo Orden ($P-\delta$ y $P-\Delta$)** cuando los mismos incrementen las resistencias requeridas. No serán considerados cuando disminuyan las resistencias requeridas.

A.5.4. Estabilidad de la estructura y de sus elementos estructurales

Toda estructura deberá tener garantizada su estabilidad lateral. Además, deberá tener suficiente rigidez lateral que limite los desplazamientos laterales. Ello puede ser provisto por:

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

En pórticos arriostrados (no desplazables) el factor de longitud efectiva será determinado según lo especificado en el artículo C.4.1.

En pórticos arriostrados de varios pisos el sistema vertical de arriostramiento deberá ser resuelto por análisis estructural.

Dicho sistema vertical deberá asegurar que la estructura no pandee y que mantenga su estabilidad lateral incluso frente a los efectos de vuelco producidos por los desplazamientos laterales, cuando actúen sobre ella las acciones mayoradas dadas en el artículo **A.4**.

El sistema vertical de arriostramiento para pórticos arriostrados de varios pisos, podrá ser considerado como actuando en conjunto con tabiques exteriores o interiores, losas de piso y cubiertas de techo siempre que las mismas estén adecuadamente unidas a los pórticos.

Para el análisis del pandeo y de la estabilidad lateral de los pórticos arriostrados, las columnas, vigas, vigas armadas y barras diagonales que formen parte de un plano del sistema vertical de arriostramiento podrán ser consideradas como integrantes de una viga reticulada en voladizo con nudos articulados. La deformación axil de todas las barras del sistema vertical de arriostramiento deberá ser incluida en el análisis de la estabilidad lateral.

El sistema horizontal de arriostramiento en cada piso deberá ser resuelto por análisis estructural. Sus elementos constitutivos serán proyectados para resistir los efectos

producidos por las cargas mayoradas actuando sobre los pórticos arriostrados y los efectos resultantes de la estabilización de los pórticos que arriostra.

En pórticos no arriostrados (desplazables) el factor de longitud efectiva será determinado según lo especificado en el artículo C.4.1.

Los efectos desestabilizantes de columnas sometidas a cargas gravitatorias, que por estar biarticuladas al pórtico no aportan rigidez lateral, deberán ser incluidos en el dimensionado de las columnas del pórtico que aportan rigidez lateral al mismo.

Se podrá realizar la corrección por inelasticidad de la rigidez de las columnas del pórtico.

En el análisis de la resistencia requerida en pórticos no arriostrados de varios pisos se deberán incluir los efectos de la inestabilidad del pórtico y de la deformación axil de sus columnas, cuando actúen las acciones mayoradas dadas en el artículo A.4.

En barras sometidas a flexión o a flexoaxil, o sujetas a pandeo flexotorsional o torsional se deberá proporcionar una restricción al giro en sus apoyos y puntos fijos.

Para el análisis estructural de estructuras trianguladas, tales como vigas reticuladas o planos de contraviento o ***rigidización triangulados***, se deberá considerar si las mismas son interiormente isostáticas o hiperestáticas según la rigidez de los nudos y la esbeltez relativa de las barras que la componen. La hipótesis de barras articuladas en sus extremos, comúnmente utilizada para el análisis estructural de estas estructuras, deberá ser consistente con la capacidad de giro de las secciones extremas de las barras de la estructura proyectada.

Se deberá considerar la posibilidad de pandeo de las barras en el plano o fuera del plano.

El factor de longitud efectiva será determinado según lo especificado en el artículo C.4.1.

A.6. REGLAMENTOS DE APLICACIÓN

Además de los indicados en el artículo A.2 de este Capítulo, los siguientes Reglamentos y Recomendaciones CIRSOC e INPRES – CIRSOC son referenciados en este Reglamento:

Reglamento CIRSOC 101 y sus Comentarios “Reglamento Argentino de Cargas Permanentes y Sobrecargas Mínimas de Diseño para Edificios y otras Estructuras” Edición Julio 2005.

Reglamento CIRSOC 102, Comentarios y Guía de Aplicación “Reglamento Argentino de Acción del Viento sobre las Construcciones” Edición Julio 2005.

Reglamento INPRES-CIRSOC 103 – Parte II y sus Comentarios “Reglamento Argentino para Construcciones Sismorresistentes” Construcciones de Hormigón Armado. Edición Julio 2005.

Reglamento INPRES-CIRSOC 103 – Parte IV y sus Comentarios “Reglamento Argentino para Construcciones Sismorresistentes” Construcciones de Acero. Edición Julio 2005.

Reglamento CIRSOC 104 y sus Comentarios “Reglamento Argentino de Acción de la Nieve y del Hielo sobre las Construcciones” Edición Julio 2005.

Reglamento CIRSOC 108 y sus Comentarios “Reglamento Argentino de Cargas de Diseño para las Estructuras durante su Construcción” Edición Julio 2007.

Reglamento CIRSOC 301 y sus Comentarios “Reglamento Argentino de Estructuras de Acero de Edificios” Edición Julio 2005.

Reglamento CIRSOC 302 y sus Comentarios “Reglamento Argentino de Elementos Estructurales de Tubos de Acero para Edificios”. Edición Julio 2005.

Reglamento CIRSOC 304 “Reglamento Argentino para la Soldadura de Estructuras en Acero”. Edición Julio 2007.

Recomendación CIRSOC 305 y sus Comentarios “Recomendación para Uniones Estructurales con Bulones de Alta Resistencia”. Edición Julio 2007.

A.7. DOCUMENTACION DE PROYECTO Y DOCUMENTACION CONFORME A OBRA

A.7.1. Documentación de Proyecto

Se entiende por documentación de proyecto el conjunto de planos generales y de detalles básicos, memoria de cálculo y especificaciones de materiales, fabricación, protección anticorrosiva, otras protecciones, montaje y construcción de la estructura.

A.7.1.1. Planos

Deberán ser ejecutados en escala adecuada a la información que presentan. Deberán contener toda la información necesaria para la ejecución de los planos de taller y de montaje (ver el Capítulo **M**, Reglamento CIRSOC 301-2005)), y para la ejecución de la estructura como ser:

- (a) Dimensiones, formas seccionales y ubicación relativa de todos los elementos estructurales; deben estar acotados niveles de pisos, ejes de vigas, centros de columnas; rigidizaciones y arriostramientos.
- (b) Tipo o tipos de estructuras adoptados. Cuando así correspondiera en los Planos generales y de detalles básicos, se indicarán cargas y requerimientos necesarios para la preparación de los planos de fabricación, incluyendo los esfuerzos requeridos de corte, axil y flexión de las barras y sus uniones.
- (c) Especificación de los aceros a utilizar en los elementos estructurales.
- (d) Detalle de las uniones; de las dimensiones y tipos de acero a utilizar en remaches y bulones; cuando se proyecten uniones con bulones de alta resistencia se indicará el tipo de unión proyectada según el Capítulo **E**; detalle de las uniones soldadas según las especificaciones del reglamento correspondiente, indicando calidad de electrodos.
- (e) Dimensiones, detalles y materiales de todo otro elemento constructivo que forme parte de la estructura. (Losas de entrepiso, placas de techo, tabiques, etc.).
- (f) Contraflechas de cerchas y vigas.

- (g) En los casos en que fuera necesario el esquema previsto para el montaje de la estructura. Indicación de: los puntos de levantamiento de los elementos a montar; posiciones que ocuparán temporariamente los equipos principales o auxiliares de montaje; arriostramientos provisionales necesarios y su anclaje; etc.
- (h) Planos de andamios y apuntalamientos que requieran cálculos estructurales.
- (i) En aquellos casos en que las longitudes de los elementos puedan ser afectadas por variaciones de temperatura durante el montaje, se indicará la amplitud de variación térmica prevista.
- (j) Protección contra la corrosión adoptada.
- (k) Indicación de los revestimientos u otros medios de protección contra el fuego previstos.
- (l) Dimensiones, detalles y materiales de bases y fundaciones de la estructura.
- (m) Listado aclaratorio de la simbología especial empleada en los planos.
- (n) Toda información complementaria que el o los Profesionales responsables estimen conveniente para facilitar la interpretación del proyecto o resguardar su responsabilidad.

A.7.1.2. Memoria de cálculo

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

- (a) Memoria descriptiva de la estructura, con indicación de materiales a utilizar, síntesis del proceso de cálculo y dimensionado adoptado para su proyecto y tecnología prevista para su construcción.
- (b) Acciones y combinaciones de acciones consideradas con indicación de los valores nominales adoptados para las acciones y los Reglamentos aplicados. En el caso de edificios industriales se indicarán las cargas de equipos consideradas.
- (c) Tipos de estructura adoptados y métodos de cálculo empleados para determinar las resistencias requeridas para los estados límites considerados.
- (d) Resistencias requeridas para los estados límites últimos considerados, para la estructura en su conjunto y para cada elemento estructural y sus uniones.
- (e) Resistencia de diseño determinada para cada estado límite último considerado para los distintos elementos estructurales, sus uniones y la estructura en su conjunto, con indicación del tipo de recaudo constructivo y los materiales adoptados con sus características mecánicas.
- (f) Estados límites de servicio considerados.
- (g) Desarrollo de los detalles de uniones necesarios para la ejecución de los planos de taller.
- (h) Cuando correspondiera, procedimiento de montaje incluyendo verificación de resistencia y estabilidad de los elementos y del conjunto durante el proceso constructivo, determinación

de los puntos de levantamiento de los elementos a montar, proyecto de los apuntalamientos temporarios, etc.

- (i) Capacidad portante del suelo de fundación adoptada.
- (j) Toda otra información complementaria que el o los profesionales responsables consideren conveniente para clarificar el proceso de proyecto o resguardar su responsabilidad.

A.7.1.3. Especificaciones

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

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

A.7.2. Documentación conforme a obra

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

Contendrá:

- (a) Planos según el artículo **A.7.1.1.**
- (b) Memoria de cálculo según el artículo **A.7.1.2.**
- (c) Informe sobre el suelo de fundación, sus características y su capacidad portante.
- (d) Especificaciones según el artículo **A.7.1.3.**
- (e) Memoria descriptiva de la construcción de la estructura, con indicación de toda modificación introducida en el proyecto original con sus respectivos planos y memoria de cálculo.
- (f) Memoria con el proceso y resultados del control de calidad efectuado.
- (g) Memoria con indicación de la protección contra la corrosión y el fuego realizada.
- (h) Plan de tareas de mantenimiento a realizar durante la vida útil.
- (i) Toda otra información que el o los Profesionales intervinientes estimen necesaria para cumplir el objetivo de la documentación conforme a obra o resguardar su responsabilidad.

CAPÍTULO B. ELEMENTOS

B.1. LIMITACIONES Y CONSIDERACIONES SOBRE LAS DIMENSIONES

B.1.1. Consideraciones sobre la relación entre el ancho plano de las alas y su espesor

(a) Máximas relaciones entre el ancho plano y el espesor

Las máximas relaciones entre el ancho plano y el espesor, b/t , despreciando los rigidizadores intermedios y considerando t como el espesor real del elemento, deberán ser las siguientes:

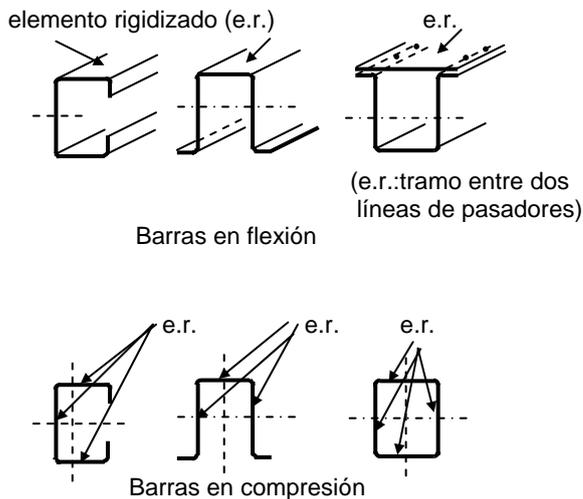


Figura B.1-1 Elementos rigidizados uniformemente comprimidos

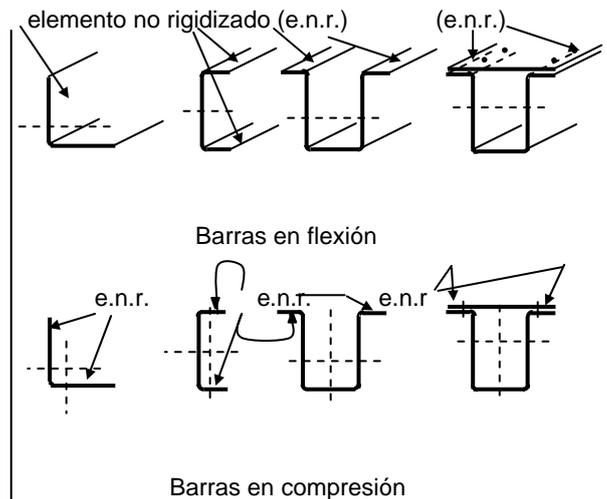


Figura B.1-2 Elementos comprimidos no rigidizados

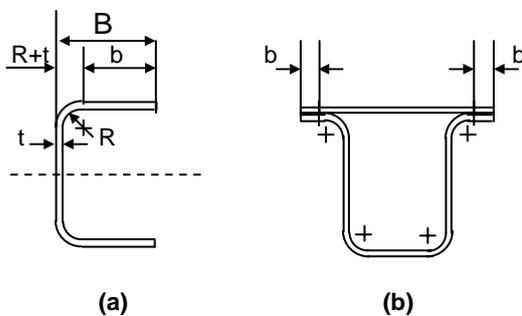


Figura B.1-3 Ancho plano b de un elemento comprimido no rigidizado

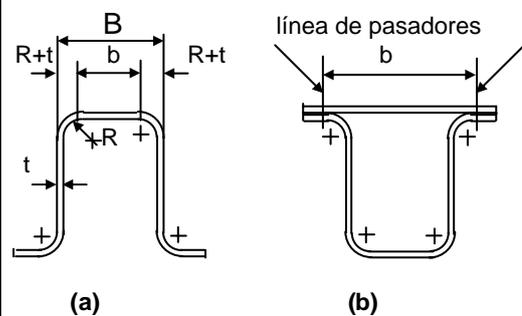


Figura B.1-4 Ancho plano b de un elemento comprimido rigidizado

(1) Elemento comprimido rigidizado que posee un borde longitudinal vinculado a un alma o ala y el otro rigidizado por:

- Labio simple..... **60**
- Cualquier otro tipo de rigidizador
 - i) cuando $I_s < I_a$ **60**
 - ii) cuando $I_s \geq I_a$ **90**

siendo:

I_s el momento de inercia real del rigidizador respecto de su eje baricéntrico paralelo al elemento rigidizado.

I_a el momento de inercia adecuado del rigidizador, necesario para que el elemento se comporte como rigidizado.

(2) Elemento comprimido rigidizado

Con **ambos** bordes longitudinales vinculados a otros elementos rigidizados..... **500**

(3) Elemento comprimido no rigidizado..... **60**

Es probable que en los elementos comprimidos no rigidizados que poseen relaciones **b/t** superiores a aproximadamente **30** y en los elementos comprimidos rigidizados que poseen relaciones **b/t** superiores a aproximadamente **250** se produzcan deformaciones apreciables cuando se alcanza la resistencia de diseño, sin que esto afecte la capacidad de la barra para alcanzar la resistencia requerida.

Los elementos rigidizados que poseen relaciones **b/t** mayores que **500** se pueden utilizar para soportar las cargas requeridas con adecuada resistencia de diseño; sin embargo, las deformaciones de estos elementos pueden invalidar las expresiones de cálculo de este Reglamento.

(b) Desplazamiento vertical de las alas

Cuando el ala de una barra flexada tenga un ancho superior al usual, y se desee limitar su desplazamiento vertical máximo hacia el eje neutro, se deberá aplicar la siguiente expresión, tanto para alas rigidizadas como para no rigidizadas (comprimidas o traccionadas):

$$b_f = \sqrt{0,061 t d E / f_{av}} \sqrt[4]{(100 c_f / d)} \quad \text{(B.1.1-1)}$$

siendo:

b_f el ancho del ala que se proyecta más allá del alma; o la mitad de la distancia entre las almas de vigas cajón o secciones tipo omega

t el espesor del ala

d la altura de la viga

c_f el desplazamiento vertical

f_{av} la tensión media calculada en el ancho total, no reducido, del ala (Cuando las barras se calculen utilizando el procedimiento del ancho efectivo de cálculo, la tensión media será igual a la tensión máxima multiplicada por la relación entre el ancho efectivo de cálculo y el ancho real, $f_{av} = f \cdot (b_e/b)$).

(c) Retardo de corte – Barras cortas que soportan cargas concentradas

Cuando la viga tenga una longitud de menos de $30 b_f$ (donde b_f se define más adelante) y soporte una carga concentrada, o varias cargas separadas entre sí una distancia mayor que $2b_f$, el ancho efectivo de cálculo de cualquier ala, en tracción o compresión, deberá ser limitada por los valores dados en la Tabla **B.1-1**.

Tabla B.1-1 Vigas cortas y alas anchas. Máxima relación admisible entre ancho efectivo de cálculo (b_e) y ancho real (b)

L/b_f	Relación b_e/b	L/b_f	Relación b_e/b
30	1,00	14	0,82
25	0,96	12	0,78
20	0,91	10	0,73
18	0,89	8	0,67
16	0,86	6	0,55

siendo:

L la luz total para las vigas simplemente apoyadas; o distancia entre puntos de inflexión para las vigas continuas; o el doble de la longitud para las vigas en voladizo.

b_f el ancho de la proyección del ala medido desde el alma para las vigas doble T y secciones similares; o la mitad de la distancia entre las almas en el caso de vigas cajón o secciones tipo omega o similares.

Para las alas de vigas doble T y secciones similares rigidizadas en sus bordes exteriores mediante labios, b_f se deberá tomar como la suma de la proyección del ala medida desde el alma más la altura del labio.

B.1.2. Máxima relación entre la altura del alma y su espesor

La relación h/t de las almas de las barras flexionadas no deberá ser mayor que los siguientes valores:

- (a) Para almas no rigidizadas: $(h/t)_{m\acute{a}x} = 200$
- (b) Para almas con rigidizadores transversales que satisfacen los requisitos del artículo C.3.6.1:

- (1) Cuando sólo se utilicen rigidizadores de apoyo, $(h/t)_{m\acute{a}x} = 260$

- (2) Cuando se utilicen rigidizadores de apoyo y rigidizadores intermedios,
 $(h/t)_{\text{máx}} = 300$

siendo:

h la altura de la parte plana del alma medida sobre el plano del alma.
 t el espesor del alma.

Si un alma está compuesta por dos o más chapas, la relación h/t se deberá calcular para cada una de ellas en forma individual.

B.2. ANCHOS EFECTIVOS DE LOS ELEMENTOS RIGIDIZADOS

B.2.1. Elementos rigidizados uniformemente comprimidos

(a) Para la determinación de la resistencia

El ancho efectivo, b_e , se deberá determinar utilizando las siguientes expresiones:

$$b_e = b \text{ cuando } \lambda \leq 0,673 \quad (\text{B.2.1-1})$$

$$b_e = \rho \cdot b \text{ cuando } \lambda > 0,673 \quad (\text{B.2.1-2})$$

siendo:

b el ancho plano como se ilustra en la Figura B.2-1

$$\rho = (1 - 0,22 / \lambda) / \lambda \quad (\text{B.2.1-3})$$

λ la esbeltez del elemento que se determina de la siguiente manera:

$$\lambda = \sqrt{\frac{f}{F_{cr}}} \quad (\text{B.2.1-4})$$

$$F_{cr} = k \frac{\pi^2 E}{12(1 - \mu^2)} \left(\frac{t}{b} \right)^2 \quad (\text{B.2.1-5})$$

siendo:

t el espesor de los elementos rigidizados uniformemente comprimidos.
 μ el coeficiente de Poisson del acero en período elástico = 0,30
 F la tensión de compresión del elemento, determinada de la siguiente manera:

- Para las barras solicitadas a **flexión**:

- (1) Si se utiliza el **Procedimiento I** del artículo C.3.1.1:

Quando se alcance la fluencia en el elemento comprimido, $f = F_y$.

Cuando se alcance la fluencia en el elemento traccionado, la tensión de compresión f , en el elemento considerado, se deberá determinar a partir del momento M_y que produce el inicio de la fluencia para la sección efectiva.

- (2) Si se utiliza el **Procedimiento II** del artículo C.3.1.1, f será la tensión en el elemento considerado para M_n determinado en base a la sección efectiva.
- (3) Si se utiliza el artículo C.3.1.2.1, f será la tensión F_c de acuerdo con lo indicado en dicho artículo al determinar S_c .

• Para las barras solicitadas a **compresión**:

f se adopta igual a F_n de acuerdo con lo determinado en los artículos C.4 o D.4.1 según corresponda.

siendo:

- E el módulo de elasticidad longitudinal
- k el coeficiente de abolladura de placas
- $k = 4$ para elementos rigidizados simplemente apoyados sobre un alma en cada borde longitudinal.

Se dan valores para diferentes tipos de elementos en los artículos correspondientes.

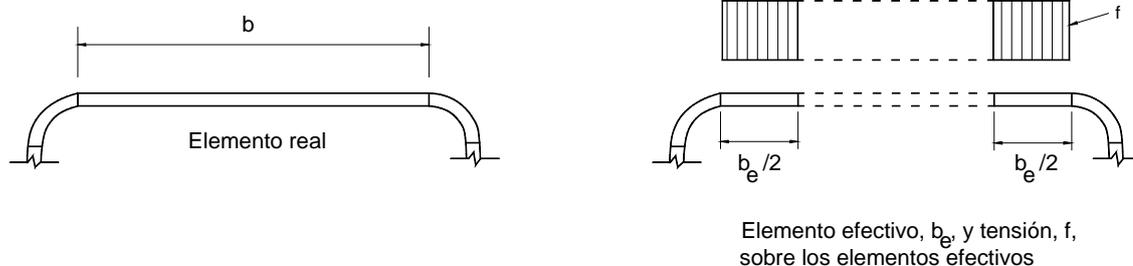


Figura B.2-1 Elementos rigidizados

(b) Para la determinación de deformaciones

El ancho efectivo, b_{ed} , utilizado para calcular las deformaciones se debe determinar utilizando las siguientes expresiones:

$$b_{ed} = b \text{ cuando } \lambda \leq 0,673 \quad \text{(B.2.1-6)}$$

$$b_{ed} = \rho \cdot b \text{ cuando } \lambda > 0,673 \quad \text{(B.2.1-7)}$$

siendo:

b el ancho plano

ρ el factor de reducción determinado por uno de los dos procedimientos siguientes:

(1) Procedimiento I.

Se puede obtener una estimación conservadora del ancho efectivo utilizando las expresiones (B.2.1-3) y (B.2.1-4) reemplazando f_d en lugar de f , siendo f_d la tensión de compresión calculada en servicio en el elemento considerado.

(2) Procedimiento II.

Para los elementos rigidizados soportados por un alma en cada borde longitudinal, se puede obtener una mejor estimación del ancho efectivo calculando ρ de la siguiente manera:

$$\rho = 1 \quad \text{cuando } \lambda \leq 0,673 \quad (\text{B.2.1-8})$$

$$\rho = [1,358 - (0,461 / \lambda)] / \lambda \quad \text{cuando } 0,673 < \lambda < \lambda_c \quad (\text{B.2.1-9})$$

$$\rho = (0,41 + 0,59 \sqrt{F_y / f_d} - 0,22 / \lambda) / \lambda \quad \text{cuando } \lambda \geq \lambda_c \quad (\text{B.2.1-10})$$

En todos los casos $\rho \leq 1,0$.

En las expresiones anteriores:

$$\lambda_c = 0,256 + 0,328 (b/t) \sqrt{F_y / E} \quad (\text{B.2.1-11})$$

λ = a lo definido por la expresión (B.2.1-4), colocando f_d en lugar de f .

B.2.2. Elementos rigidizados uniformemente comprimidos con perforaciones circulares

(a) Para la determinación de la resistencia

El ancho efectivo, b_e , se debe determinar de la siguiente manera:

Para

$$0,50 \geq \frac{d_h}{b} \geq 0 \quad \text{y} \quad \frac{b}{t} \leq 70$$

y la distancia entre los centros de las perforaciones $\geq 0,50b$ y $\geq 3d_h$,

$$b_e = b - d_h \quad \text{cuando } \lambda \leq 0,673 \quad (\text{B.2.2-1})$$

$$b_e = \frac{b \left[1 - \frac{0,22}{\lambda} - \frac{0,8 d_h}{b} \right]}{\lambda} \quad \text{cuando } \lambda > 0,673 \quad (\text{B.2.2-2})$$

deberá ser $b_e \leq (b - d_h)$

siendo:

b el ancho plano

d_h el diámetro de las perforaciones
 λ igual a lo definido en el artículo B.2.1.

(b) Para la determinación de deformaciones

El ancho efectivo, b_{ed} , utilizado para calcular las deformaciones debe ser igual a b_e determinado de acuerdo con el **Procedimiento I** del artículo B.2.1(b), colocando f_d en lugar de f , siendo f_d la tensión de compresión en servicio calculada en el elemento considerado.

B.2.3. Almas y otros elementos rigidizados con tensiones linealmente variables

En este artículo se utiliza la siguiente simbología:

b_{e1} el ancho efectivo definido en la Figura **B.2-2**

b_{e2} el ancho efectivo definido en la Figura **B.2-2**

b_{ee} el ancho efectivo b_e determinado de acuerdo con el artículo B.2.1 colocando f_1 en lugar de f y determinando k como se indica en este artículo.

b_0 el ancho total externo del ala comprimida como se define en la Figura **B.2-3**

f_1, f_2 las tensiones que se muestran en la Figura **B.2-2** calculadas en función de la sección efectiva. Cuando f_1 y f_2 son de compresión, $f_1 \geq f_2$

h_0 la altura total externa del alma como se indica en la Figura **B.2-3**.

k el coeficiente de abolladura

$\psi = |f_2 / f_1|$ en valor absoluto **(B.2.3-1)**

(a) Para la determinación de la resistencia

(1) Para almas con tensiones variables (f_1 de compresión y f_2 de tracción como se muestra en la Figura **B.2-2**)

$$k = 4 + 2(1 + \psi)^3 + 2(1 + \psi) \tag{B.2.3-2}$$

- Para $h_0 / b_0 \leq 4$

$$b_{e1} = b_{ee} / (3 + \psi) \tag{B.2.3-3}$$

$$b_{e2} = b_{ee} / 2 \quad \text{cuando } \psi > 0,236 \tag{B.2.3-4}$$

$$b_{e2} = b_{ee} - b_{e1} \quad \text{cuando } \psi \leq 0,236 \tag{B.2.3-5}$$

Adicionalmente, $b_{e1} + b_{e2}$ no debe ser mayor que la porción comprimida del alma calculada en base a la sección efectiva

- Para $h_0 / b_0 > 4$

$$b_{e1} = b_{ee} / (3 + \psi) \tag{B.2.3-6}$$

$$b_{e2} = b_{ee} / (1 + \psi) - b_{e1} \tag{B.2.3-7}$$

(2) Para otros elementos con tensiones variables (f_1 y f_2 de compresión como se muestra en la Figura B.2-2)

$$k = 4 + 2(1 - \psi)^3 + 2(1 - \psi) \quad (\text{B.2.3-8})$$

$$b_{e1} = b_{ee} / (3 - \psi) \quad (\text{B.2.3-9})$$

$$b_{e2} = b_{ee} - b_{e1} \quad (\text{B.2.3-10})$$

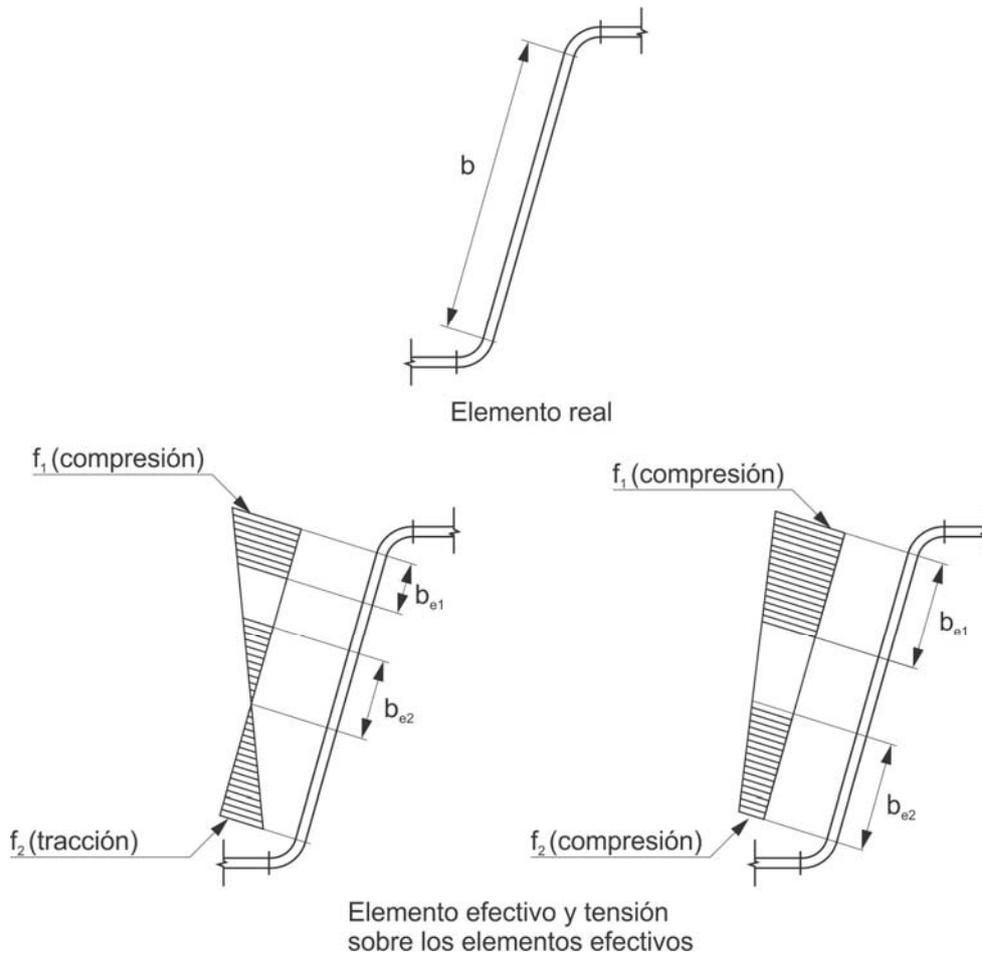


Figura B.2-2 Almas y otros elementos rigidizados con tensiones linealmente variables.

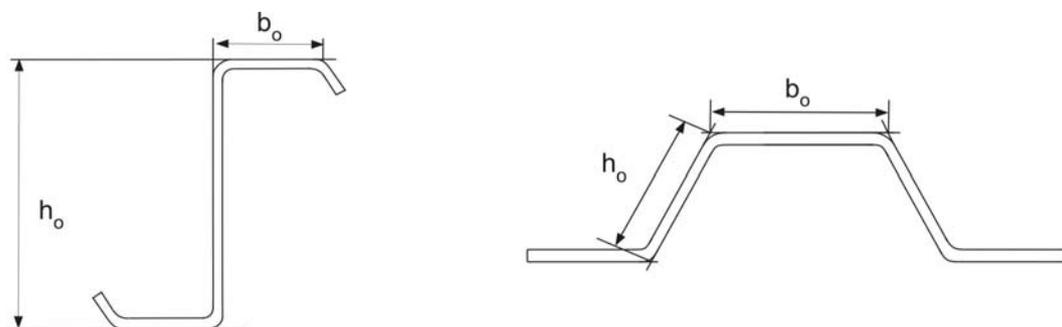


Figura B.2-3 Dimensiones externas de almas y elementos rigidizados con tensiones variables

(b) Para la determinación de deformaciones

Los anchos efectivos utilizados para calcular las deformaciones se deberán determinar de acuerdo con el artículo B.2.3(a), colocando f_{d1} y f_{d2} en lugar de f_1 y f_2 , siendo f_{d1} y f_{d2} las tensiones calculadas f_1 y f_2 para la carga para la cual se determinan las deformaciones (acciones de servicio) en la sección efectiva, tal como se muestra en la Figura **B.2-2**.

B.2.4. Almas de secciones C con perforaciones y tensiones linealmente variables

Este artículo se aplica dentro de los siguientes límites:

- (1) $d_o / h \leq 0,7$
- (2) $h / t \leq 200$
- (3) Perforaciones centradas en la mitad de la altura del alma
- (4) Distancia libre entre perforaciones $\geq 457 \text{ mm}$
- (5) En perforaciones no circulares, radio de las esquinas $\geq 2t$
- (6) En perforaciones no circulares, $d_o \leq 64 \text{ mm}$ y $b \leq 114 \text{ mm}$
- (7) En perforaciones circulares, diámetro $\leq 152 \text{ mm}$
- (8) $d_o > 14 \text{ mm}$

(a) Para la determinación de la resistencia

Cuando $d_o / h < 0,38$, los anchos efectivos b_{e1} y b_{e2} se determinarán de acuerdo con el artículo B.2.3(a) suponiendo que no existen perforaciones en el alma.

Cuando $d_o / h \geq 0,38$, los anchos efectivos se determinarán de acuerdo con el artículo B.3.1(a) suponiendo que la parte comprimida del alma consiste en un elemento no rigidizado adyacente a la perforación y con $f = f_1$ como se muestra en la Figura **B.2-2**.

(b) Para la determinación de deformaciones

Los anchos efectivos se determinarán de acuerdo con el artículo B.2.3(b) suponiendo que no existen perforaciones en el alma, siendo:

- d_o la altura de la perforación del alma
- b la longitud de la perforación del alma
- b_{e1} , b_{e2} los anchos efectivos definidos en la Figura **B.2-2**
- h la altura de la parte plana del alma medida en el plano del alma

Las restantes características están definidas en el artículo B.2.3.

B.3. ANCHOS EFECTIVOS DE LOS ELEMENTOS NO RIGIDIZADOS

B.3.1. Elementos no rigidizados uniformemente comprimidos

(a) Para la determinación de la resistencia

El ancho efectivo, b_e , se debe determinar de acuerdo con el artículo B.2.1(a), adoptando k igual a **0,43** y b como se define en la Figura B.3-1.

(b) Para la determinación de las deformaciones

El ancho efectivo, b_{ed} , utilizado para calcular las deformaciones se debe determinar de acuerdo con el **Procedimiento I** del artículo B.2.1(b), colocando f_d en el lugar de f y $k = 0,43$.

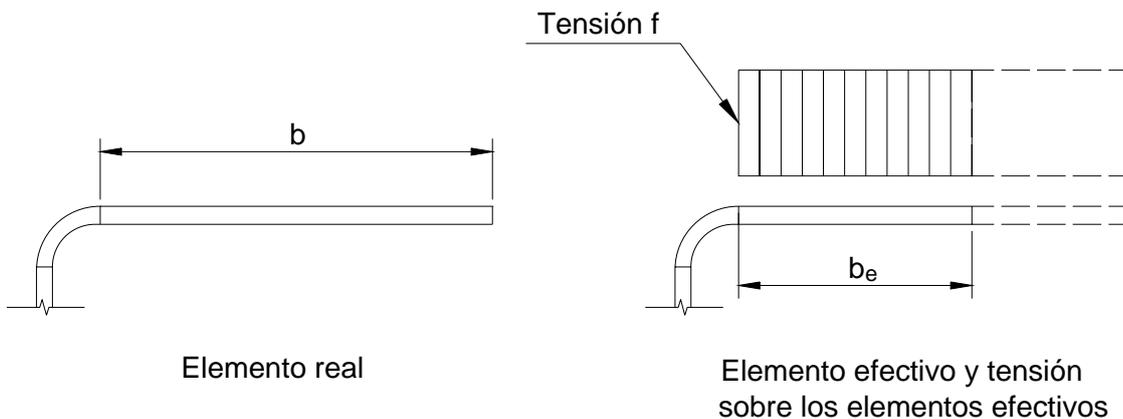


Figura B.3-1 Elementos no rigidizados con compresión uniforme.

B.3.2. Elementos no rigidizados y rigidizadores de borde con tensiones variables

(a) Para la determinación de la resistencia

El ancho efectivo, b_e , se debe determinar de acuerdo con el artículo B.2.1(a) con $f = f_3$ como se muestra en la Figura B.4-2 y $k = 0,43$

(b) Para la determinación de deformaciones

El ancho efectivo, b_{ed} , usado para calcular deformaciones se debe determinar de acuerdo con el **Procedimiento I** del artículo B.2.1(b), colocando f_{d3} en lugar de f y $k = 0,43$, siendo f_{d3} la tensión calculada f_3 como se muestra en la Figura B.4-2. El cálculo se debe realizar sobre la base de la sección efectiva y para la carga para la cual se determinan las deformaciones.

B.4. ANCHOS EFECTIVOS DE LOS ELEMENTOS CON UN RIGIDIZADOR INTERMEDIO O UN RIGIDIZADOR DE BORDE

En este artículo se utiliza la siguiente simbología:

$$S = 1,28\sqrt{E/f} \quad (\text{B.4-1})$$

k el coeficiente de abolladura.

b_o la dimensión definida en la Figura **B.4-1**.

d, b, D las dimensiones definidas en la Figura **B.4-2**.

d_s el ancho efectivo reducido del rigidizador de acuerdo con lo especificado en este artículo. El valor de d_s , calculado de acuerdo con el artículo B.4.2. se debe utilizar para calcular las propiedades de la sección efectiva total (ver la Figura **B.4-2**).

d'_s el ancho efectivo del rigidizador calculado de acuerdo con el artículo B.3.2 (ver la Figura **B.4-2**).

A_s el área reducida del rigidizador de acuerdo con lo especificado en este artículo. A_s se debe utilizar para calcular las propiedades de la sección efectiva total. Se debe considerar que el baricentro del rigidizador está ubicado en el baricentro de la superficie total del rigidizador.

I_a el momento de inercia necesario del rigidizador, para que cada elemento componente se comporte como un elemento rigidizado.

I_s, A'_s el momento de inercia de la sección total del rigidizador respecto de su propio eje baricéntrico paralelo al elemento a rigidizar, y área efectiva del rigidizador, respectivamente. Para los rigidizadores de borde, la esquina redondeada entre el rigidizador y el elemento a rigidizar no se debe considerar parte del rigidizador.

Para el rigidizador ilustrado en la Figura **B.4-2** :

$$I_s = (d^3 t \operatorname{sen}^2 \theta)/12 \quad (\text{B.4-2})$$

$$A'_s = d'_s t \quad (\text{B.4-3})$$

B.4.1. Elementos uniformemente comprimidos con un rigidizador intermedio

(a) Para la determinación de la resistencia

Para $b_o/t \leq S$

$$I_a = 0 \text{ (no es necesario ningún rigidizador intermedio)}$$

$$b_e = b \quad (\text{B.4.1-1})$$

$$A_s = A'_s \quad (\text{B.4.1-2})$$

Para $b_o/t > S$

$$A_s = A'_s (R_l) \quad (\text{B.4.1-3})$$

$$n = \left[0,583 - \frac{b_o/t}{12S} \right] \geq \frac{1}{3} \quad (\text{B.4.1-4})$$

$$k = 3(R_l)^n + 1 \quad (\text{B.4.1-5})$$

$$R_l = I_s / I_a \leq 1 \quad (\text{B.4.1-6})$$

siendo:

i) Para $S < b_o/t < 3S$

$$I_a = t^4 \left[50 \frac{b_o/t}{S} - 50 \right] \quad (\text{B.4.1-7})$$

ii) Para $b_o/t \geq 3S$

$$I_a = t^4 \left[128 \frac{b_o/t}{S} - 285 \right] \quad (\text{B.4.1-8})$$

El ancho efectivo b_e , se debe calcular de acuerdo con el artículo B.2.1(a).

(b) Para la determinación de deformaciones

El ancho efectivo, b_{ed} , utilizado para calcular deformaciones se debe determinar como en el artículo B.4.1(a), colocando f_d en lugar de f .

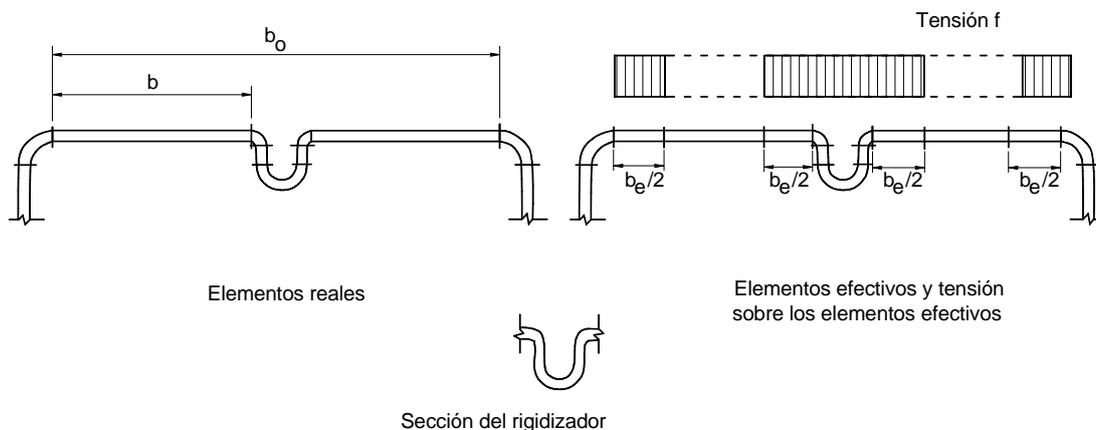


Figura B.4-1 Elementos con rigidizador intermedio.

B.4.2. Elementos uniformemente comprimidos con un rigidizador de borde

(a) Para la determinación de la resistencia

Para $b/t \leq 0,328 S$

$$I_a = 0 \quad (\text{no se requiere rigidizador de borde}) \quad (\text{B.4.2-1})$$

$$b_e = b \quad (\text{B.4.2-2})$$

$$b_{e1} = b_{e2} = b/2 \quad \text{ver la Figura B.4-2} \quad (\text{B.4.2-2})$$

$$d_s = d'_s \quad \text{para labio rigidizador simple} \quad (\text{B.4.2-3})$$

$$A_s = A'_s \quad \text{para otras formas de rigidizadores} \quad (\text{B.4.2-4})$$

Para $b/t > 0,328 S$

$$b_{e1} = (b_e / 2) (R_l) \quad \text{ver la Figura B.4-2} \quad (\text{B.4.2-5})$$

$$b_{e2} = b_e - b_{e1} \quad \text{ver la Figura B.4-2} \quad (\text{B.4.2-6})$$

$$d_s = d'_s (R_l) \quad \text{para labio rigidizador simple} \quad (\text{B.4.2-7})$$

$$A_s = A'_s (R_l) \quad \text{para otros rigidizadores} \quad (\text{B.4.2-8})$$

siendo:

S valor definido por la expresión (B.4-1)

$$(R_l) = I_s / I_a \leq 1 \quad (\text{B.4.2-9})$$

$$I_a = 399 t^4 \left[\frac{b/t}{S} - 0,328 \right]^3 \leq t^4 \left[115 \frac{b/t}{S} + 5 \right] \quad (\text{B.4.2-10})$$

$$n = \left[0,582 - \frac{b/t}{4S} \right] \geq \frac{1}{3} \quad (\text{B.4.2-11})$$

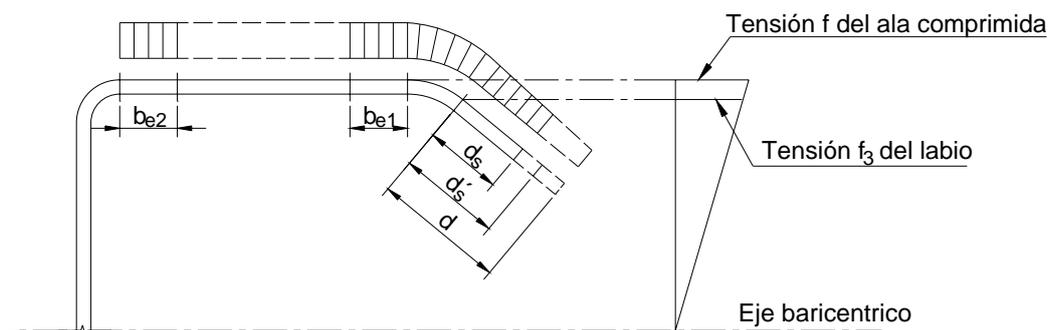
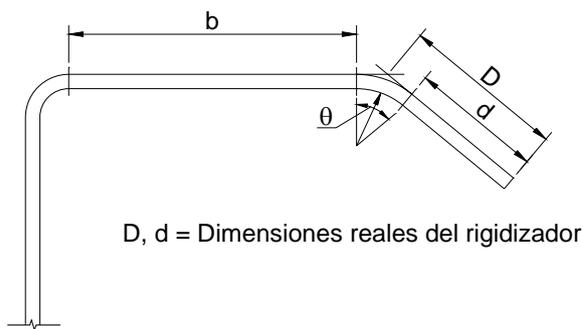
El ancho efectivo b_e , se calcula de acuerdo con el artículo B.2.1 con k de la Tabla B.4-1

Tabla B.4-1 Determinación del coeficiente de abolladura k

Labio rigidizador simple ($140^\circ \geq \theta \geq 40^\circ$)		Otros rigidizadores de borde
$D/b \leq 0,25$	$0,25 < D/b \leq 0,8$	
$3,57 (R_l)^n + 0,43 \leq 4$	$\left(4,82 - \frac{5D}{b} \right) (R_l)^n + 0,43 \leq 4$	$3,57 (R_l)^n + 0,43 \leq 4$

(b) Para la determinación de las deformaciones

El ancho efectivo, b_{ed} , utilizado para calcular las deformaciones se debe determinar como en el artículo B.4.2(a), excepto que se debe colocar f_d (para cargas de servicio) en lugar de f .



d_s' = Ancho efectivo del rigidizador calculado según el artículo B.3.2

d_s = Ancho efectivo reducido del rigidizador

Figura B.4-2 Elementos con un labio simple rigidizador de borde

B.5. ANCHOS EFECTIVOS DE ELEMENTOS RIGIDIZADOS CON MÁS DE UN RIGIDIZADOR INTERMEDIO O ELEMENTOS RIGIDIZADOS EN SUS BORDES Y CON RIGIDIZADORES INTERMEDIOS

B.5.1. Anchos efectivos de elementos rigidizados uniformemente comprimidos con más de un rigidizador intermedio

En este artículo se emplea la siguiente simbología:

- A_g el área bruta del elemento incluyendo los rigidizadores
- A_s el área bruta de un rigidizador
- b_e el ancho efectivo de un elemento, ubicado en el baricentro del elemento incluyendo los rigidizadores, ver la Figura **B.5-2**.
- b_p el máximo ancho plano de un sub-elemento, ver la Figura **B.5-1**.
- b_o el ancho plano total del elemento rigidizado, ver la Figura **B.5-1**.
- c_i la distancia horizontal desde el borde del elemento hasta el baricentro del rigidizador, ver la Figura **B.5-1**.
- F_{cr} la tensión de abolladura elástica

f	la tensión de compresión uniforme actuando sobre un elemento plano
h	el ancho del elemento adyacente a un elemento rigidizado (por ejemplo: la altura del alma de una sección omega con múltiples rigidizadores en el ala comprimida es igual a h ; si los elementos adyacentes tienen diferentes anchos, debe usarse el menor).
I_{sp}	el momento de inercia del rigidizador respecto del baricentro de la parte plana del elemento. Se debe incluir la parte curva que une el rigidizador con la parte plana.
k	el coeficiente de abolladura del elemento
k_d	el coeficiente de abolladura para pandeo distorsional
k_{loc}	el coeficiente de abolladura para el sub-elemento.
L_{br}	la longitud libre entre puntos de arriostramiento u otros dispositivos que restringen el pandeo distorsional del elemento
R	el factor de modificación del coeficiente de pandeo distorsional del elemento
n	la cantidad de rigidizadores en un elemento
t	el espesor del elemento
i	el índice del rigidizador “i”
λ	la esbeltez
ρ	el factor de reducción

El ancho efectivo se determina de la siguiente forma:

$$b_e = \rho \left(\frac{A_g}{t} \right) \quad (\text{B.5.1-1})$$

$$\rho = 1 \quad \text{cuando } \lambda \leq 0,673 \quad (\text{B.5.1-2})$$

$$\rho = (1 - 0,22 / \lambda) / \lambda \quad \text{cuando } \lambda > 0,673 \quad (\text{B.5.1-3})$$

$$\lambda = \sqrt{\frac{f}{F_{cr}}} \quad (\text{B.5.1-4})$$

$$F_{cr} = k \frac{\pi^2 E}{12(1 - \mu^2)} \left(\frac{t}{b_o} \right)^2 \quad (\text{B.5.1-5})$$

El coeficiente de abolladura **k** se determinará como el menor valor entre **R.k_d** y **k_{loc}** de acuerdo con los artículos B.5.1.1 o B.5.1.2 según corresponda.

$$k = \text{el menor valor entre } R.k_d \text{ y } k_{loc} \quad (\text{B.5.1-6})$$

$$R = 2 \text{ cuando } (b_o / h) < 1 \quad (\text{B.5.1-7})$$

$$R = \frac{11 - b_o/h}{5} \geq \frac{1}{2} \text{ cuando } b_o / h \geq 1 \quad (\text{B.5.1-8})$$

B.5.1.1. Caso particular: “n” rigidizadores idénticos, igualmente espaciados

(a) Para la determinación de la resistencia

$$k_{loc} = 4(n + 1)^2 \quad (\text{B.5.1.1-1})$$

$$k_d = \frac{(1 + \beta^2)^2 + \gamma(1 + n)}{\beta^2 (1 + \delta(n + 1))} \quad (\text{B.5.1.1-2})$$

$$\beta = (1 + \gamma(n + 1))^{1/4} \quad (\text{B.5.1.1-3})$$

Si $L_{br} < \beta b_o$, entonces (L_{br} / b_o) podrá ser reemplazado por β para tener en cuenta el incremento de capacidad debido al arriostramiento.

$$\gamma = \frac{10,92 I_{sp}}{b_o t^3} \quad (\text{B.5.1.1-4})$$

$$\delta = \frac{A_s}{b_o t} \quad (\text{B.5.1.1-5})$$

(b) Para la determinación de deformaciones

El ancho efectivo, b_d , utilizado en el cálculo de las deformaciones, se determinará de acuerdo con el artículo B.5.1.1(a), colocando f_d en lugar de f , donde f_d es la tensión de compresión calculada en el elemento considerado, teniendo en cuenta la sección efectiva de la sección para la carga para la cual se determina la deformación (carga de servicio).

B.5.1.2. Caso general: rigidizadores con ubicación, tamaño y cantidad arbitraria

(a) Para la determinación de la resistencia

$$k_{loc} = 4(b_o / b_p)^2 \quad (\text{B.5.1.2-1})$$

$$k_d = \frac{(1 + \beta^2)^2 + 2 \sum_{i=1}^n \gamma_i \omega_i}{\beta^2 \left(1 + 2 \sum_{i=1}^n \delta_i \omega_i \right)} \quad (\text{B.5.1.2-2})$$

$$\beta = \left(2 \sum_{i=1}^n \gamma_i \omega_i + 1 \right)^{1/4} \quad (\text{B.5.1.2-3})$$

Si $L_{br} < \beta b_o$, entonces (L_{br} / b_o) podrá ser reemplazado por β para tener en cuenta el incremento de capacidad debido al arriostramiento.

$$\gamma_i = \frac{10,92 (I_{sp})_i}{b_o t^3} \quad (\text{B.5.1.2-4})$$

$$\omega_i = \text{sen}^2 \left(\pi \frac{c_i}{b_o} \right) \quad (\text{B.5.1.2-5})$$

$$\delta_i = \frac{(A_s)_i}{b_o t} \quad (\text{B.5.1.2-6})$$

(b) Para la determinación de deformaciones

El ancho efectivo, b_{ed} , utilizado en el cálculo de las deformaciones, se determinará de acuerdo con el artículo B.5.1.2(a), colocando f_d en lugar de f , donde f_d es la tensión de compresión calculada en el elemento considerado, teniendo en cuenta el área efectiva de la sección para la carga para la cual se determina la deformación. (Carga de servicio).

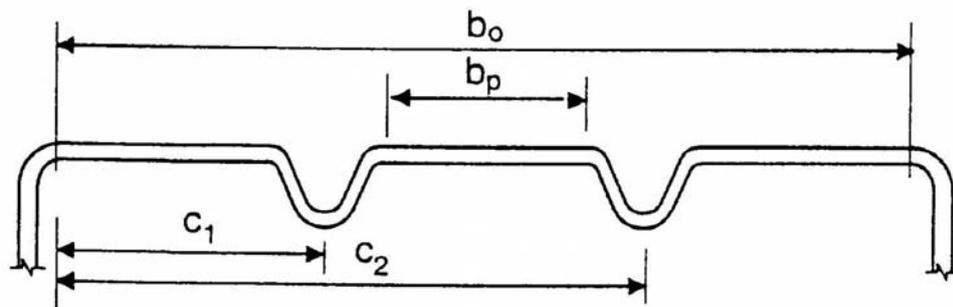


Figura B.5-1 Ancho de la chapa y ubicación de los rigidizadores.

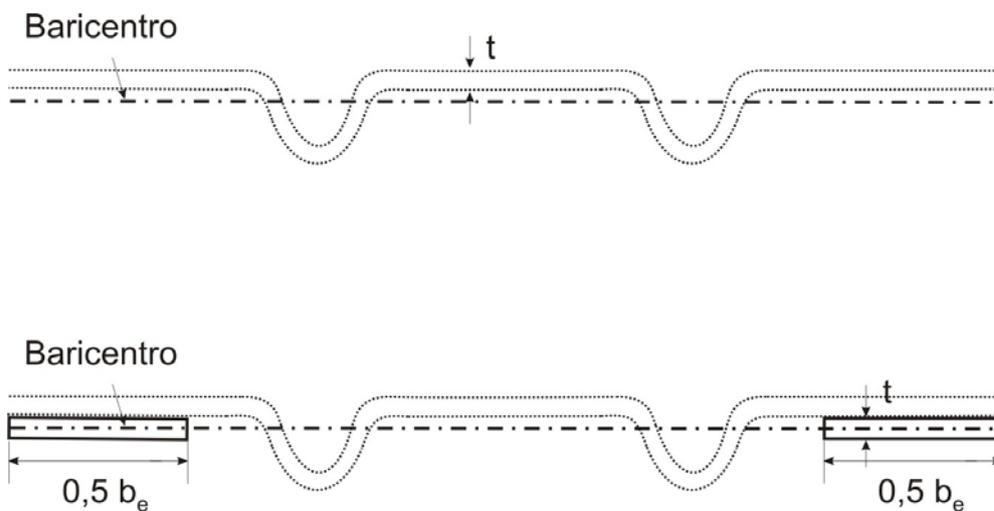


Figura B.5-2 Ubicación de los anchos efectivos.

B.5.2. Elementos con rigidizador de borde y rigidizadores intermedios

(a) Para la determinación de la resistencia

El ancho efectivo b_e se determinará de la siguiente forma:

Si $(b_o / t) \leq 0,328 S$, el elemento será totalmente efectivo y no se requerirá reducción por pandeo local.

Si $(b_o / t) > 0,328 S$, se determinará el coeficiente de abolladura k , de acuerdo con lo indicado en el artículo B.4.2, pero colocando b_o en lugar de b en todas las expresiones.

Si k , según el artículo B.4.2, resulta menor que 4 ($k < 4$), el o los rigidizadores intermedios no deberán ser considerados y el ancho efectivo se deberá calcular según el artículo B.4.2.

Si k , según el artículo B.4.2 es igual a 4 ($k = 4$), el ancho efectivo del elemento rigidizado en el borde se determinará según el artículo B.5.1, con la siguiente excepción:

El valor de R , calculado con las expresiones (B.5.1-7) y (B.5.1-8) deberá ser menor o igual que 1 , siendo b_o , el ancho plano total del elemento con rigidizador de borde.

El resto de la simbología está definida en los artículos B.4. y B.5.1.

(b) Para la determinación de deformaciones

El ancho efectivo b_{ed} para el cálculo de las deformaciones, se determinará según el artículo B.5.2(a), colocando f_d en lugar de f y f_t , donde f_d es la tensión de compresión para cargas de servicio calculada en el elemento considerado.

CAPÍTULO C. ESPECIFICACIONES PARA EL DISEÑO DE BARRAS

C.1. PROPIEDADES DE LAS SECCIONES

Las propiedades de las secciones (área de la sección transversal, momento de inercia, módulo resistente elástico, radio de giro, etc.) se deben determinar de acuerdo con los métodos convencionales del análisis estructural. Las propiedades se deben basar en la sección bruta de las barras (o en las secciones netas cuando esto sea aplicable) excepto cuando se requiera explícitamente el empleo de una sección reducida o un ancho efectivo de cálculo.

C.2. BARRAS TRACCIONADAS

Para las barras solicitadas a tracción, la resistencia nominal a la tracción, T_n , en kN, deberá ser el menor valor obtenido de los estados límites de (a) fluencia en la sección bruta, (b) rotura en la sección neta fuera de las uniones y (c) rotura en la sección neta efectiva en la unión;

(a) Para fluencia en la sección bruta

$$T_n = A_g F_y (10)^{-1} \quad (C.2-1)$$
$$\phi_t = 0,90$$

(b) Para rotura en la sección neta fuera de las uniones

$$T_n = A_n F_u (10)^{-1} \quad (C.2-2)$$
$$\phi_t = 0,75$$

siendo:

T_n la resistencia nominal a la tracción axial de la barra, en kN.

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

A_n el área de la sección neta, en cm^2

F_y la tensión de fluencia de acuerdo con lo determinado en el artículo **A.2.8** en MPa.

F_u la tensión de rotura de acuerdo con lo determinado en el artículo **A.2.1** en MPa.

(c) Para rotura en la sección neta efectiva en la unión:

La resistencia nominal a la tracción axil también estará limitada por los artículos **E.2.7**, **E.3**, **E.4** y **E.5** para barras traccionadas unidas mediante soldadura, bulones o tornillos.

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

C.3. BARRAS FLEXADAS

C.3.1. Resistencia para flexión simple

La resistencia nominal a la flexión, M_n , será el menor de los valores calculados de acuerdo con los artículos **C.3.1.1**, **C.3.1.2**, **C.3.1.3**, y **C.3.1.4** según corresponda.

Las especificaciones de este artículo no consideran efectos torsionales, tales como aquellos que resultan de cargas que no pasan por el centro de corte de la sección bruta.

Para el diseño de los arriostramientos que restrinjan desplazamientos laterales o giros ver el artículo **D.3**.

Para la determinación de la resistencia de diseño cuando el plano de corte no contenga al centro de corte, **se deberán considerar los efectos de la torsión resultantes de dicha excentricidad en aquellas secciones de la viga que no tengan impedida la torsión por el arriostramiento.**

C.3.1.1. Resistencia nominal de secciones lateralmente arriostradas en forma continua

Para barras con el ala comprimida lateralmente arriostrada en forma continua, la resistencia nominal a la flexión, M_n , se deberá calcular en base a la iniciación de la fluencia en la sección efectiva (**Procedimiento I**) o en base a la capacidad de reserva inelástica (**Procedimiento II**) cuando se admita su consideración.

- Para secciones con alas comprimidas rigidizadas o parcialmente rigidizadas:

$$\phi_b = 0,95$$

- Para secciones con alas comprimidas no rigidizadas:

$$\phi_b = 0,90$$

(a) **Procedimiento I** - En base a la iniciación de la fluencia:

El momento elástico efectivo, M_n (en kN.m), se debe determinar de la siguiente manera:

$$M_n = S_e F_y (10)^{-3} \quad (\text{C.3.1.1-1})$$

siendo:

F_y la tensión de fluencia según lo especificado en el artículo **A.2.8**, en MPa.

S_e el módulo elástico de la sección efectiva calculado para la fibra extrema comprimida o traccionada con F_y , en cm^3 .

(b) **Procedimiento II** - En base a la reserva de capacidad flexional inelástica:

La reserva de capacidad flexional inelástica se puede utilizar cuando se satisfacen simultáneamente las siguientes condiciones:

- (1) La barra **no** está solicitada **a torsión ni** sometida a **pandeo lateral torsional o flexotorsional**.
- (2) El efecto de la conformación en frío no se incluye al determinar el límite de fluencia F_y .
- (3) La relación entre la altura de la parte comprimida del alma y su espesor es menor o igual que λ_1 .
- (4) El esfuerzo de corte requerido en kN es menor o igual que $[0,60 F_y (\Sigma h t) (10)^{-1}]$.
- (5) El ángulo entre cualquier alma y la vertical es menor o igual que **30** grados.

La resistencia nominal a la flexión, M_n , en kN.m no deberá ser mayor que $(1,25 S_e F_y (10)^{-3})$ determinada de acuerdo con el **Procedimiento I**, ni que la flexión que produce una deformación específica máxima por compresión de $(C_y e_y)$ (no se limita la máxima deformación por tracción);

siendo:

e_y la deformación específica de fluencia = F_y/E

E el módulo de elasticidad longitudinal del acero, en MPa

C_y el factor de deformación específica por compresión determinado de la siguiente manera:

(a) Elementos comprimidos rigidizados sin rigidizadores intermedios

$$C_y = 3 \text{ para } b/t \leq \lambda_1$$

$$C_y = 3 - 2 \left(\frac{(b/t) - \lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} \right) \text{ para } \lambda_1 < \frac{b}{t} < \lambda_2$$

$$C_y = 1 \text{ para } (b/t) \geq \lambda_2$$

siendo:

$$\lambda_1 = \frac{1,11}{\sqrt{F_y / E}} \quad (\text{C.3.1.1-2})$$

$$\lambda_2 = \frac{1,28}{\sqrt{F_y / E}} \quad (\text{C.3.1.1-3})$$

(b) Elementos comprimidos no rigidizados

$$C_y = 1$$

(c) Elementos comprimidos con rigidización múltiple y elementos comprimidos con rigidizadores de borde

$$C_y = 1$$

Cuando corresponda, las propiedades de la sección se deberán calcular utilizando los anchos efectivos de cálculo. M_n se deberá calcular considerando el equilibrio de tensiones, suponiendo una curva tensión-deformación idealmente elastoplástica igual para compresión y tracción, suponiendo pequeñas deformaciones y que las secciones planas permanecen planas durante la flexión. La combinación de flexión y pandeo localizado del alma se deberá verificar de acuerdo con los requisitos del artículo **C.3.5**.

C.3.1.2. Resistencia al pandeo lateral-torsional

C.3.1.2.1. Resistencia al pandeo lateral-torsional de barras de sección abierta

Las especificaciones de este artículo se aplican para barras de sección **I**, **Z**, **C** y otras barras flexadas con simetría simple (**excluyendo tableros con múltiples almas, barras de sección U, y arcos o barras curvas**).

Las especificaciones de este artículo **no se aplican** a las alas comprimidas sin arriostramiento lateral de secciones que son lateralmente estables.

Para las correas de sección **C** y **Z** en las cuales el ala traccionada esté unida al revestimiento, ver el artículo **C.3.1.3**.

La resistencia nominal, M_n , en kN.m de los tramos sin arriostramiento lateral para secciones con simetría simple, simetría doble y simetría puntual sujetas a pandeo lateral, se debe calcular de la siguiente manera:

$$M_n = S_c F_c (10)^{-3} \quad (\text{C.3.1.2.1-1})$$
$$\phi_b = 0,90$$

siendo:

S_c el módulo elástico de la sección efectiva, referido a la fibra extrema comprimida con la tensión F_c , en cm^3 .

F_c la tensión crítica determinada de la siguiente manera, en MPa,

- Para $F_e \geq 2,78 F_y$

$$F_c = F_y \quad (\text{C.3.1.2.1-2})$$

- Para $2,78 F_y > F_e > 0,56 F_y$

$$F_c = \frac{10}{9} F_y \left(1 - \frac{10 F_y}{36 F_e} \right) \quad (\text{C.3.1.2.1-3})$$

- Para $F_e \leq 0,56 F_y$

$$F_c = F_e \quad (\text{C.3.1.2.1-4})$$

siendo:

F_e la tensión elástica crítica de pandeo lateral-torsional calculado de acuerdo con (a) o (b), en MPa:

(a) Para secciones con simetría simple, doble y puntual:

$$F_e = \frac{C_b r_o A}{S_f} \sqrt{\sigma_{ey} \sigma_t} \quad \text{para flexión respecto del eje de simetría.} \quad (\text{C.3.1.2.1-5})$$

Para secciones con simetría simple, el eje x es el eje de simetría orientado de manera tal que el centro de corte tiene una coordenada x negativa.

Para secciones con simetría puntual se debe utilizar $0,5F_e$. El eje x de las secciones Z es el eje baricéntrico perpendicular al alma.

Alternativamente, F_e se puede calcular utilizando las expresiones dadas en (b), para secciones doble T con simetría doble, para secciones C de simetría simple o secciones Z con simetría puntual.

$$F_e = \frac{C_s A \sigma_{ex}}{C_{TF} S_f} \left(j + C_s \sqrt{j^2 + r_o^2 (\sigma_t / \sigma_{ex})} \right) \quad \text{para flexión alrededor del eje baricéntrico perpendicular al eje de simetría sólo para secciones con simetría simple.} \quad (\text{C.3.1.2.1-6})$$

$C_s = +1$ para momento que provoca compresión del lado donde se encuentra el centro de corte considerado desde el baricentro.

$C_s = -1$ para momento que provoca tracción del lado donde se encuentra el centro de corte considerado desde el baricentro.

$$\sigma_{ex} = \frac{\pi^2 E}{(k_x L_x / r_x)^2} \quad (\text{C.3.1.2.1-7})$$

$$\sigma_{ey} = \frac{\pi^2 E}{(k_y L_y / r_y)^2} \quad (\text{C.3.1.2.1-8})$$

$$\sigma_t = \frac{1}{Ar_o^2} \left[GJ + \frac{\pi^2 EC_w}{(k_t L_t)^2} \right] \quad (\text{C.3.1.2.1-9})$$

A el área total de la sección transversal (sin reducir), en cm^2

S_f el módulo resistente elástico de la sección total, no reducida, referido a la fibra extrema comprimida, en cm^3 .

$$C_b = \frac{12,5 M_{m\acute{a}x}}{2,5 M_{m\acute{a}x} + 3 M_A + 4 M_B + 3 M_C} \quad (\text{C.3.1.2.1-10})$$

siendo:

M_{máx} el valor absoluto del momento máximo en el tramo no arriostrado lateralmente, en kN.m

M_A el valor absoluto de momento correspondiente al punto ubicado a un cuarto del tramo no arriostrado lateralmente, en kN.m.

M_B el valor absoluto del momento en el centro del tramo no arriostrado lateralmente, en kN.m.

M_C el valor absoluto del momento correspondiente al punto ubicado a tres cuartos del tramo no arriostrado lateralmente, en kN.m.

En todos los casos se permite tomar **C_b** igual a la unidad (valor conservador). Para los voladizos en los cuales el extremo libre no esté lateralmente arriostrado, **C_b** se debe tomar igual a la unidad.

E el módulo de elasticidad longitudinal del acero, en MPa.

$$C_{TF} = 0,6 - 0,4 (M_1/M_2) \quad (\text{C.3.1.2.1-11})$$

siendo:

M₁ ; M₂ **M₁** es el menor y **M₂** es el mayor momento flector en los extremos de la longitud no arriostrada en el plano de flexión, y **M₁/M₂**, es la relación entre los momentos de los extremos; se tomará positiva cuando **M₁** y **M₂** tengan el mismo signo (flexión con doble curvatura) y negativa cuando sean de signos

contrarios (flexión con simple curvatura). Cuando el momento flector en cualquier punto de una longitud lateralmente no arriostrada es mayor que en los dos extremos de dicha longitud, C_{TF} se debe tomar igual a la unidad.

r_o el radio de giro polar de la totalidad de la sección transversal respecto del centro de corte, en cm.

$$= \sqrt{r_x^2 + r_y^2 + x_o^2} \quad (\text{C.3.1.2.1-12})$$

r_x, r_y los radios de giro de la sección bruta respecto de los ejes principales baricéntricos, en cm.

G el módulo de elasticidad transversal del acero, en MPa.

k_x, k_y, k_t los factores de longitud efectiva para flexión respecto de los ejes x e y , y para torsión

L_x, L_y, L la longitud lateralmente no arriostrada de la barra comprimida para flexión respecto de los ejes x e y , y longitud no arriostrada para torsión, en cm.

x_o la distancia entre el centro de corte y el baricentro sobre el eje principal x , considerada negativa, en cm.

J el módulo de torsión de St. Venant de la sección transversal, en cm^4 .

C_w el módulo de alabeo de la sección transversal, en cm^6 .

$$j = \frac{1}{2I_y} \left[\int_A x^3 dA + \int_A xy^2 dA \right] - x_o \quad (\text{en cm}). \quad (\text{C.3.1.2.1-13})$$

(b) Para secciones doble T, secciones C de simple simetría o secciones Z flexionadas respecto del eje baricéntrico perpendicular al alma (eje x), se permiten usar las siguientes expresiones, en lugar de las establecidas en (a), para la determinación de F_e :

$$F_e = \frac{C_b \pi^2 E d I_{yc}}{S_f (k_y L_y)^2} \quad \text{Para secciones doble T con simetría doble y secciones C de simetría simple en MPa.} \quad (\text{C.3.1.2.1-14})$$

$$= \frac{C_b \pi^2 E d I_{yc}}{2 S_f (k_y L_y)^2} \quad \text{Para secciones Z con simetría puntual en MPa.} \quad (\text{C.3.1.2.1-15})$$

siendo:

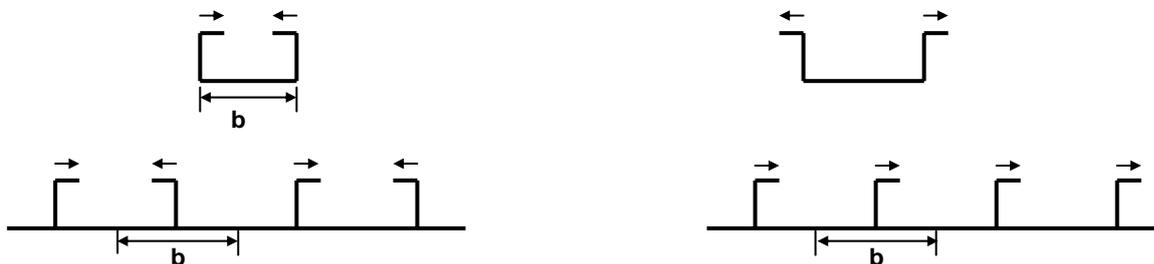
d la altura de la sección, en cm.

I_{yc} el momento de inercia de la parte comprimida de la sección respecto del eje baricéntrico de la sección bruta paralelo al alma, utilizando la sección total, no reducida, en cm^4 .

Los demás términos han sido definidos en (a)

C.3.1.2.2. Pandeo lateral de alas comprimidas sin arriostramiento lateral (Secciones U, C y tableros con rigidizadores múltiples)

Las especificaciones de este artículo se aplican a vigas de sección en **U**, **C** o galera invertida y secciones que tienen un conjunto de rigidizadores unidos a una chapa tales como las indicadas en la Figura C.3-1, cuando la flexión produce compresión en las alas extremas.



Las flechas indican el sentido probable de pandeo ; **b** es la porción colaborante del ala traccionada

Figura C.3-1 Secciones U, C, galera invertida y Secciones con rigidizadores unidos a una chapa.

La resistencia nominal, **M_n** , en kN.m se debe calcular de la siguiente manera:

$$M_n = S_c F_{c2} (10)^{-3} \quad (\text{C.3.1.2.2-1})$$

$$\phi_{b1} = 0,85$$

siendo:

S_c el módulo elástico de la sección efectiva, referido a la fibra extrema comprimida con la tensión **F_{c2}** , en cm^3 .

F_{c2} la tensión de compresión en la fibra extrema determinada con el siguiente procedimiento, en MPa:

- (1) Se determina la posición del eje neutro (eje baricéntrico de la sección transversal).
- (2) Se define la “columna equivalente” formada por la parte de sección transversal que va desde la fibra extrema comprimida hasta la fibra ubicada a la distancia h_{eq} de ella (ver la Figura C.3-2).
- (3)

$$h_{eq} = \frac{(3c_c - c_t)}{12c_c} d \quad (\text{C.3.1.2.2-2})$$

siendo:

d la altura total de la sección transversal, en cm.

c_c la distancia entre el eje neutro y la fibra extrema comprimida, en cm.

c_t la distancia entre el eje neutro y la fibra extrema traccionada, en cm.

- (4) Se determina la distancia y_o entre el centro de gravedad (G_s) y el centro de corte de la “columna equivalente” (C_s) medida paralela al alma.

(Si la sección transversal de la columna equivalente es un ángulo o una te, el centro de corte se encuentra en la intersección de ala y alma)

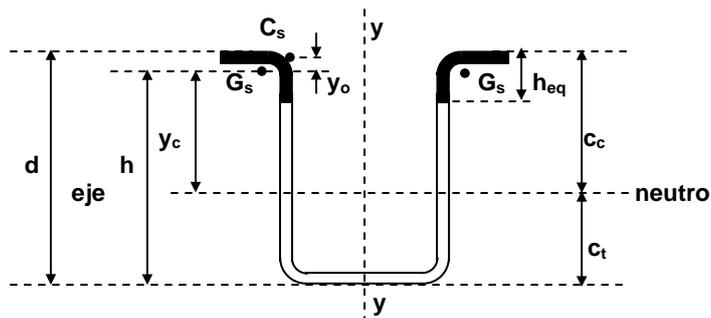


Figura C.3-2 Sección U, galera invertida. Columna equivalente.

- (4) Se determina la constante de resorte β :

Se puede determinar tomando una porción de la barra de longitud unitaria (**1cm**); aplicando una fuerza unitaria (**1 kN**) que pase por el centro de gravedad de la columna equivalente y sea perpendicular al alma. Se calcula el desplazamiento lateral δ (en cm) de dicho centro con respecto a la base del alma y la constante de resorte resulta: $\beta = (1 / \delta)$

- (5) Se determina el parámetro que refleja la influencia debilitante de la torsión de la columna equivalente

$$T_o = h / (h + 3,4 y_o) \quad (\text{C.3.1.2.2-3})$$

siendo:

h la distancia entre baricentro de la columna equivalente y la fibra extrema del ala traccionada, en cm.

y_o la distancia entre el baricentro y el centro de corte de la columna equivalente medida paralela al alma, en cm.

- (6) Se determina la carga crítica P_{cr} de la columna equivalente de la siguiente manera:

- (a) Si el ala está arriostrada lateralmente en dos o más puntos:

$$\text{si } C \leq 30 \quad P_{cr} = T \left(1 + \frac{\beta L^2}{\pi^2 P_e} \right) P_e \quad (\text{C.3.1.2.2-4})$$

$$\text{si } C > 30 \quad P_{cr} = T \left(0,6 + \frac{2}{\pi} \sqrt{\frac{\beta L^2}{P_e}} \right) P_e \quad (\text{C.3.1.2.2-5})$$

siendo:

$$C = \frac{\beta L^2}{P_e}$$

P_{cr} la carga crítica de la columna equivalente, en kN.

P_e la carga crítica de Euler de columna equivalente = $10^{-1} \pi^2 E I_e / L^2$ en kN.

β la constante de resorte = $1 / \delta$ en kN/cm².

L la longitud no arriostrada de la columna equivalente (separación entre arriostramientos del ala comprimida, en cm).

I_e momento de inercia de la columna equivalente con respecto a su eje baricéntrico paralelo al alma, en cm⁴.

$$T = T_o \quad \text{si} \quad L \geq L'$$

$$T = T_o (L / L') \quad \text{si} \quad L < L'$$

$$L' = 3,7 \sqrt[4]{I_e (h / t)^3} \quad \text{en cm.}$$

- (b) Si el ala esta arriostrada lateralmente en menos de dos puntos:

$$P_{cr} = T_o \sqrt{4 \beta E I_e} \quad (\text{C.3.1.2.2-6})$$

(7) Se determina la esbeltez de la columna equivalente:

$$(k L / r)_{eq} = \frac{1}{1,1} \sqrt{\frac{\pi^2 E}{(10 P_{cr}) / A_e}} \quad (\text{C.3.1.2.2-7})$$

siendo:

A_e el área de la sección transversal de la columna equivalente, en cm^2 .

(8) Con las especificaciones del artículo C.4. (a) y C.4.1 del Reglamento se obtiene la tensión nominal F_n para la esbeltez de la columna equivalente. Esa tensión se ubica en el baricentro de la columna equivalente situada a la distancia y_c del eje neutro.

(9) Se obtiene la tensión de compresión en la fibra extrema F_{c2} :

$$F_{c2} = F_c (c_c / y_c) \quad (\text{C.3.1.2.2-8})$$

C.3.1.3. Vigas con el ala traccionada unida en forma fija y continua a un tablero o revestimiento

Este artículo **no se aplica** a las vigas continuas para la región entre puntos de inflexión adyacentes a un apoyo, ni a las vigas en voladizo.

La resistencia nominal a la flexión, M_n , en kN.m de secciones **C** o **Z** cargadas en **un plano paralelo al alma, con el ala traccionada** unida a un tablero o revestimiento y con el ala comprimida sin arriostramiento lateral se debe calcular de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} M_n &= R S_e F_y (10)^{-3} \\ \phi_b &= 0,90 \end{aligned} \quad (\text{C.3.1.3-1})$$

donde R se debe obtener de la Tabla **C.3-1** para secciones **C** y **Z** de un solo tramo, y

$R = 0,60$ para perfiles **C** en vigas continuas.

$R = 0,70$ para perfiles **Z** en vigas continuas.

S_e y F_y se definieron en el artículo C.3.1.1.

El factor de reducción, R , se debe **solamente** aplicar a los sistemas de cubierta, piso o pared que satisfagan las siguientes condiciones:

- (1) Barras de altura menor **que 292 mm**.
- (2) Barras con alas comprimidas con rigidizadores de borde.
- (3) **$60 \leq \text{altura} / \text{espesor} \leq 170$** .

- (4) $2,8 \leq \text{altura} / \text{ancho del ala} \leq 4,5$.
- (5) $16 \leq \text{ancho plano del ala} / \text{espesor del ala} \leq 43$.
- (6) Para barras continuas en las cuales la continuidad se logra mediante la superposición de dos perfiles (por ejemplo secciones Z anidables), la longitud de superposición en cada apoyo interior y hacia cada lado del apoyo (distancia entre el centro del apoyo y el final de la superposición) no debe ser menor que **1,5 d**.
- (7) Luz del tramo de barra no mayor que **10 m**.
- (8) Para barras continuas, la luz del tramo más largo no debe exceder en más del **20%** a la luz del tramo más corto.
- (9) El desplazamiento lateral de ambas alas está impedido en los apoyos.
- (10) Los paneles deben estar realizados a partir de chapas de acero de tensión de fluencia no menor que **340 MPa** y con un espesor mínimo de **0,46 mm**, teniendo una altura mínima de los nervios de **32 mm**, separados un máximo de **305 mm** entre sus centros y unidos de una manera que impida efectivamente los desplazamientos relativos entre el panel y el ala de la correa.
- (11) La aislación, cuando exista, debe ser una capa de fibra de vidrio de entre 0 y **152 mm** de espesor comprimida entre la barra y el panel de una manera compatible con los sistemas de unión utilizados.
- (12) Tipos de unión: tornillos para chapas autoperforantes o autorroscantes N° 12 (como mínimo) o remaches de 4,76 mm (mínimo), arandelas de 12,7 mm de diámetro.
- (13) Los medios de unión deben asegurar un contacto sin holgura entre los elementos a unir.
- (14) La separación entre los centros de los medios de unión no debe ser mayor que **305 mm** y deben estar colocados aproximadamente en el centro del ala de la viga.
- (15) La tensión de fluencia de cálculo de las barras no excederá **410 MPa**.

Si alguna de las variables no está comprendida dentro de los límites indicados en el párrafo precedente, se deben llevar a cabo ensayos a escala real de acuerdo con el artículo F.1. del Reglamento, o bien aplicar un procedimiento de análisis racional.

En todos los casos, como alternativa al procedimiento descrito en este artículo, se podrán realizar ensayos de acuerdo con el artículo F.1.

TABLA C.3-1 Valores de R para secciones C o Z de un solo tramo

Altura (mm)	Sección	R
$d \leq 165$	C o Z	0,70
$165 < d \leq 216$	C o Z	0,65
$216 < d \leq 292$	Z	0,50
$216 < d \leq 292$	C	0,40

Cuando exista aislación para barras de un solo tramo, **R** deberá ser reducido debido a los efectos del aislamiento comprimido entre el cerramiento y la barra. La reducción deberá ser calculada multiplicando el valor de **R**, obtenido de la Tabla C.3-1, por el siguiente factor de corrección **r**:

$$r = 1,00 - 0,0004 t_i \quad \text{(C.3.1.3-2)}$$

siendo:

t_i el espesor de la aislación de fibra de vidrio sin comprimir, en mm.

C.3.1.4. Vigas de sección C o Z con el ala comprimida unida a una cubierta o revestimiento de chapa plegada

Sólo si la unión del ala comprimida del perfil a la chapa de la cubierta o revestimiento se realiza **con tornillos autoperforantes o autorroscantes colocados en el valle del plegado** y el **arriostramiento** del sistema de cubierta se realiza **según** lo especificado en **el artículo D.3.2.1**, la resistencia nominal a la flexión, M_n , de secciones **C** o **Z**, cargadas en un plano paralelo al alma, se determinará con las especificaciones del artículo C.3.1.2.1. considerando como longitud no arriestrada **2** veces la distancia entre pasadores medida según el eje del perfil.

Con cualquier otro sistema de fijación entre chapa y perfil o un sistema de arriostramiento distinto al especificado en el artículo D.3.2.1 **no podrá tenerse en cuenta** el arriostramiento provisto por la chapa, excepto que el mismo se demuestre mediante ensayos realizados con las especificaciones del Capítulo F.

C.3.2. Resistencia al corte

C.3.2.1. Resistencia al corte de barras con almas sin perforaciones.

La resistencia nominal al corte, V_n , (en kN) se determinará de la siguiente manera:

$$V_n = A_w F_v (10)^{-1} \quad \text{(C.3.2.1-1)}$$

(a) Para $h/t \leq \sqrt{E k_v / F_y}$

$$F_v = 0,60 F_y \quad \text{(C.3.2.1-2)}$$

(b) Para $\sqrt{Ek_v / F_y} < (h/t) \leq 1,51\sqrt{Ek_v / F_y}$

$$F_v = \frac{0,60\sqrt{Ek_v F_y}}{(h/t)} \quad (\text{C.3.2.1-3})$$

(c) Para $h/t > 1,51\sqrt{Ek_v / F_y}$

$$F_v = \frac{\pi^2 Ek_v}{12(1-\mu^2)(h/t)^2} = 0,904 Ek_v / (h/t)^2 \quad (\text{C.3.2.1-4})$$

La resistencia de diseño al corte V_d es:

$$V_d = \phi_v V_n \\ \phi_v = 0,95$$

siendo:

A_w el área del alma de la barra = $h t$ en cm^2 .

E el módulo de elasticidad longitudinal del acero, en MPa.

F_v la tensión nominal de corte, en MPa.

V_n la resistencia nominal al corte, en kN.

t el espesor del alma, en cm.

h la altura de la parte plana del alma medida sobre el plano del alma, en cm.

k_v el coeficiente de abolladura por corte determinado de la siguiente manera:

1. Para almas no rigidizadas, $k_v = 5,34$
2. Para almas de vigas con rigidizadores transversales que satisfacen los requisitos del artículo C.3.6

Cuando $a/h \leq 1,0$

$$k_v = 4,00 + \frac{5,34}{(a/h)^2} \quad (\text{C.3.2.1-5})$$

Cuando $a/h > 1,0$

$$k_v = 5,34 + \frac{4,00}{(a/h)^2} \quad (\text{C.3.2.1-6})$$

siendo:

- a** la longitud del panel de corte del elemento de alma no rigidizada en cm, o la distancia libre entre rigidizadores transversales en el caso de elementos con almas rigidizadas, en cm.

Para un alma compuesta por dos o más chapas, cada chapa se debe considerar como un elemento independiente que soporta su parte del esfuerzo de corte.

C.3.2.2. Resistencia al corte de almas de secciones C con perforaciones.

Estas especificaciones serán aplicables dentro de los siguientes límites:

- (1) $d_o/h \leq 0,7$.
- (2) $h/t \leq 200$.
- (3) Perforaciones centradas en la línea media del alma.
- (4) Distancia libre entre perforaciones $\geq 457mm$.
- (5) En perforaciones no circulares, radio en las esquinas $\geq 2 t$.
- (6) En perforaciones no circulares, $d_o \leq 64mm$ y $b \leq 114mm$.
- (7) En perforaciones circulares, diámetro $\leq 152mm$.
- (8) $d_o > 14mm$.

La resistencia nominal al corte V_n , determinada según el artículo C.3.2.1 deberá ser multiplicada por q_s :

Cuando $c / t \geq 54$

$$q_s = 1,0 \quad (C.3.2.2-1)$$

Cuando $5 \leq c / t < 54$

$$q_s = c/(54t) \quad (C.3.2.2-2)$$

siendo:

$$c = h/2 - d_o/2,83 \text{ para perforaciones circulares.} \quad (C.3.2.2-3)$$

$$c = h/2 - d_o/2 \text{ para perforaciones no circulares.} \quad (C.3.2.2-4)$$

d_o la altura de las perforaciones del alma, en cm.

b la longitud de las perforaciones del alma, en cm.

h la altura de la parte recta del alma medida a lo largo del plano del alma, en cm.

C.3.3. Flexión y Corte combinados

Para vigas solicitadas a flexión y a corte, la resistencia requerida a flexión M_u , y la resistencia requerida al corte V_u , no deben superar a $\phi_b M_n$ y $\phi_v V_n$, respectivamente.

Para vigas con almas no rigidizadas, la resistencia requerida a flexión M_u , y la resistencia requerida al corte V_u , deberán **también** satisfacer la siguiente expresión de interacción:

$$\left(\frac{M_u}{\phi_b M_{nxo}} \right)^2 + \left(\frac{V_u}{\phi_v V_n} \right)^2 \leq 1 \quad (\text{C.3.3-1})$$

Para vigas con rigidizadores transversales en las almas, cuando $M_u / (\phi_b M_{nxo}) > 0,5$ y $V_u / (\phi_v V_n) > 0,7$, M_u y V_u deberán **también** satisfacer la siguiente expresión de interacción:

$$0,6 \left(\frac{M_u}{\phi_b M_{nxo}} \right) + \left(\frac{V_u}{\phi_v V_n} \right) \leq 1,3 \quad (\text{C.3.3-2})$$

siendo:

ϕ_b el factor de resistencia para flexión (Ver el artículo C.3.1.1).

ϕ_v el factor de resistencia para corte (Ver el artículo C.3.2).

M_n la resistencia nominal a la flexión cuando sólo se considera flexión, ver en kN.m.

M_{nxo} la resistencia nominal a la flexión respecto al eje baricéntrico x , determinada de acuerdo con el artículo C.3.1.1, en kN.m.

V_n la resistencia nominal al corte cuando sólo se considera corte, en kN

M_u la resistencia requerida a flexión, en kN.m.

V_u la resistencia requerida a corte, en kN.

C.3.4. Pandeo localizado del alma

C.3.4.1. Resistencia al pandeo localizado en almas sin perforaciones

La resistencia nominal al pandeo localizado, P_n , se determinará con la siguiente expresión:

$$P_n = Ct^2 F_y \text{ sen } \theta \left(1 - C_R \sqrt{\frac{R}{t}} \right) \left(1 + C_N \sqrt{\frac{N}{t}} \right) \left(1 - C_h \sqrt{\frac{h}{t}} \right) (10)^{-1} \quad (\text{C.3.4.1-1})$$

siendo:

- P_n la resistencia nominal del alma, en kN.
- C el coeficiente que se obtiene de las Tablas C.3.-2, C.3.-3, C.3.-4, C.3-5 ó C.3-6.
- C_h el coeficiente de esbeltez del alma que se obtiene de las Tablas C.3-2, C.3-3, C.3-4, C.3-5 ó C.3-6.
- C_N el coeficiente de longitud de apoyo que se obtiene de las Tablas C.3-2, C.3-3, C.3-4, C.3-5 ó C.3-6.
- C_R el coeficiente de radio de curvatura interno que se obtiene de Tablas C.3-2, C.3-3, C.3-4, C.3-5 ó C.3-6.
- F_y la tensión de fluencia especificada del acero, en MPa.
- h la altura de la parte recta del alma medida a lo largo del plano del alma, en cm.
- N la longitud real del apoyo, en cm, (no menor que 2 cm).
- R el radio interno de plegado, en cm.
- t el espesor del alma, en cm.
- θ el ángulo entre el plano del alma y el plano de la superficie de apoyo $45^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$.

Las almas de barras flexionadas en las que h/t sea mayor que **200** deberán estar provistas de medios adecuados para transmitir las cargas concentradas o reacciones directamente a las almas.

P_n es la resistencia nominal para cargas concentradas o reacciones que corresponde a un alma simple vinculada a alas en su parte superior e inferior. Para almas constituidas por dos o más chapas, P_n se debe calcular para cada chapa individual y la suma de los resultados será la resistencia nominal de la sección total.

Se considera una **carga concentrada** o **reacción sobre un ala**, cuando la distancia libre entre los bordes de apoyo de cargas o reacciones de sentido contrario adyacentes es mayor que **1,5h**.

Se considera una **carga concentrada** o **reacción sobre dos alas**, cuando la distancia libre entre los bordes de apoyo de cargas o reacciones de sentido contrario adyacentes es menor o igual que **1,5h**.

Se consideran cargas o reacciones **extremas** cuando la distancia libre entre los bordes de apoyo de las cargas o reacciones y el extremo de la barra es menor o igual que **1,5h**.

Se consideran cargas o reacciones **interiores** cuando la distancia libre entre los bordes de apoyo de las cargas o reacciones y el extremo de la barra es mayor que **1,5h**, excepto lo que se indica en las notas de las Tablas siguientes.

La resistencia de diseño es $R_n = \phi_w P_n$.

Los factores de resistencia ϕ_w se dan en las Tablas C.3-2 a C.3-6.

TABLA C.3-2 Secciones armadas

Condiciones del ala y del apoyo		Casos de Carga		C	C _R	C _N	C _h	ϕ_w	Limitación
Unida al apoyo	Alas rigidizadas o parcialmente rigidizadas	Sobre un ala	Extremas	10	0,14	0,28	0,001	0,75	R/t ≤ 5
			Interior	20	0,15	0,05	0,003	0,90	R/t ≤ 5
Sin unir	Alas rigidizadas o parcialmente rigidizadas	Sobre un ala	Extremas	10	0,14	0,28	0,001	0,75	R/t ≤ 5
			Interior	20,5	0,17	0,11	0,001	0,85	R/t ≤ 3
		Sobre dos alas	Extremas	15,5	0,09	0,08	0,04	0,75	R/t ≤ 3
			Interior	36	0,14	0,08	0,04	0,75	R/t ≤ 3
	Alas sin rigidizar	Sobre un ala	Extremas	10	0,14	0,28	0,001	0,75	R/t ≤ 5
			Interior	20,5	0,17	0,11	0,001	0,85	R/t ≤ 3

Notas:
 Esta Tabla se aplica para secciones doble T armadas mediante secciones U unidas alma con alma.
 Ver el artículo C.3.4.1 de los Comentarios.
 Los coeficientes arriba indicados se aplican cuando $h/t \leq 200$, $N/t \leq 210$, $N/h \leq 1,0$ y $\theta = 90^\circ$

TABLA C.3-3 Secciones C de alma simple

Condiciones del ala y del apoyo		Casos de Carga		C	C _R	C _N	C _h	ϕ_w	Limitación
Unida al apoyo	Alas rigidizadas o parcialmente rigidizadas	Sobre un ala	extremas	4	0,14	0,35	0,02	0,85	R/t ≤ 9
			Interior	13	0,23	0,14	0,01	0,90	R/t ≤ 5
		Sobre dos alas	extremas	7,5	0,08	0,12	0,048	0,85	R/t ≤ 12
			Interior	20	0,10	0,08	0,031	0,85	R/t ≤ 12
Sin unir	Alas rigidizadas o parcialmente Rigidizadas	Sobre un ala	extremas	4	0,14	0,35	0,02	0,80	R/t ≤ 5
			Interior	13	0,23	0,14	0,01	0,90	R/t ≤ 5
		Sobre dos alas	extremas	13	0,32	0,05	0,04	0,90	R/t ≤ 3
			Interior	24	0,52	0,15	0,001	0,80	R/t ≤ 3
	Alas sin rigidizar	Sobre un ala	extremas	4	0,40	0,60	0,03	0,85	R/t ≤ 2
			Interior	13	0,32	0,10	0,01	0,85	R/t ≤ 1
		Sobre dos alas	extremas	2	0,11	0,37	0,01	0,75	R/t ≤ 1
			Interior	13	0,47	0,25	0,04	0,80	R/t ≤ 1

Notas:
 (1) Los coeficientes arriba indicados se aplican cuando $h/t \leq 200$, $N/t \leq 210$, $N/h \leq 2,0$ y $\theta = 90^\circ$
 (2) Para reacciones o cargas interiores sobre dos alas cargadas y cuando la barra tiene sus alas unidas al apoyo, la distancia desde el borde del apoyo al extremo de la barra debe ser como mínimo **2,5h**. Para los casos sin unir, la distancia desde el borde del apoyo al extremo de la barra debe ser como mínimo **1,5h**.

TABLA C.3-4 Secciones Z de alma simple

Condiciones del ala y del apoyo		Casos de Carga		C	C _R	C _N	C _h	φ _w	Limitación
Unida al apoyo	Alas rigidizadas o parcialmente rigidizadas	Sobre un ala	Extremas	4	0,14	0,35	0,02	0,85	R/t ≤ 9
			Interior	13	0,23	0,14	0,01	0,90	R/t ≤ 5
		Sobre dos alas	Extremas	9	0,05	0,16	0,052	0,85	R/t ≤ 12
			Interior	24	0,07	0,07	0,04	0,80	R/t ≤ 12
Sin unir	Alas rigidizadas o parcialmente rigidizadas	Sobre un ala	Extremas	5	0,09	0,02	0,001	0,85	R/t ≤ 5
			Interior	13	0,23	0,14	0,01	0,90	R/t ≤ 5
		Sobre dos alas	Extremas	13	0,32	0,05	0,04	0,90	R/t ≤ 3
			Interior	24	0,52	0,15	0,001	0,80	R/t ≤ 3
	Alas sin rigidizar	Sobre un ala	Extremas	4	0,40	0,60	0,03	0,85	R/t ≤ 2
			Interior	13	0,32	0,10	0,01	0,85	R/t ≤ 1
		Sobre dos alas	Extremas	2	0,11	0,37	0,01	0,75	R/t ≤ 1
			Interior	13	0,47	0,25	0,04	0,80	R/t ≤ 1

Notas:

- (1) Los coeficientes arriba indicados se aplican cuando $h/t \leq 200$, $N/t \leq 210$, $N/h \leq 2,0$ y $\theta = 90^\circ$
 (2) Para reacciones o cargas internas sobre dos alas cargadas y en el que la barra tiene sus alas unidas al apoyo, la distancia desde el borde del apoyo al extremo de la barra debe ser como mínimo **2,5h**. Para los casos sin unir, la distancia desde el borde del apoyo al extremo de la barra debe ser como mínimo **1,5h**.

TABLA C.3-5 Secciones Galera

Condiciones del apoyo		Casos de Carga		C	C _R	C _N	C _h	φ _w	Limitación
Unida al apoyo	Sobre un ala	Extremas	4	0,25	0,68	0,04	0,75	R/t ≤ 5	
		Interior	17	0,13	0,13	0,04	0,80	R/t ≤ 10	
	Sobre dos alas	Extremas	9	0,10	0,07	0,03	0,85	R/t ≤ 10	
		Interior	10	0,14	0,22	0,02	0,85	R/t ≤ 10	
Sin unir	Sobre un ala	Extremas	4	0,25	0,68	0,04	0,75	R/t ≤ 4	
		Interior	17	0,13	0,13	0,04	0,90	R/t ≤ 4	

Notas:

- (1) Los coeficientes arriba indicados se aplican cuando $h/t \leq 200$, $N/t \leq 200$, $N/h \leq 2,0$ y $\theta = 90^\circ$.

TABLA C.3-6 Secciones de tableros con almas múltiples

Condiciones del apoyo	Casos de Carga		C	C _R	C _N	C _h	φ _w	Limitación
Unida al apoyo	Sobre un ala	Extremas	3	0,08	0,70	0,055	0,65	R/t ≤ 7
		Internas	8	0,10	0,17	0,004	0,85	R/t ≤ 10
	Sobre dos alas	Extremas	9	0,12	0,14	0,04	0,85	R/t ≤ 10
		Internas	10	0,11	0,21	0,02	0,85	R/t ≤ 10
Sin unir	Sobre un ala	Extremas	3	0,08	0,70	0,055	0,65	R/t ≤ 7
		Internas	8	0,10	0,17	0,004	0,85	R/t ≤ 7
	Sobre dos alas	Extremas	6	0,16	0,15	0,05	0,90	R/t ≤ 5
		Internas	17	0,10	0,10	0,046	0,90	R/t ≤ 5
Notas:								
(1) Los coeficientes arriba indicados se aplican cuando $h/t \leq 200$, $N/t \leq 210$, $N/h \leq 3,0$								
(2) $45^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$								

C.3.4.2. Resistencia al pandeo localizado en almas de secciones C con perforaciones

Cuando existen perforaciones en las almas dentro de la longitud del apoyo, se deberán colocar rigidizadores de apoyo.

Para almas de vigas con perforaciones, la resistencia al pandeo localizado se determinará de acuerdo con el artículo C.3.4.1 multiplicando por el factor de reducción R_c que se indica en este artículo.

Estas especificaciones se deberán aplicar dentro de los siguientes límites:

- (1) $d_o/h \leq 0,7$.
 - (2) $h/t \leq 200$.
 - (3) La perforación está centrada en la mitad de la altura del alma.
 - (4) Distancia libre entre perforaciones $\geq 457 \text{ mm}$.
 - (5) Distancia entre el extremo de la barra y el borde de la perforación $\geq d$.
 - (6) En perforaciones no circulares, radio en las esquinas $\geq 2t$.
 - (7) En perforaciones no circulares, $d_o \leq 64 \text{ mm}$ y $b \leq 114 \text{ mm}$.
 - (8) En perforaciones circulares, diámetro $\leq 152 \text{ mm}$.
 - (9) $d_o > 14 \text{ mm}$.
- Para una reacción **extrema sobre un ala**, (expresión (C.3.4.1-1) con Tabla C.3-3) y cuando la perforación no se encuentre dentro de la longitud de apoyo:

$$R_c = 1,01 - 0,325 (d_o/h) + 0,083 (x/h) \leq 1,0 \quad (\text{C.3.4.2-1})$$

$$N \geq 25 \text{ mm}$$

- Para una reacción **interior sobre un ala**, (expresión (C.3.4.1-1) con Tabla C.3-3) y cuando ninguna porción de la perforación esté dentro de la longitud de apoyo:

$$R_c = 0,90 - 0,047 (d_o/h) + 0,053 (x/h) \leq 1,0 \quad (\text{C.3.4.2-2})$$

$$N \geq 76 \text{ mm}$$

siendo

b la longitud de la perforación, en cm.

d a altura de la sección, en cm.

d_o la altura de la perforación, en cm.

h la altura de la parte plana del alma medida sobre el plano del alma, en cm.

x la menor distancia entre la perforación del alma y el borde del apoyo, en cm.

N la longitud de apoyo, en cm.

C.3.5. Flexión y pandeo localizado del alma combinados

Las almas planas no reforzadas (con rigidizadores) de perfiles sometidos a una combinación de flexión y carga concentrada o reacción se deben diseñar de manera que cumplan con los siguientes requisitos:

- (a) Para perfiles que poseen almas simples no reforzadas:

$$1,07 \left(\frac{P_u}{\phi_w P_n} \right) + \left(\frac{M_u}{\phi_b M_{nxo}} \right) \leq 1,42 \quad (\text{C.3.5-1})$$

Excepción: en los apoyos interiores de tramos continuos, la expresión anterior no es aplicable para tableros o vigas con dos o más almas simples, cuando los bordes comprimidos de almas adyacentes están arriostrados lateralmente en la región de momento negativo. Este arriostramiento podrá estar provisto mediante elementos conectados a las alas de forma continua o intermitente, revestimientos rígidos u otro arriostramiento lateral, y la separación entre almas adyacentes no será mayor que 25,4 cm.

- (b) Para perfiles que poseen múltiples almas no reforzadas, como los perfiles doble T compuestos por dos perfiles **C** unidos espalda contra espalda, o perfiles similares, que proporcionen un elevado grado de restricción contra la rotación del alma (tales como las secciones doble T fabricadas soldando dos ángulos a un perfil **C**):

$$0,82 \left(\frac{P_u}{\phi_w P_n} \right) + \left(\frac{M_u}{\phi_b M_{nxo}} \right) \leq 1,32 \quad (\text{C.3.5-2})$$

Excepción: En lugar de la expresión (C.3.5-2), cuando $(h/t) \leq 2,33/\sqrt{F_y/E}$ y $\lambda \leq 0,673$, estará permitido determinar la resistencia de diseño para una carga concentrada o reacción utilizando $\phi_w P_n$ del artículo C.3.4.

En las expresiones anteriores:

- ϕ_b el factor de resistencia para flexión (Ver el artículo C.3.1.1).
- ϕ_w el factor de resistencia para pandeo localizado del alma (Ver el artículo C.3.4.).
- P_u la resistencia requerida para la carga concentrada o reacción en presencia de momento flector, en kN.
- P_n la resistencia nominal para carga concentrada o reacción en ausencia de momento flector determinada de acuerdo con el artículo C.3.4, en kN.
- M_u la resistencia a flexión requerida en el punto de aplicación de la carga concentrada o reacción, P_u , o inmediatamente adyacente al mismo, en kN.m.
- M_{no} resistencia nominal a la flexión respecto al eje x baricéntrico determinada de acuerdo con el artículo C.3.1.1, en kN.m.
- b el ancho plano del ala de la viga que está en contacto con la placa de apoyo, en cm.
- t el espesor del alma o del ala, en cm.
- λ el factor de esbeltez dado en el artículo B.2.1.

(c) Para dos perfiles **Z** anidados:

$$\frac{M_u}{M_{no}} + 0,85 \frac{P_u}{P_n} \leq 1,65 \phi \quad (\text{C.3.5-3})$$

También se deberá verificar que:

$$M_u \leq \phi_b M_{no} \text{ y } P_u \leq \phi_w P_n.$$

siendo:

- M_u la resistencia a flexión requerida en la sección considerada, en kN.m.
- M_{no} la resistencia nominal a flexión para los dos perfiles **Z** anidados, es decir, la sumatoria de los dos perfiles evaluados individualmente, determinada de acuerdo con el artículo C.3.1.1, en kN.m.
- P_u la resistencia requerida para la carga concentrada o reacción en presencia de momento flector, en kN.

P_n la resistencia nominal al pandeo localizado del alma suponiendo alma simple y carga sobre un ala interior para los perfiles Z, es decir, la sumatoria de las dos almas evaluadas individualmente, en kN.

$$\phi = 0,90$$

La expresión anterior es válida para perfiles que satisfacen los siguientes límites:

$$\begin{aligned} h/t &\leq 150 \\ N/t &\leq 140 \\ F_y &\leq 480 \text{ MPa} \\ R/t &\leq 5,5 \end{aligned}$$

Se deben satisfacer **además** las siguientes condiciones:

- (1) Los extremos de cada perfil deben estar unidos al otro perfil por un mínimo de dos bulones A307 de 12,7 mm de diámetro que atraviesen el alma.
- (2) La sección combinada debe estar conectada al apoyo por un mínimo de dos bulones A307 de 12,7 mm de diámetro que atraviesen las alas.
- (3) Las almas de los dos perfiles deben estar en contacto.
- (4) La relación entre la parte más gruesa y la parte más delgada no debe ser mayor que **1,3**.

C.3.6. Rigidizadores

C.3.6.1. Rigidizadores transversales de fuerza

Los rigidizadores transversales vinculados a las almas de las vigas en los puntos de aplicación de cargas concentradas o reacciones se deben proyectar como barras comprimidas. Las cargas concentradas o reacciones se deben aplicar directamente sobre los rigidizadores, o bien cada rigidizador se deberá ajustar con precisión a la porción plana del ala para proporcionar un apoyo directo en el extremo del rigidizador. Se deben proveer medios para transferir el corte entre el rigidizador y el alma de acuerdo con el Capítulo E.

Para las cargas concentradas o reacciones, la resistencia nominal es igual a P_n , en kN, siendo P_n el menor valor obtenido de (a) y (b):

$$P_n = F_{wy} A_c (10)^{-1} \quad \text{(C.3.6.1-1)}$$

P_n la resistencia nominal a compresión calculada de acuerdo con el artículo C.4(a), reemplazando A_e por A_b en kN.

$$\phi_c = 0,85$$

siendo:

$$A_c = 18t^2 + A_s, \text{ para rigidizadores transversales en apoyos interiores y bajo cargas concentradas, en cm}^2. \quad (\text{C.3.6.1-2})$$

$$A_c = 10t^2 + A_s \text{ para rigidizadores transversales en apoyos extremos, en cm}^2. \quad (\text{C.3.6.1-3})$$

F_{wy} el valor menor entre F_y del acero del alma de la viga, o F_{ys} del acero del rigidizador, en MPa.

$$A_b = b_1 t + A_s, \text{ para rigidizadores transversales en apoyos interiores y bajo cargas concentradas, en cm}^2. \quad (\text{C.3.6.1-4})$$

$$A_b = b_2 t + A_s, \text{ para rigidizadores transversales en apoyos extremos, en cm}^2. \quad (\text{C.3.6.1-5})$$

A_s el área de la sección transversal de los rigidizadores transversales, en cm^2 .

$$b_1 = 25t [0,0024(L_{st} / t) + 0,72] \leq 25t \quad (\text{C.3.6.1-6})$$

$$b_2 = 12t [0,0044(L_{st} / t) + 0,83] \leq 12t \quad (\text{C.3.6.1-7})$$

L_{st} la longitud del rigidizador transversal, en cm.

t el espesor base del alma de la viga, en cm.

La relación b/t_s de los elementos rigidizados y no rigidizados de los rigidizadores transversales de acero conformado en frío no debe ser mayor que $1,28\sqrt{E/F_{ys}}$ y $0,42\sqrt{E/F_{ys}}$, respectivamente, siendo F_{ys} la tensión de fluencia del acero y t_s el espesor del rigidizador.

C.3.6.2. Rigidizadores de corte

Cuando sea necesario colocar rigidizadores de corte, su separación se debe basar en la resistencia nominal al corte, V_n , permitida por el artículo C.3.2., y la relación a/h no debe ser mayor que $[260/(h/t)]^2$ ni $3,0$.

El momento de inercia real, I_s , de un par de rigidizadores de corte simétricos con respecto al alma, o de un único rigidizador de corte, con respecto a un eje en el plano del alma, debe tener un valor mínimo igual a

$$I_{s\text{mín}} = 5ht^3 [(h/a) - 0,7(a/h)] \geq (h/50)^4 \quad (\text{C.3.6.2-1})$$

La sección bruta de los rigidizadores de corte no debe ser menor que:

$$A_{st} = \frac{1 - C_v}{2} \left[\frac{a}{h} - \frac{(a/h)^2}{(a/h) + \sqrt{1 + (a/h)^2}} \right] Y D h t \quad (\text{C.3.6.2-2})$$

siendo:

$$C_v = \frac{1,53 E k_v}{F_y (h/t)^2} \quad \text{cuando } C_v \leq 0,8 \quad (\text{C.3.6.2-3})$$

$$C_v = \frac{1,11}{(h/t)} \sqrt{\frac{E k_v}{F_y}} \quad \text{cuando } C_v > 0,8 \quad (\text{C.3.6.2-4})$$

$$k_v = 4,00 + \frac{5,34}{(a/h)^2} \quad \text{cuando } (a/h) \leq 1 \quad (\text{C.3.6.2-5})$$

$$k_v = 5,34 + \frac{4,00}{(a/h)^2} \quad \text{cuando } (a/h) > 1 \quad (\text{C.3.6.2-6})$$

a la distancia entre rigidizadores transversales, en cm.

$$Y = \frac{\text{tensión de fluencia del acero del alma}}{\text{tensión de fluencia del acero del rigidizador}}$$

D = 1,0 para rigidizadores colocados de a pares.

D = 1,8 para rigidizadores de un solo ángulo.

D = 2,4 para rigidizadores de una sola chapa.

t y **h** están definidos en el artículo B.1.2. , en cm.

Se deben proveer medios para transferir el corte entre el rigidizador y el alma de acuerdo con el Capítulo E. Los rigidizadores deberán estar unidos a las alas.

C.3.6.3. Rigidizadores que no satisfacen los requisitos

La resistencia de diseño de los barras con rigidizadores transversales que no satisfacen los requisitos en los artículos C.3.6.1 o C.3.6.2, tales como los rigidizadores transversales de acero estampado o laminado, se debe determinar mediante ensayos de acuerdo con el Capítulo F o mediante un análisis racional avalado por ensayos.

C.4. BARRAS AXILMENTE COMPRIMIDAS

Este artículo se aplica a barras en las cuales la resultante de todas las cargas actuantes es una carga axial a lo largo del eje que pasa por el baricentro de la sección efectiva calculada para la tensión, F_n , (MPa), definida en este artículo.

(a) La resistencia nominal a compresión axil, P_n , se calculará de la siguiente manera:

$$P_n = A_e F_n (10)^{-1} \quad (C.4-1)$$

$$\phi_c = 0,85$$

siendo:

A_e el área efectiva calculada para la tensión F_n . En el caso de secciones con perforaciones circulares, A_e se debe determinar de acuerdo con el artículo B.2.2a, respetando las limitaciones de dicha sección, en cm^2 .

F_n la tensión determinada de la siguiente manera, en MPa:

$$\text{Para } \lambda_c \leq 1,5 \quad F_n = (0,658 \lambda_c^2) F_y \quad (C.4-2)$$

$$\text{Para } \lambda_c > 1,5 \quad F_n = \left[\frac{0,877}{\lambda_c^2} \right] F_y \quad (C.4-3)$$

siendo:

$$\lambda_c = \sqrt{\frac{F_y}{F_e}} \quad (C.4-4)$$

F_e la menor de las tensiones de pandeo elástico flexional, torsional o flexo-torsional determinadas de acuerdo con los artículos C.4.1 a C.4.4., en MPa.

- (b) Las secciones angulares axilmente cargadas se deben calcular para un momento flector adicional según lo especificado en las definiciones de M_{ux} y M_{uy} del artículo C.5.2.
- (c) La esbeltez (kL/r) de barras comprimidas será menor o igual a **200**. Solo durante la construcción podrá extenderse este límite a **300**. En aquellas barras cuya dimensión se determine en base a una fuerza de tracción pero que bajo otras combinaciones de cargas estén solicitadas por alguna fuerza de compresión, no será necesario cumplir la limitación de esbeltez establecida para barras comprimidas.

C.4.1. Secciones no sometidas a pandeo torsional ni a pandeo flexo-torsional

En el caso de secciones con simetría doble, secciones cerradas y cualquier otra sección donde se demuestre que la misma no está sujeta a pandeo torsional ni a pandeo flexo-torsional, la tensión de pandeo flexional elástico, F_e , se determinará de la siguiente manera:

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{(kL/r)^2} \quad (C.4.1-1)$$

siendo:

- E** el módulo de elasticidad longitudinal del acero, en MPa.
- k** el factor de longitud efectiva.
- L** la longitud no arriostrada del miembro, en cm.
- R** la radio de giro de la sección transversal total no reducida respecto del eje de pandeo considerado, en cm.

En la expresión (C.4.1-1) se adoptará el mayor (kL/r) entre los correspondientes al pandeo alrededor de ambos ejes principales de inercia de la sección transversal

En los pórticos arriostrados (no desplazables) en los cuales la estabilidad lateral sea provista por arriostramientos, muros de corte, uniones a una estructura adyacente que posee una estabilidad lateral adecuada o losas de entrepiso o tableros de cubierta asegurados horizontalmente por medio de muros o sistemas de arriostramiento paralelos al plano del pórtico, y en reticulados verticales, el **factor de longitud efectiva, k**, para miembros comprimidos que no dependen de su propia rigidez a la flexión para la estabilidad del pórtico o reticulado, se debe tomar igual a la unidad, a menos que un análisis estructural demuestre que se justifica el uso de un valor menor.

En los pórticos cuya estabilidad lateral depende de su propia rigidez flexional (pórticos a nudos desplazables), la **longitud efectiva de pandeo (kL)** de los miembros comprimidos, se debe determinar por análisis estructural y no debe ser menor que la longitud no arriostrada real ($k \geq 1$). En la determinación del factor de longitud efectiva **k** se deberá considerar el efecto desestabilizante de columnas vinculadas a la analizada que **no aporten rigidez lateral** y que estén sometidas a cargas gravitatorias, y también el efecto de **pandeo no simultáneo** de todas las columnas vinculadas.

En estructuras trianguladas el **factor de longitud efectiva, k**, se determinará con las especificaciones de la Sección **C.2.3.** del Reglamento CIRSOC 301-2005.

C.4.2. Secciones con simetría doble o simetría simple sometidas a pandeo torsional o flexo-torsional

Para las secciones con simetría simple sometidas a pandeo flexo-torsional, F_e se debe tomar como el menor valor entre F_e calculada de acuerdo con el artículo C.4.1. para el pandeo flexional alrededor del eje principal normal al de simetría (eje **y**), y F_e para pandeo flexotorsional calculada de la siguiente manera:

$$F_e = \frac{1}{2\beta} \left[(\sigma_{ex} + \sigma_t) - \sqrt{(\sigma_{ex} + \sigma_t)^2 - 4\beta\sigma_{ex}\sigma_t} \right] \quad (C.4.2-1)$$

Alternativamente, se puede obtener una estimación conservadora de F_e utilizando la siguiente expresión:

$$F_e = \frac{\sigma_t \sigma_{ex}}{\sigma_t + \sigma_{ex}} \quad (C.4.2-2)$$

siendo:

σ_t y σ_{ex} se encuentran definidos en el artículo C.3.1.2.1:

$$\beta = 1 - (x_o / r_o)^2 \quad (\text{C.4.2-3})$$

En las secciones con simetría simple se supone que el eje x es el eje de simetría.

En las secciones con simetría doble sujetas a pandeo torsional, F_e se tomará como el menor valor entre F_e calculada de acuerdo con el artículo C.4.1. (para el pandeo alrededor de ambos ejes principales) y $F_e = \sigma_t$, siendo σ_t como se define en el artículo C.3.1.2.1.

Para secciones **ángulo** no rigidizadas y con simple simetría, en las cuales al área efectiva (A_e) calculada para la tensión F_y , es igual al área total de la sección bruta (A), F_e se calculará con la expresión (C.4.1-1) en donde r es el radio de giro mínimo.

C.4.3. Secciones con simetría puntual.

Para perfiles con simetría puntual, F_e deberá ser adoptada como el menor valor entre σ_t definido en el artículo C.3.1.2.1 y F_e , determinado de acuerdo con el artículo C.4.1 para el eje principal de menor inercia de la sección.

C.4.4. Secciones no simétricas

Para perfiles cuyas secciones transversales no presentan ningún tipo de simetría, ya sea con respecto a un eje o con respecto a un punto, F_e se determinará mediante un análisis racional. Alternativamente, los elementos comprimidos formados por este tipo de perfiles se pueden ensayar de acuerdo con el Capítulo F.

C.4.5. Barras con secciones armadas

- (a) Para barras armadas axilmente comprimidas, formadas por dos secciones **en contacto**, la resistencia nominal a compresión axil deberá ser determinada de acuerdo con el artículo C.4(a) con la siguiente modificación. Si el modo de pandeo origina deformaciones relativas que producen esfuerzos de corte en las uniones entre los perfiles, kL/r es reemplazado por $(kL/r)_m$ determinado como se indica en la siguiente expresión:

$$\left(\frac{kL}{r}\right)_m = \sqrt{\left(\frac{kL}{r}\right)_o^2 + \left(\frac{a}{r_i}\right)^2} \quad (\text{C.4.5-1})$$

siendo:

$(kL/r)_o$ la esbeltez de la sección armada actuando como una unidad respecto de los ejes de la sección armada considerados para el pandeo.

a la distancia entre las uniones intermedias, en cm.

r_i el radio de giro mínimo de la sección bruta de un perfil individual de la barra armada, en cm.

La restante simbología está definida en el artículo C.4.1.

La resistencia y la distancia entre los medios de unión deberán satisfacer los siguientes requerimientos:

- (1) La distancia entre uniones intermedias, a , deberá ser limitada de forma que la relación a/r_i no exceda la mitad de la esbeltez gobernante de la sección armada.
 - (2) Los extremos de una barra comprimida armada deberán ser unidos por una soldadura que tendrá una longitud no menor que el máximo ancho de la barra o por uniones puntuales separadas longitudinalmente no más de 4 diámetros y 1,5 veces el ancho máximo de la barra.
 - (3) Las uniones discretas deberán ser aptas para transmitir una fuerza de corte requerida resultante de un esfuerzo de corte ideal normal al eje de la barra de **2,5%** de la fuerza requerida de compresión en la barra armada.
- (b) Para barras armadas axilmente comprimidas, formadas por dos barras **distanciadas** (cordones) unidas por planos de celosías o presillas formando columnas armadas del Grupo IV o Grupo V respectivamente definidas en la Sección E.4.1 del Reglamento CIRSOC 301-2005 se aplicarán las especificaciones de la Sección A-E.4 (Apéndice E) del Reglamento CIRSOC 301-2005 con las siguientes modificaciones:
- (1) Para columnas del Grupo IV, la resistencia de diseño local de la barra del cordón, P_{dl} , se determinará de acuerdo con el artículo C.4 de este Reglamento y la verificación de las barras de la celosía con las especificaciones de los artículos C.2 o C.4, según corresponda.
 - (2) Para columnas del Grupo V, los cordones se verificarán con las especificaciones del artículo C.5 y las presillas con las especificaciones del artículo C.3.
 - (3) Para columnas de los Grupos IV y V, las uniones se dimensionarán con las especificaciones del Capítulo E.

C.4.6. Barras comprimidas que tienen en toda su longitud un ala unida al tablero o revestimiento mediante pasadores en forma discontinua

Estas especificaciones se aplican a perfiles **C** o **Z** con cargas aplicadas a lo largo de su eje longitudinal baricéntrico (compresión axil), con sólo una de las alas unida a un tablero o revestimiento mediante pasadores en forma discontinua.

La resistencia nominal a compresión axil de los perfiles **C** o **Z**, continuos o de un sólo tramo se debe calcular de la siguiente manera:

- (a) Para la resistencia nominal respecto del eje de menor inercia

$$P_n = 0,689 C_1 C_2 C_3 A \text{ en KN} \quad \text{(C.4.6-1)}$$

$$\phi = 0,85$$

siendo:

$$C_1 = (0,79 x + 0,54) \quad (C.4.6-2)$$

$$C_2 = (0,461 t + 0,93) \quad (C.4.6-3)$$

$$C_3 = (0,985 b - 0,642 d + 22,8) \quad (C.4.6-4)$$

x para perfiles **Z**, el **x** es el cociente entre la distancia entre el medio de unión y el borde externo del alma, y el ancho del ala, como se ilustra en la Figura **C.4-1**.

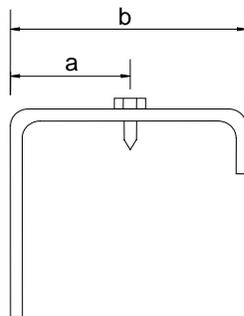
x para perfiles **C**, el **x** es el cociente entre el ancho del ala menos la distancia entre el medio de unión y el borde externo del alma, y el ancho del alma, como se ilustra en la Figura **C.4-1**.

t el espesor del perfil **C** o **Z**, en cm.

b el ancho de ala del perfil **C** o **Z**, en cm.

d la altura del perfil **C** o **Z**, en cm.

A el área de la sección transversal total, no reducida, del perfil **C** o **Z** en cm^2 .



$$\text{Para perfiles Z, } x = \frac{a}{b} \quad (C.4.6-5)$$

$$\text{Para perfiles C, } x = \frac{b - a}{b} \quad (C.4.6-6)$$

Figura C.4-1 Definición de x.

La expresión (C.4.6-1) se debe limitar a sistemas de cubiertas o tabiques que cumplan las siguientes condiciones:

- (1) $t \leq 3,22 \text{ mm}$
- (2) $152 \text{ mm} \leq d \leq 305 \text{ mm}$
- (3) Las alas son elementos comprimidos rigidizados en sus bordes.
- (4) $70 \leq d/t \leq 170$
- (5) $2,8 \leq d/b \leq 5$

- (6) **$16 \leq \text{ancho plano del ala} / t \leq 50$**
 - (7) Ambas alas estarán impedidas de desplazarse lateralmente en los apoyos.
 - (8) Cubierta o paneles de tabique ejecutados con chapa de acero y con medios de unión separados **305 mm** o menos entre sus centros y con una rigidez rotacional lateral mínima igual a **10,3 kN/m/m** (los medios de unión colocados en la mitad del ancho del ala), según lo determinado siguiendo el procedimiento de ensayo que se indica en los Comentarios a este artículo.
 - (9) Los perfiles **C** y **Z** tienen un límite de fluencia mayor o igual que **228 MPa**.
 - (10) La luz de los tramos no supera los **10 m**.
- (b) Para la resistencia nominal a compresión axial con respecto al eje de mayor inercia se deberán utilizar las expresiones contenidas en las expresiones C.4. y C.4.1 de este Reglamento.

C.5. COMBINACIÓN DE ESFUERZO AXIL Y FLEXIÓN

C.5.1. Combinación de tracción y flexión

Las resistencias requeridas, T_u , M_{ux} y M_{uy} , deben satisfacer las siguientes expresiones de interacción:

$$\frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nxt}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{nyt}} + \frac{T_u}{\phi_t T_n} \leq 1,0 \quad (\text{C.5.1-1})$$

$$\frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}} - \frac{T_u}{\phi_t T_n} \leq 1,0 \quad (\text{C.5.1-2})$$

siendo:

T_u la resistencia requerida a tracción, en kN.

M_{ux}, M_{uy} las resistencias requeridas a flexión respecto a los ejes principales de la sección, en kN.m.

T_n la resistencia nominal a tracción determinada de acuerdo con el artículo C.2., en kN.

M_{nx}, M_{ny} las resistencias nominales a la flexión respecto a los ejes principales, determinadas de acuerdo con el artículo C.3.1, en kN.m

$$M_{nxt}, M_{nyt} = S_{ft} F_y (10)^{-3}$$

S_{ft} el módulo resistente de la sección bruta para la fibra traccionada extrema

respecto del eje correspondiente, en cm^3 .

F_y la tensión de fluencia del acero según el artículo A.2.1, en MPa.

$\phi_b =$ **0,90** ó **0,95** para resistencia a la flexión para vigas con arriostramiento lateral continuo (artículo C.3.1.1) ó **0,90** para vigas sin arriostramiento lateral (artículo C.3.1.2).

$\phi_t =$ **0,95**

C.5.2. Combinación de compresión y flexión

C.5.2.1. Caso general

Este artículo se aplica a las barras sometidas a la acción combinada de compresión axial y flexión **excepto** a barras armadas, formadas por dos barras **distanciadas** (cordones) unidas por planos de celosías o presillas formando columnas armadas del Grupo IV o Grupo V respectivamente definidas en la Sección E.4.1 del Reglamento CIRSOC 301-2005.

Las resistencias requeridas, P_u , M_{ux} y M_{uy} , deben satisfacer la siguiente expresión de interacción. Adicionalmente, cada relación individual no debe ser mayor que 1.0:

$$\frac{P_u}{\phi_c P_n} + \frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}} \leq 1,0 \quad (\text{C.5.2.1-1})$$

siendo:

P_u la resistencia a la compresión axial requerida, en kN

M_{ux}, M_{uy} la resistencia a flexión requerida respecto de los ejes principales de la sección efectiva determinada sólo para la resistencia a la compresión requerida. En su determinación **se deberán considerar los efectos de segundo orden** según se especifica en el artículo C.6., cuando los mismos incrementen los momentos requeridos del primer orden.

Para las secciones en ángulo de simple simetría, no rigidizadas y con un área efectiva igual al área bruta, M_{uy} podrá tomarse como la resistencia a flexión requerida resultante. Para otras secciones en ángulos o ángulos de simple simetría, con área efectiva (A_e), calculada para una tensión F_y , menor que la sección bruta (A), M_{uy} se debe tomar como la resistencia requerida a flexión de segundo orden o la resistencia requerida a flexión de primer orden más un momento adicional (PL/1000), lo que resulte mayor, en kN.m.

P_n la resistencia nominal a compresión determinada de acuerdo con el artículo C.4, con el factor de longitud efectiva que corresponda según lo especificado en el artículo C.4.1 o C.6.1.(b), en kN.

M_{nx}, M_{ny} las resistencias nominales a flexión respecto de los ejes principales

determinadas de acuerdo con el artículo C.3.1, en kN.m.

$\phi_b =$ **0,90** ó **0,95** para resistencia a la flexión para vigas con arriostramiento lateral continuo (artículo C.3.1.1) ó **0,90** para vigas sin arriostramiento lateral (artículo C.3.1.2).

$\phi_c =$ **0,85**

x el eje principal de mayor momento de inercia.

y el eje principal de menor momento de inercia.

Se deberá verificar la expresión (C.5.2-1) en las secciones con máximas resistencias requeridas a flexión para ambas direcciones principales, considerando el momento flector requerido en la otra dirección actuante en la misma sección considerada.

En barras armadas formadas por dos secciones **en contacto** las uniones discretas deberán ser aptas para transmitir la fuerza requerida resultante del esfuerzo de corte suma del corte ideal especificado en el artículo C.4.5 (a)(3) y el corte requerido en la dirección correspondiente.

C.5.2.2. Barras armadas formadas por dos barras distanciadas unidas por planos de celosías o presillas (Grupo IV o Grupo V)

Para barras armadas, formadas por dos barras **distanciadas** (cordones) unidas por planos de celosías o presillas formando columnas armadas del Grupo IV o Grupo V sometidas a compresión y flexión se aplicarán las especificaciones de la Sección A-E.6 del Apéndice E del Reglamento CIRSOC 301-2005 con las modificaciones especificadas en el artículo C.4.5 (b).

C.6. EFECTOS DE SEGUNDO ORDEN

En la determinación de las resistencias requeridas a flexión de miembros sometidos a flexión y a compresión se deberán considerar los efectos de segundo orden (P- δ y P- Δ) cuando los mismos incrementen las resistencias requeridas. Los métodos de análisis de segundo orden deberán satisfacer los requerimientos de esta Sección.

C.6.1.(a). Métodos Generales de Análisis Elástico de Segundo Orden

Se podrá utilizar cualquier método de análisis elástico de segundo orden que considere los efectos P- δ y P- Δ , incorporando deformaciones iniciales por desplome de H/500 siendo H la altura de la estructura.

C.6.1.(b). Análisis de segundo orden por amplificación de momentos elásticos de primer orden

El método aproximado de amplificación de momentos elásticos de primer orden es un método aceptable para el análisis elástico de segundo orden de sistemas de pórticos arriostrados, pórticos rígidos y sistemas combinados. También puede utilizarse para el

análisis de miembros de estructuras trianguladas o miembros con sus extremos indesplazables.

El método aproximado de amplificación de momentos elásticos de primer orden **sólo podrá ser utilizado cuando la relación entre el desplazamiento de segundo orden y el de primer orden sea igual o menor que 1,5.**

La relación entre el desplazamiento de segundo orden y el de primer orden puede ser representada por B_2 calculado usando la expresión (C.6.1-4). Alternativamente la relación puede ser calculada por comparación de los resultados del análisis de segundo orden con los del análisis de primer orden, obtenidos a partir de las combinaciones de carga aplicables.

La resistencia requerida a flexión de segundo orden M_u y la resistencia axial requerida de segundo orden P_u serán determinadas de la siguiente forma:

$$M_u = B_1 M_{nt} + B_2 M_{lt} \quad (\text{C.6.1-1})$$

$$P_u = P_{nt} + B_2 P_{lt} \quad (\text{C.6.1-2})$$

siendo:

$$B_1 = \frac{C_m}{1 - (P_u / P_{e1})} \geq 1 \quad (\text{C.6.1-3})$$

Para miembros sometidos a compresión axial, B_1 puede ser calculado en base a la fuerza estimada de primer orden $P_u = P_{nt} + P_{lt}$.

Para miembros en los cuales $B_1 \leq 1,05$, puede conservadoramente amplificar por el factor B_2 la suma de los momentos requeridos sin desplazamiento lateral del pórtico y como resultado del desplazamiento lateral del mismo, o sea los momentos requeridos totales obtenidos por análisis elástico de primer orden:

$$M_u = B_2 (M_{nt} + M_{lt})$$

$$B_2 = \frac{1}{1 - \frac{\sum P_{nt}}{\sum P_{e2}}} \geq 1 \quad (\text{C.6.1-4})$$

siendo:

M_u la resistencia requerida a flexión de segundo orden, en kN.m.

M_{nt} la resistencia requerida a flexión obtenida por análisis de primer orden, suponiendo que no hay desplazamiento lateral del pórtico en kN.m.

M_{lt} la resistencia requerida a flexión obtenida por análisis de primer orden como resultado del desplazamiento lateral del pórtico, en kN.m.

- P_u la resistencia requerida axial de segundo orden, en kN.
- P_{nt} la resistencia requerida axial obtenida por análisis de primer orden suponiendo que no hay desplazamiento lateral del pórtico, en kN.
- ΣP_{nt} la carga vertical total soportada por el piso (todas las columnas unidas por un plano rígido) incluyendo la carga de las columnas sin rigidez lateral, en kN.
- P_{lt} la resistencia requerida axial obtenida por análisis de primer orden como resultado del desplazamiento lateral del pórtico, en kN.
- C_m el coeficiente basado en un análisis elástico de primer orden suponiendo que el pórtico no se traslada lateralmente. Se tomarán los siguientes valores:

- (a) Para vigas-columnas no sometidas en el plano de flexión a cargas transversales entre sus apoyos.

$$C_m = 0,6 - 0,4 (M_1/M_2) \quad (\text{C.6.1-5})$$

siendo:

M_1 y M_2 los valores absolutos de los momentos de primer orden menor y mayor respectivamente, en los extremos de la porción no arriostrada de la barra y en el plano de flexión considerado.

(M_1/M_2) es positivo cuando la barra está deformada con doble curvatura y negativo cuando está deformada con simple curvatura.

- (b) Para vigas-columnas sometidas en el plano de flexión, a cargas transversales entre sus apoyos, el valor de C_m será determinado por análisis estructural o se tomará conservadoramente en todos los casos $C_m = 1$.

- P_{e1} la resistencia crítica elástica a pandeo flexional de la barra en el plano de flexión calculada con la hipótesis de nudos indesplazables en kN :

$$P_{e1} = \frac{\pi^2 EI}{(k_1 L)^2} (10)^{-1} \quad (\text{C.6.1-6})$$

- ΣP_{e2} la resistencia crítica elástica a pandeo flexional del piso determinada por análisis estructural considerando los nudos desplazables.

Para pórticos rígidos, cuando se han determinado los factores de longitud efectiva para nudos desplazables k_2 , se permite calcular la resistencia crítica elástica a pandeo flexional del piso para nudos desplazables por:

$$\Sigma P_{e2} = \Sigma \frac{\pi^2 EI}{(k_2 L_i)^2} (10)^{-1} \quad (\text{C.6.1-7})$$

Para otros tipos de sistemas resistentes a fuerzas laterales se permite usar:

$$\Sigma P_{e2} = R_M \frac{\Sigma H L}{\Delta_H} \quad (\text{C.6.1-8})$$

siendo:

- E** el módulo longitudinal de elasticidad del acero, en MPa.
- R_M** = **1,0** para sistemas de pórticos arriostrados.
= **0,85** para sistemas de pórticos rígidos y para sistemas combinados a menos que se justifique un valor mayor por análisis estructural.
- I** el momento de inercia de la sección transversal de la barra en el plano de flexión, en cm⁴.
- L_i** la altura de la columna considerada, en cm.
- L** la altura del piso (cuando todas las columnas tienen igual altura), en cm.
- k₁** factor de longitud efectiva en el plano de flexión, calculado en la hipótesis de nudos indesplazables. Se tomará igual a **1**, a menos que por análisis estructural se demuestre que puede adoptarse un valor menor.
- k₂** factor de longitud efectiva en el plano de flexión, calculado en la hipótesis de nudos desplazables determinado por análisis estructural.
- Δ_H** desplazamiento lateral de primer orden relativo del piso debido a las fuerzas laterales. Cuando Δ_H varíe en la planta de la estructura, Δ_H será tomado igual al promedio ponderado de los desplazamientos en función de la carga vertical o alternativamente igual al mayor desplazamiento, en cm.
- ΣH** Corte de piso producido por las fuerzas laterales usadas para determinar Δ_H, en kN.

Las diferencias entre los momentos amplificados por los factores **B₁** y **B₂** y los momentos de primer orden en los extremos de las columnas, deberán ser distribuidas entre las vigas que concurran al nudo en función de su rigidez a flexión relativa, de manera de respetar el equilibrio del nudo. Si dicha distribución resultara compleja no podrá utilizarse el método aproximado de amplificación de momentos de primer orden, debiendo considerarse el efecto de las deformaciones por medio de un análisis elástico de segundo orden.

Las uniones deberán proyectarse para resistir los momentos amplificados.

Cuando la relación entre el desplazamiento de segundo orden y el de primer orden sea igual o menor que **1,1** se permitirá diseñar los miembros comprimidos usando **k = 1,0** siempre que en toda combinación que contenga sólo cargas gravitatorias se incluya en cada nivel de la estructura, una carga lateral mínima de **0,002 Y_i**, donde **Y_i** es la suma de

las cargas gravitatorias requeridas aplicadas en el nivel i . Esa mínima carga lateral deberá ser considerada independientemente en dos direcciones ortogonales.

Si la relación indicada es mayor que **1,1**, columnas y vigas-columnas de pórticos rígidos serán diseñadas usando el factor de longitud efectiva k , o la tensión elástica de pandeo F_e , determinadas ambas en la hipótesis de estructura a nudos desplazables.

En estructuras reticuladas o miembros con sus extremos indesplazables, resueltos por análisis elástico, los momentos flexores requeridos (M_u) en los elementos comprimidos sometidos a flexión y en las uniones de las barras si correspondiere, podrán ser obtenidos por el método aproximado de amplificación de momentos de primer orden (expresión (C.6.1-1)) con $B_2 = 0$.

CAPÍTULO D. CONJUNTOS ESTRUCTURALES

D.1. SECCIONES ARMADAS

D.1.1. Secciones doble Te compuestas por dos perfiles C

(a) Para barras comprimidas:

Ver el artículo C.4.5 (a).

(b) Para barras flexadas:

La separación longitudinal máxima admisible entre cordones de soldadura u otro tipo de unión, $s_{m\acute{a}x}$, que vincula dos perfiles C para formar una sección doble te es:

$$s_{m\acute{a}x} = L / 6 \leq \frac{2 g T_s}{m q} \quad (\text{D.1.1-1})$$

siendo:

L la longitud de la viga, en cm.

T_s la resistencia de diseño de la unión a tracción (capítulo E), en kN.

g la distancia vertical entre las dos filas de uniones más próximas a las alas superior e inferior, en cm.

q la carga requerida equivalente (resultante de las acciones mayoradas) actuante sobre la viga entre los medios de unión (métodos para determinarla se indican mas adelante), en kN/cm.

m la distancia entre el centro de corte de un perfil C y el plano medio de su alma, en cm.

La carga equivalente, q , se obtiene dividiendo las cargas concentradas o reacciones por la longitud de apoyo. Para las vigas dimensionadas para una carga uniformemente distribuida, q se debe tomar igual a tres veces la carga mayorada uniformemente distribuida. Si la longitud de apoyo de una carga concentrada o reacción resuelta menor que la separación entre soldaduras, s , la resistencia requerida de las soldaduras o uniones más próximas a la carga o reacción será:

$$T_s = P_s m / 2 g \quad (\text{D.1.1-2})$$

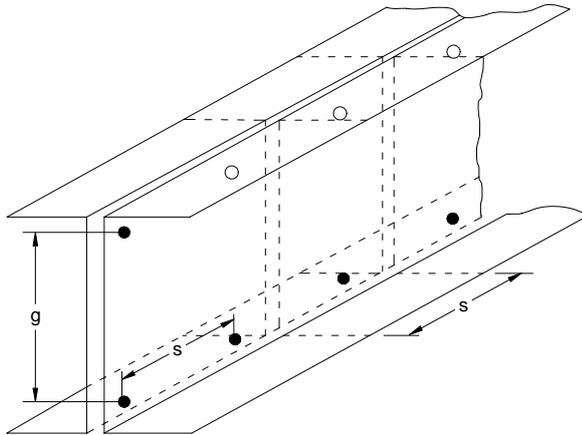


Figura D.1-1. Separación de las uniones

siendo:

P_s la carga concentrada o reacción mayorada.

La separación máxima admisible, $s_{m\acute{a}x}$, de las uniones depende de la intensidad de la carga actuante directamente en la unión. Por lo tanto, si las uniones están separadas uniformemente en toda la longitud de la viga, ella se debe determinar en el punto de máxima intensidad de carga localizada. Cuando la separación obtenida mediante este procedimiento resultara inconveniente desde el punto de vista económico se puede adoptar uno de los siguientes métodos:

- (a) se puede variar la separación de las uniones a lo largo de la viga de acuerdo con la variación de la intensidad de la carga; ó
- (b) se pueden soldar platabandas que vinculen las alas de ambos perfiles en los puntos donde estén aplicadas las cargas concentradas. En este caso, la resistencia requerida al corte de las uniones entre las platabandas y las alas se debe tomar como T_s , y g se debe tomar igual a la altura de la viga.

D.1.2. Separación de los medios de unión en elementos comprimidos

La separación, s , en la dirección del esfuerzo, de los medios de unión entre una platabanda, una chapa de refuerzo o un rigidizador no integral comprimidos, a otro elemento, será menor o igual que:

- (a) la que se requiere para transmitir el corte entre las partes unidas, en base a la resistencia requerida por cada unión de acuerdo con lo especificado en otros artículos del Reglamento; ó
- (b) $1,16t\sqrt{E/f_c}$, siendo t el espesor de la platabanda o chapa de refuerzo y f_c la tensión en la platabanda o chapa de refuerzo para las cargas de servicio, ó

(c) tres veces el ancho plano, **b**, del elemento comprimido no rigidizado más angosto que esté vinculado a las uniones, pero no es necesario que sea menor que:

$$1,11 t \sqrt{E/F_y} \text{ si } b/t < 0,50 \sqrt{E/f_c}, \text{ ó}$$
$$1,33 t \sqrt{E/F_y} \text{ si } b/t \geq 0,50 \sqrt{E/f_c},$$

a menos que por lo especificado en (a) o en (b) se requiera una separación menor.

En el caso de soldaduras de filetes discontinuas paralelas a la dirección del esfuerzo, la separación se debe adoptar como la distancia libre entre soldaduras, más **12,7 mm**. En todos los demás casos la separación se debe tomar como la distancia entre centro y centro de las uniones.

Excepción: Los requisitos de este artículo **no se aplican a platabandas** que actúan exclusivamente como material de revestimiento y no se consideran elementos portantes.

D.2. SISTEMAS MIXTOS

El diseño de las barras de los sistemas mixtos en los cuales se utilizan componentes de acero conformado en frío conjuntamente con otros materiales debe cumplir con los requisitos de este Reglamento y del que sea aplicable para el otro material.

D.3. ARRIOSTRAMIENTO LATERAL

Los arriostramientos se deben diseñar de manera de impedir el pandeo lateral, la flexión lateral o la torsión de una viga o columna cargada, y además evitar pandeos localizados en los puntos de unión. Los miembros y conjuntos estructurales deben estar adecuadamente arriostrados para impedir el colapso y conservar su integridad durante la vida útil de la estructura. Se debe tener especial cuidado en asegurar que el **arriostramiento** del sistema estructural **esté completo**, particularmente cuando existe interdependencia entre paredes, pisos y cubiertas actuando como diafragmas. Es decir, el sistema de arriostramiento debe llevar al suelo todas las fuerzas resultantes del desplazamiento o giro impedido de los elementos arriostrados.

Se deben analizar los detalles de los arriostramientos necesarios durante el montaje.

La distancia entre riostras debe ser menor o igual a la distancia lateralmente arriostrada supuesta para el proyecto de los elementos estructurales arriostrados.

D.3.1. Columnas y vigas sometidas a cargas que no inducen torsión

Los arriostramientos y sistemas de arriostramiento, incluyendo sus uniones, se deben proyectar considerando los requerimientos de resistencia y rigidez. Las riostras y los sistemas de arriostramiento se dimensionarán con las especificaciones de los artículos D.3.1.1 y D.3.1.2 según corresponda. En el caso de que las riostras o los sistemas de arriostramiento deban transmitir otras fuerzas resultantes de acciones actuantes sobre la estructura, las fuerzas definidas en dichas secciones deberán adicionarse a aquellas.

En barras sometidas a flexión o a flexoaxil, o sujetas a pandeo flexotorsional o torsional, se deberá proporcionar una restricción al giro en sus apoyos y puntos fijos.

D.3.1.1. Arriostramientos discretos

Cuando el arriostramiento se realiza en determinados puntos de la columna o viga, las riostras y el sistema de arriostramiento se deberán proyectar para resistir una fuerza requerida actuante en dichos puntos que sea mayor o igual que el **2%** del esfuerzo axial mayorado en una barra comprimida o de la resultante de compresión mayorada en el ala de una barra flexionada. Cuando concurren más de una riostra a un mismo punto de una barra y esté comprobado que pueden actuar en forma conjunta, la fuerza necesaria puede distribuirse proporcionalmente a las rigideces de las riostras concurrentes. Los miembros comprimidos que actúan como riostras tendrán una esbeltez máxima de 200.

En las vigas, la distancia lateralmente no arriostrada para pandeo lateral será la máxima distancia entre puntos arriostrados.

D.3.1.2. Arriostramientos mediante tableros o revestimientos que funcionen como diafragmas

La resistencia de diseño total de las uniones en la longitud de la barra arriostrada a un tablero o revestimiento con capacidad para tomar fuerzas en su plano, será como mínimo el **5%** de la fuerza de compresión mayorada para barras comprimidas o de la resultante de compresión mayorada en el ala de una barra flexionada. Deberá garantizarse la transmisión de las fuerzas generadas por el arriostramiento, desde el tablero o revestimiento que actúa como diafragma al sistema vertical de arriostramiento.

También deberá verificarse la resistencia y rigidez del tablero o revestimiento actuando como diafragma según el artículo D.5.

D.3.2. Perfiles C y Z utilizados como vigas

Las siguientes especificaciones están referidas al arriostramiento para **restringir la torsión de perfiles C y Z** utilizados como vigas cargadas en el plano del alma.

Se especifican las fuerzas resultantes de esa restricción y las especificaciones se aplican cuando:

- (a) el ala comprimida está vinculada a un tablero o revestimiento de manera que queda impedido el desplazamiento lateral del ala (artículo D.3.2.1)
- (b) ninguna de las alas está vinculada a un tablero o revestimiento (artículo D.3.2.2).

Cuando ambas alas se encuentren vinculadas apropiadamente, no se requerirá arriostramiento adicional.

D.3.2.1. Arriostramiento de sistemas de cubierta sometidos a cargas gravitatorias que poseen el ala superior vinculada al revestimiento

La unión del ala comprimida del perfil a la chapa de la cubierta o revestimiento se realizará **con tornillos autopercutores o autorroscantes colocados en el valle del plegado**.

Con cualquier otro sistema de fijación entre chapa y perfil **no podrá tenerse en cuenta** el arriostramiento provisto por la chapa, excepto que el mismo se demuestre mediante ensayos realizados con las especificaciones del Capítulo F. La resistencia nominal a la flexión, M_n , para carga en el plano del alma, se determinará con las especificaciones del artículo C.3.1.4.

Los desplazamientos laterales máximos del ala superior con respecto a los apoyos serán menores o iguales que la longitud del tramo dividida por **360**.

Si las alas superiores de todas las correas están orientadas con sus alas en la misma dirección, el revestimiento y sus uniones a la chapa deberán resistir y transmitir al sistema de arriostramiento, en los puntos de unión al mismo, las fuerzas especificadas en los artículos D.3.2.1(a) y D.3.2.1(b) para cada vano.

Si las alas superiores de líneas de correas adyacentes están orientadas con sus alas en direcciones opuestas, el revestimiento y sus uniones a la chapa deberán resistir y transmitir al sistema de arriostramiento, en los puntos de unión al mismo, la componente en el plano de la cubierta de las cargas gravitatorias actuantes en el vano.

Para cada pendiente de la cubierta, sólo será necesario que el sistema de arriostramiento esté vinculado a una línea de correas en cada vano, si el revestimiento y sus uniones satisfacen lo especificado en los párrafos anteriores. El sistema de arriostramiento debe estar tan cerca como sea posible del ala que está vinculada al tablero o revestimiento.

Se deben colocar sistemas de arriostramientos en todos los vanos y verificar que el sistema de arriostramiento sea completo.

Para arriostramientos con una disposición diferente de la indicada en los artículos D.3.2.1(a) y D.3.2.1(b) se deben llevar a cabo ensayos de acuerdo con el Capítulo F de forma que la resistencia de ensayo del conjunto de correas arriostradas sea mayor o igual que su resistencia nominal a flexión, en lugar de la requerida por el Capítulo F.

(a) **Perfiles C:**

Para los sistemas de cubierta que utilizan perfiles C como correas con todas las alas comprimidas orientadas en la misma dirección, se debe proveer un sistema de arriostramiento capaz de resistir además de las otras cargas actuantes, la fuerza P_L resultante de la restricción a la torsión:

$$P_L = (0,05 \alpha \cos\theta - \text{sen } \theta) W \quad (\text{D.3.2.1-1})$$

siendo:

W la carga vertical total mayorada soportada por todas las líneas de correas arriostradas. Cuando en una correa se utiliza más de un arriostramiento, la fuerza P_L se debe dividir en partes iguales entre todos los arriostramientos.

$\alpha = +1$ para correas con las alas orientadas en sentido ascendente.

$\alpha = -1$ para correas con las alas orientadas en sentido descendente.

θ el ángulo entre la vertical y el plano del alma de la sección C, (grados sexagesimales).

Un valor positivo de P_L significa que el arriostramiento debe impedir un desplazamiento según el sentido ascendente de la pendiente de la cubierta, y un valor negativo indica lo contrario.

(b) **Perfiles Z:**

Para los sistemas de cubierta que poseen entre cuatro y veinte líneas de perfiles Z utilizados como correas con todas las alas superiores orientadas en la dirección de la pendiente ascendente de la cubierta, y con arriostramientos que impidan el desplazamiento en los apoyos, puntos medios o puntos correspondientes a los tercios de las correas, **cada arriostramiento** se debe diseñar de manera de resistir una fuerza determinada de la siguiente manera:

(1) Sistema de un solo tramo con restricciones en los apoyos:

$$P_L = 0,5 \left[\frac{0,22 b^{1,50}}{n_p^{0,72} d^{0,90} t^{0,60}} \cos \theta - \operatorname{sen} \theta \right] W \quad (\text{D.3.2.1-2})$$

(2) Sistema de un solo tramo con restricciones en los puntos correspondientes a los tercios de la luz:

$$P_L = 0,5 \left[\frac{0,474 b^{1,22}}{n_p^{0,57} d^{0,89} t^{0,33}} \cos \theta - \operatorname{sen} \theta \right] W \quad (\text{D.3.2.1-3})$$

(3) Sistema de un solo tramo con restricción en el punto medio:

$$P_L = \left[\frac{0,224 b^{1,32}}{n_p^{0,65} d^{0,83} t^{0,50}} \cos \theta - \operatorname{sen} \theta \right] W \quad (\text{D.3.2.1-4})$$

(4) Sistema de tramos múltiples con restricciones en los apoyos:

$$P_L = C_{tr} \left[\frac{0,053 b^{1,88} L^{0,13}}{n_p^{0,95} d^{1,07} t^{0,94}} \cos \theta - \operatorname{sen} \theta \right] W \quad (\text{D.3.2.1-5})$$

siendo:

$C_{tr} = 0,63$ para arriostramientos en los apoyos extremos de sistemas de tramos múltiples.

$C_{tr} = 0,87$ para arriostramientos en los apoyos interiores de sistemas de tramos múltiples.

$C_{tr} = 0,81$ para los restantes arriostramientos.

- (5) Sistema de tramos múltiples con restricciones en los puntos correspondientes a los tercios de la luz:

$$P_L = C_{th} \left[\frac{0,181 b^{1,15} L^{0,25}}{n_p^{0,54} d^{1,11} t^{0,29}} \cos \theta - \text{sen} \theta \right] W \quad (\text{D.3.2.1-6})$$

$C_{th} = 0,57$ para arriostramientos exteriores en tramos exteriores.

$C_{th} = 0,48$ para todos los restantes arriostramientos.

- (6) Sistema de tramos múltiples con restricciones en los puntos medios:

$$P_L = C_{ms} \left[\frac{0,116 b^{1,32} L^{0,18}}{n_p^{0,70} d t^{0,50}} \cos \theta - \text{sen} \theta \right] W \quad (\text{D.3.2.1-7})$$

siendo:

$C_{ms} = 1,05$ para arriostramientos en tramos exteriores y $0,90$ para los restantes arriostramientos.

b el ancho del ala, en cm.

d la altura del perfil, en cm.

t el espesor, en cm.

L la longitud del tramo, en cm.

θ el ángulo entre la vertical y el plano del alma del perfil Z, en grados sexagesimales.

n_p la cantidad de líneas de correas paralelas.

W la carga vertical total mayorada soportada por las correas entre apoyos adyacentes, en kN.

La fuerza, P_L , es positiva cuando se impide el movimiento de las alas de las correas en la dirección ascendente de la pendiente de la cubierta.

Para sistemas que tienen menos de cuatro líneas de correas, el esfuerzo en los arriostramientos se debe determinar tomando **1,1** veces la fuerza calculada mediante las expresiones (D.3.2.1-2) a (D.3.2.1-7), con $n_p = 4$.

Para sistemas que tienen más de veinte líneas de correas, el esfuerzo en los arriostramientos se debe determinar utilizando las expresiones (D.3.2.1-2) a (D.3.2.1-7), con $n_p = 20$ y W en función de la cantidad total de correas.

D.3.2.2. Alas no vinculadas al revestimiento

Cada uno de los arriostramientos intermedios, en las alas superior e inferior, se deben diseñar para resistir, además de las otras cargas, una fuerza lateral requerida, P_L , debida a la restricción a la torsión, determinada de la siguiente manera:

- (a) Para cargas uniformemente repartidas, $P_L = 1,5 K'$ por la carga mayorada ubicada dentro de una distancia de $(0,5 a)$ a cada lado del arriostramiento.
- (b) Para cargas concentradas, $P_L = 1,0 K'$ por cada carga concentrada mayorada, ubicada dentro de una distancia de $(0,3 a)$ a cada lado del arriostramiento, más $1,4K' (1-x/a)$ por cada carga concentrada mayorada ubicada a más de $(0,3 a)$ pero a no más de $(1,0 a)$ del arriostramiento.

La simbología utilizada en las expresiones anteriores es la siguiente:

- Para perfiles **C** y perfiles **Z**:

x la distancia desde la carga concentrada hasta el arriostramiento, en cm.

a la distancia entre los ejes de los arriostramientos, en cm.

- Para perfiles **C**:

$$K' = m / d \quad (D.3.2.2-1)$$

siendo:

m la distancia entre el centro de corte y el plano medio del alma, en cm.

d la altura del perfil C, en cm.

La fuerza en el arriostramiento (P_L) se aplicará a ambas alas con sentidos opuestos con el objeto de impedir la rotación de la sección.

- Para perfiles **Z**:

$$K' = I_{xy} / (2 I_x) \quad (D.3.2.2-2)$$

siendo:

I_{xy} el momento centrífugo de la sección bruta respecto a los ejes baricéntricos paralelo y perpendicular al alma, en cm^4 .

I_x el momento de inercia de la sección bruta respecto al eje baricéntrico perpendicular al alma, en cm^4 .

La fuerza en el arriostramiento (P_L) se aplicará a ambas alas con sentidos iguales con el objeto de impedir la flexión de la sección alrededor del eje paralelo al alma.

Cuando se coloquen arriostramientos, éstos deberán estar unidos a la viga de manera de impedir efectivamente el desplazamiento lateral de ambas alas en los extremos y en los puntos de arriostramiento intermedio.

Cuando todas las cargas y reacciones que actúan sobre una viga se transmitan a través de barras que se unen a la sección de la viga, de manera tal que impidan

eficazmente la rotación y el desplazamiento lateral de la sección, no se requeriran arriostramientos adicionales a excepción de los requeridos por motivos de resistencia de acuerdo con el artículo C.3.1.2.

D.4. MONTANTES Y CONJUNTOS DE MONTANTES QUE INTEGRAN UN TABIQUE

Los montantes para tabiques se deben diseñar como un sistema de elementos de acero de acuerdo con el capítulo C, o bien en base al revestimiento de acuerdo con los artículos D.4.1 a D.4.3. Están permitidas tanto las almas macizas como las que presentan perforaciones. Ambos extremos del montante deben estar vinculados para impedir la rotación respecto al eje longitudinal del montante y el desplazamiento horizontal perpendicular al eje del montante.

(a) Proyecto como un sistema de elementos de acero:

Los conjuntos de montantes para tabiques se deben diseñar despreciando la contribución estructural de los revestimientos a los cuales están unidos y deben cumplir con los requisitos del capítulo C.

En el caso de perforaciones circulares en el alma, ver el artículo B.2.2, y en el caso de perforaciones no circulares en el alma, el área efectiva se debe determinar de la siguiente manera:

El área efectiva, A_e , a una tensión F_n , se determinará de acuerdo con el capítulo B, suponiendo que el alma consiste en dos elementos no rigidizados, uno a cada lado de la perforación, o bien el área efectiva, A_e , se determinará mediante ensayos de columna corta.

Cuando A_e se determina de acuerdo con el capítulo B se aplicarán las siguientes limitaciones referidas al tamaño y separación de las perforaciones y a la altura del montante:

- (1) La separación entre centro y centro de las perforaciones del alma será mayor o igual que **610 mm**.
- (2) El máximo ancho de las perforaciones del alma será el menor valor entre 0,5 veces la altura de la sección (d), ó **63,5 mm**.
- (3) La longitud de las perforaciones del alma será menor o igual que **114 mm**.
- (4) La relación altura-espesor de la sección, (d/t), será mayor o igual que **20**.
- (5) La distancia entre el extremo del montante y el extremo más próximo de una perforación será mayor o igual que **254 mm**.

(b) Proyecto considerando el arriostramiento provisto por el revestimiento

Los conjuntos de montantes para tabiques que utilicen el arriostramiento provisto por el revestimiento se deben proyectar de acuerdo con los artículos D.4.1 a D.4.3 y además deberán cumplir con los siguientes requisitos:

En el caso de almas perforadas el área efectiva, A_e , se debe determinar como en el caso (a) anterior.

Se deben colocar revestimientos unidos a ambos lados del montante y conectados a los miembros horizontales, superior e inferior del tabique, con el fin de proveerle al montante apoyo lateral y torsional en el plano del tabique.

El revestimiento debe satisfacer las limitaciones especificadas en la Tabla D.4-1. Si fuera necesario se debe proveer arriostramiento adicional durante la construcción.

D.4.1. Montantes de tabiques comprimidos

Para los montantes que tengan revestimientos idénticos unidos a ambas alas, en los que se desprecie cualquier restricción rotacional provista por el revestimiento, pero se considere la rigidez a corte del revestimiento, la resistencia axial nominal, P_n , (kN) se calculará de la siguiente manera:

$$P_n = A_e F_n (10)^{-1} \quad (\text{D.4.1-1})$$

$$\phi_c = 0,85$$

siendo:

A_e el área efectiva determinada para F_n , en cm^2 .

F_n el menor valor determinado mediante las tres condiciones siguientes (a), (b) y (c), en MPa.

Las expresiones dadas son aplicables dentro de las siguientes limitaciones:

F_y la resistencia a la fluencia, $F_y \leq 340$, en MPa.

d la altura de la sección, $d \leq 152$, en mm.

t el espesor de la sección, $t \leq 1,91$ en mm.

L la longitud total, $L \leq 4,88$ en m.

S_{min} la separación mínima de los montantes **305 mm y máxima 610 mm**.

s la separación entre los conectores (s): **152mm $\leq s \leq$ 305mm**.

(a) Para impedir el pandeo de columna entre uniones en el plano del tabique, F_n se debe calcular de acuerdo con el artículo C.4 con (kL) igual al doble de la distancia entre los medios de unión.

(b) Para impedir el pandeo global de columna, flexional y/o torsional, F_n se debe calcular de acuerdo con el artículo C.4, tomando F_e como el menor de los dos valores de σ_{CR} especificados para los siguientes tipos de secciones, siendo σ_{CR} la tensión teórica de pandeo elástico bajo cargas axiales:

(1) Perfiles **C** con simetría simple

$$\sigma_{CR} = \sigma_{ey} + \bar{Q}_a \quad \text{en MPa} \quad (\text{D.4.1-2})$$

$$\sigma_{CR} = \frac{1}{2\beta} \left[(\sigma_{ex} + \sigma_{tQ}) - \sqrt{(\sigma_{ex} + \sigma_{tQ})^2 - 4\beta\sigma_{ex}\sigma_{tQ}} \right] \quad \text{en MPa} \quad (\text{D.4.1-3})$$

(2) Perfiles Z

$$\sigma_{CR} = \sigma_t + \bar{Q}_t \quad \text{en MPa} \quad (\text{D.4.1-4})$$

$$\sigma_{CR} = \frac{1}{2} \left[(\sigma_{ex} + \sigma_{ey} + \bar{Q}_a) - \sqrt{(\sigma_{ex} + \sigma_{ey} + \bar{Q}_a)^2 - 4(\sigma_{ex}\sigma_{ey} + \sigma_{ex}\bar{Q}_a - \sigma_{exy}^2)} \right],$$

en MPa (D.4.1-5)

(3) Perfiles doble T (simetría doble)

$$\sigma_{CR} = \sigma_{ey} + \bar{Q}_a \quad \text{en MPa} \quad (\text{D.4.1-6})$$

$$\sigma_{CR} = \sigma_{ex} \quad \text{en MPa} \quad (\text{D.4.1-7})$$

En las expresiones anteriores:

$$\sigma_{ex} = \frac{\pi^2 E}{(L/r_x)^2} \quad \text{en MPa} \quad (\text{D.4.1-8})$$

$$\sigma_{exy} = (\pi^2 E I_{xy}) / (A.L^2) \quad \text{en MPa} \quad (\text{D.4.1-9})$$

$$\sigma_{ey} = \frac{\pi^2 E}{(L/r_y)^2} \quad \text{en MPa} \quad (\text{D.4.1-10})$$

$$\sigma_t = \frac{1}{Ar_o^2} \left[GJ + \frac{\pi^2 EC_w}{L^2} \right] \quad \text{en MPa} \quad (\text{D.4.1-11})$$

$$\sigma_{tQ} = (\sigma_t + \bar{Q}_t) \quad \text{en MPa} \quad (\text{D.4.1-12})$$

$$\bar{Q} = \bar{Q}_o(2 - s/s') \quad \text{en kN} \quad (\text{D.4.1-13})$$

siendo:

s la separación de las uniones, en cm.

s' = 30,5 cm.

\bar{Q}_o valor obtenido de la Tabla D.4-1, en kN.

$$\bar{Q}_a = 10 \bar{Q} / A, \quad \text{en MPa.} \quad (\text{D.4.1-14})$$

- A** el área de la sección bruta, no reducida, en cm².
L la longitud del montante, en cm.

$$\bar{Q}_t = (10 \bar{Q} d^2) / (4 A r_o^2) \text{ en MPa.} \quad (\text{D.4.1-15})$$

d la altura de la sección, en cm.

I_{xy} el momento centrífugo de la sección transversal bruta, en cm⁴.

Los otros términos fueron definidos en el artículo C.3.1.2.1

- (c) Para impedir que el revestimiento falle por corte, en las siguientes expresiones se debe utilizar un valor de **F_n** tal que la deformación por corte del revestimiento (**γ**), no supere la deformación por corte admisible $\bar{\gamma}$. La deformación por corte, **γ**, se determinará de la siguiente manera:

$$\gamma = (\pi / L) [C_1 + (E_1 d / 2)] \quad (\text{D.4.1-16})$$

siendo:

C₁ y **E₁** los valores absolutos de **C₁** y **E₁** especificados a continuación para cada tipo de sección:

- (1) Perfiles **C** con simetría simple

$$C_1 = (F_n C_o) / (\sigma_{ey} - F_n + \bar{Q}_a), \text{ en cm} \quad (\text{D.4.1-17})$$

$$E_1 = \frac{F_n [(\sigma_{ex} - F_n)(r_o^2 E_o - x_o D_o) - F_n x_o (D_o - x_o E_o)]}{(\sigma_{ex} - F_n) r_o^2 (\sigma_{tQ} - F_n) - (F_n x_o)^2} \quad (\text{D.4.1-18})$$

- (2) Perfiles **Z**

$$C_1 = \frac{F_n [C_o (\sigma_{ex} - F_n) - D_o \sigma_{exy}]}{(\sigma_{ey} - F_n + \bar{Q}_a) (\sigma_{ex} - F_n) - \sigma_{exy}^2}, \text{ en cm} \quad (\text{D.4.1-19})$$

$$E_1 = (F_n E_o) / (\sigma_{tQ} - F_n) \quad (\text{D.4.1-20})$$

- (3) Perfiles doble T

$$C_1 = (F_n C_o) / (\sigma_{ey} - F_n + \bar{Q}_a), \text{ en cm} \quad (\text{D.4.1-21})$$

$$E_1 = 0$$

siendo:

x_o la distancia entre el centro de corte y el baricentro medido sobre el eje principal x (en valor absoluto), en cm.

C_o , E_o y D_o las imperfecciones iniciales de la columna, las cuales se deben suponer como mínimo iguales a:

$$C_o = L / 350 \text{ en dirección paralela al tabique, en cm.} \quad (\text{D.4.1-22})$$

$$D_o = L / 700 \text{ en dirección perpendicular al tabique, en cm.} \quad (\text{D.4.1-23})$$

$$E_o = L(d \times 10.000), \text{ radianes, torsión inicial del montante con respecto a la forma ideal inicial no deformada.} \quad (\text{D.4.1-24})$$

Los otros términos fueron definidos en los artículos C.3.1.2.1 y D.4.1(b).

Si $F_n > 0,5 F_y$, en las definiciones de σ_{ey} , σ_{ex} , σ_{exy} y σ_{tQ} , los parámetros E y G se deberán reemplazar por E' y G' , respectivamente, definidos con la siguiente expresión:

$$E' = 4 E F_n (F_y - F_n) / F_y^2 \quad (\text{D.4.1-25})$$

$$G' = G (E' / E) \quad (\text{D.4.1-26})$$

Los parámetros del revestimiento \bar{Q}_o y $\bar{\gamma}$ se deben determinar mediante ensayos representativos a escala real, realizados y evaluados como se describe en los Comentarios, ó mediante los valores correspondientes a ensayos a pequeña escala dados en la Tabla **D.4-1**.

D.4.2. Montantes de tabiques solicitados a flexión

Para los montantes con idéntico revestimiento unido a ambas alas, y despreciando cualquier restricción rotacional provista por el revestimiento, pero considerando la rigidez a corte del revestimiento, las resistencias nominales a la flexión serán M_{nxo} y M_{nyo} , o sea las resistencias nominales a la flexión respecto de los ejes principales determinadas de acuerdo con el artículo C.3.1.1., en kN.m.

Los factores de resistencia se tomarán:

$\phi_b = 0,95$ Para secciones con alas comprimidas rigidizadas o parcialmente rigidizadas:

$\phi_b = 0,90$ Para secciones con alas comprimidas no rigidizadas:

TABLA D.4-1 - Parámetros del revestimiento⁽⁰⁾⁽¹⁾

Revestimiento ⁽²⁾	\bar{Q}_o	$\bar{\gamma}$
	kN	longitud/longitud
Material lignocelulósico	53,4	0,009
Tablero de fibra (regular o impregnado)	32,0	0,007
Tablero de fibra (fuertemente impregnado)	64,1	0,010
<p>(0) <i>Los valores dados en esta Tabla son indicativos y corresponden a materiales existentes en el mercado del país de origen de la especificación base, los que están sujetos al cumplimiento de normas específicas de ese contexto. Para otros materiales el Proyectista deberá considerar valores dados por el fabricante debidamente certificados y determinados por ensayos normalizados.</i></p> <p>(1) Los valores dados están sujetos a las siguientes limitaciones: Todos los valores corresponden a revestimiento a ambos lados del conjunto del tabique. Todos las uniones son tornillos autoperforantes para construcción en seco, tipo S-12, N° 6, o sus equivalentes.</p> <p>(2) Todos los revestimientos son de 12,7 mm de espesor, a menos que se especifique lo contrario. Para otros tipos de revestimientos \bar{Q}_o y $\bar{\gamma}$ se pueden determinar de manera conservadora a partir de ensayos efectuados sobre probetas representativas a menor escala de acuerdo con lo descrito en los Comentarios.</p>		

D.4.3. Montantes de tabiques sometidos a carga axil y flexión

La resistencia axil requerida y la resistencia a la flexión requerida deben satisfacer las expresiones de interacción especificados en el artículo C.5, redefiniendo la simbología de la siguiente manera:

P_n la resistencia axial nominal determinada de acuerdo con el artículo D.4.1.

En la expresión (C.5.2.1-1), M_{nx} y M_{ny} se deben reemplazar por las resistencias nominales a la flexión, M_{nxo} y M_{nyo} , respectivamente.

D.5. CONSTRUCCIÓN DE DIAFRAGMAS DE ACERO PARA ENTREPISOS, CUBIERTAS O TABIQUES

La resistencia nominal al corte en el plano de un diafragma, S_n , se establecerá mediante cálculos o ensayos.

El factor ϕ_d se obtendrá de la Tabla **D.5-1**

TABLA D.5-1 Factores de resistencia para diafragmas

ϕ_d	Condiciones del diafragma
0,60	diafragmas en los cuales el modo de falla es el de pandeo, caso contrario;
0,50	diafragmas soldados a la estructura sometidos a cargas sísmicas, o sometidos a combinaciones de cargas que incluyen cargas sísmicas.
0,55	diafragmas soldados a la estructura sometidos a cargas de viento, o sometidos a combinaciones de cargas que incluyen cargas de viento
0,60	diafragmas conectados a la estructura mediante uniones mecánicas sometidos a cargas sísmicas, o sometidos a combinaciones de cargas que incluyen cargas sísmicas.
0,65	diafragmas conectados a la estructura mediante uniones mecánicas sometidos a cargas de viento, o sometidos a combinaciones de cargas que incluyen cargas de viento
0,65	diafragmas conectados a la estructura ya sea por medios mecánicos o soldadura sometidos a combinaciones de cargas que no incluyen cargas de viento o cargas sísmicas.

CAPÍTULO E. UNIONES Y MEDIOS DE UNIÓN

E.1. REQUISITOS GENERALES

Las uniones se deben diseñar para transmitir las máximas solicitaciones requeridas que actúan sobre las barras que se unen. Las excentricidades se deberán analizar cuidadosamente.

E.2. UNIONES SOLDADAS

Los siguientes criterios de diseño determinan las uniones soldadas utilizadas para miembros estructurales de acero conformado en frío en las cuales el espesor de la pieza unida más delgada es de 5 mm o menos. Se deberán satisfacer además las especificaciones del Reglamento CIRSOC 304-2007 no modificadas en el presente Reglamento.

Para las uniones soldadas en las cuales el espesor de la pieza unida más delgada sea superior a 5 mm se aplicarán las especificaciones de los Reglamentos CIRSOC 301-2005 y CIRSOC 304-2007.

E.2.1. Soldaduras a tope

La resistencia nominal, P_n , de una soldadura a tope, ejecutada desde uno o ambos lados, se deberá determinar de la siguiente manera:

- (a) Tracción o compresión normal al área efectiva o paralela al eje de la soldadura

$$P_n = L t_e F_y (10)^{-1} \quad \phi = 0,90 \quad (\text{E.2.1-1})$$

- (b) Corte en el área efectiva, el menor valor entre las expresiones (E. 2.1-2) ó (E.2.1-3)

$$P_n = L t_e 0,6 F_{EXX} (10)^{-1} \quad \phi = 0,65 \quad (\text{E.2.1-2})$$

$$P_n = L t_e 0,6 F_y (10)^{-1} \quad \phi = 0,90 \quad (\text{E.2.1-3})$$

siendo:

P_n la resistencia nominal de una soldadura a tope, en kN.

F_{EXX} la resistencia a tracción del metal de aporte, en MPa.

F_y la tensión de fluencia especificada del acero del material base de menor resistencia, en MPa.

L la longitud de la soldadura, en cm.

t_e el espesor efectivo de la garganta, en cm.

ϕ el factor de resistencia.

E.2.2. Soldadura de tapón

Las soldaduras de tapón permitidas por este Reglamento corresponden a la unión de una chapa con otra de mayor espesor ubicadas en posición plana.

Este tipo de soldadura no se debe realizar si la chapa más delgada tiene un espesor mayor que 3,81 mm, ni si la suma de los espesores es superior a 3,81 mm.

Cuando el espesor de la chapa más delgada sea menor que **0,711 mm** se deberán utilizar arandelas para ejecutar la soldadura (Figuras E.2-1 y E.2-2). Las arandelas para soldaduras deben tener un espesor comprendido entre 1,27 mm y 2,03 mm y un orificio preperforado con un diámetro mínimo de 9,50 mm.

La soldadura de tapón se debe especificar mediante el diámetro efectivo mínimo de la superficie fundida d_e . El mínimo diámetro efectivo admisible es 9,5 mm.

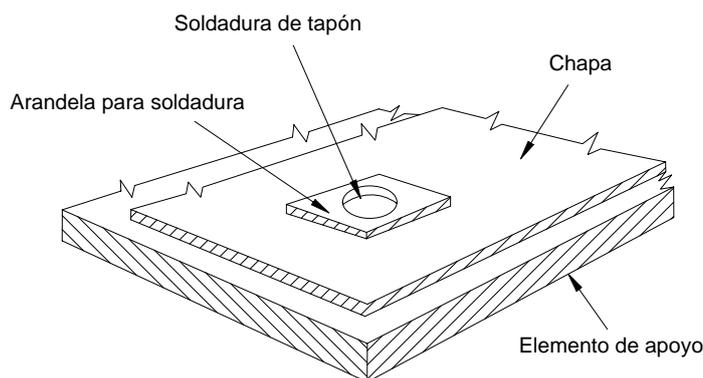


Figura E.2-1. Típica arandela para soldaduras de tapón

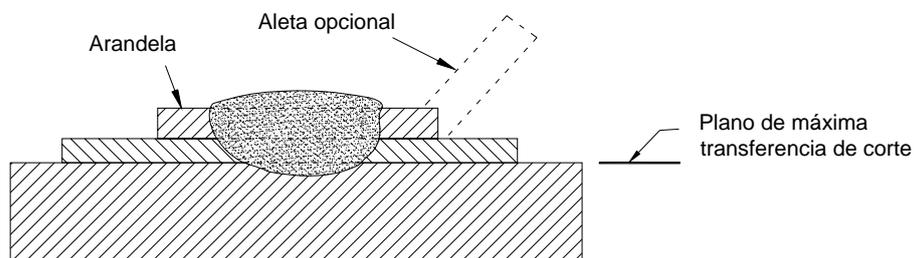


Figura E.2-2. Soldadura de tapón utilizando una arandela

E.2.2.1. Corte

La resistencia nominal al corte, P_n , de cada soldadura de tapón que une una o más chapas y un miembro de apoyo se debe determinar utilizando el menor valor resultante entre las expresiones (a) y (b):

$$(a) \quad P_n = \frac{\pi d_e^2}{4} 0,75 F_{EXX} (10)^{-1} \quad (E.2.2.1-1)$$
$$\phi = 0,50$$

$$(b) \quad \text{Para } (d_a / t) \leq 0,815 \sqrt{(E / F_u)}$$
$$P_n = 2,20 t d_a F_u (10)^{-1} \quad (E.2.2.1-2)$$
$$\phi = 0,60$$

$$\text{Para } 0,815 \sqrt{(E / F_u)} < (d_a / t) < 1,397 \sqrt{(E / F_u)}$$
$$P_n = 0,280 \left[1 + 5,59 \frac{\sqrt{(E / F_u)}}{(d_a / t)} \right] t d_a F_u (10)^{-1} \quad (E.2.2.1-3)$$
$$\phi = 0,45$$

$$\text{Para } (d_a / t) \geq 1,397 \sqrt{(E / F_u)}$$
$$P_n = 1,40 t d_a F_u (10)^{-1} \quad (E.2.2.1-4)$$
$$\phi = 0,40$$

siendo:

P_n la resistencia nominal al corte de una soldadura de tapón, en kN.

d el diámetro visible de la superficie exterior de una soldadura de tapón, en cm.

d_a el diámetro promedio de la soldadura de tapón en la mitad del espesor t , donde $d_a = (d - t)$ para una sola chapa, o para múltiples chapas (no más de cuatro superpuestas sobre un elemento de apoyo), en cm.

d_e el diámetro efectivo de la superficie fundida en el plano de máxima transferencia de corte, en cm.

$$d_e = 0,7 d - 1,5 t \text{ pero } \leq 0,55 d \quad (E.2.2.1-5)$$

t el espesor total combinado del acero base (excluyendo los revestimientos) de las chapas que participan en la transferencia de corte sobre el plano de máxima transferencia de corte, en cm.

F_{EXX} la resistencia a tracción del metal de aporte, en MPa.

F_u la tensión de rotura a tracción según lo especificado en el artículo A.2.1, en MPa.

ϕ el factor de resistencia.

Nota: Ver las definiciones de los diámetros en las Figuras E.2-3 y E.2-4.

La distancia medida en la línea de fuerza desde el eje de una soldadura hasta el borde más cercano de una soldadura adyacente o hasta el extremo de la parte unida hacia la cual se dirige la fuerza no debe ser menor que el valor de e_{min} dado a continuación:

$$e_{min} = \frac{P_u}{\phi F_u t} \quad (10) \quad (E.2.2.1-6)$$

Cuando $F_u/F_{sy} \geq 1,10$ $\phi = 0,60$

siendo:

P_u la resistencia requerida a transmitir por la soldadura, en kN

t el espesor de la chapa más delgada de la unión, en cm.

F_{sy} la tensión de fluencia de acuerdo con lo especificado en el artículo A.2.1 en MPa.

ϕ el factor de resistencia.

Nota: para las distancias a los bordes ver las Figuras E.2-5 y E.2-6.

Además, la distancia entre el eje de cualquier soldadura hasta el extremo o borde del miembro unido no debe ser menor que $1,5d$. En ningún caso la distancia libre entre las soldaduras y el extremo del elemento debe ser menor que $1,0d$.

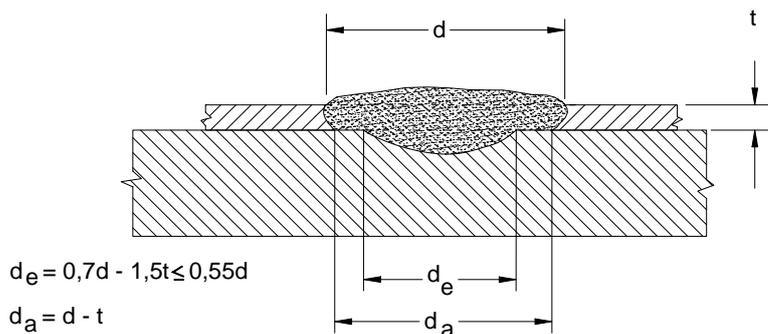


Figura E.2-3. Soldadura de Tapón - Un solo espesor de chapa

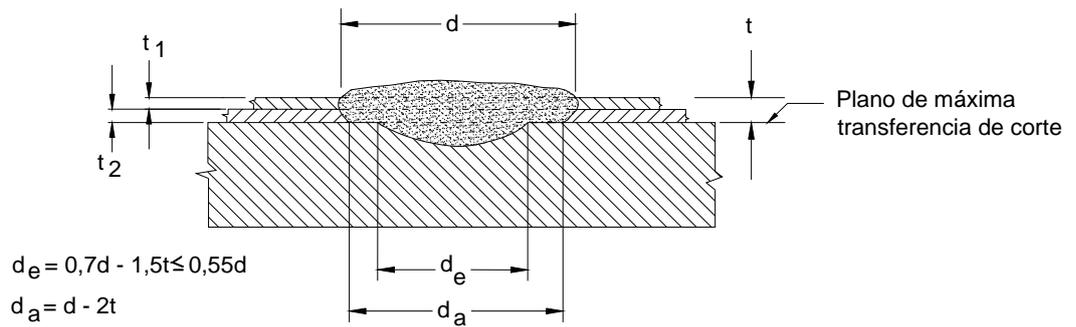


Figura E.2-4. Soldadura de Tapón – Doble espesor de chapa

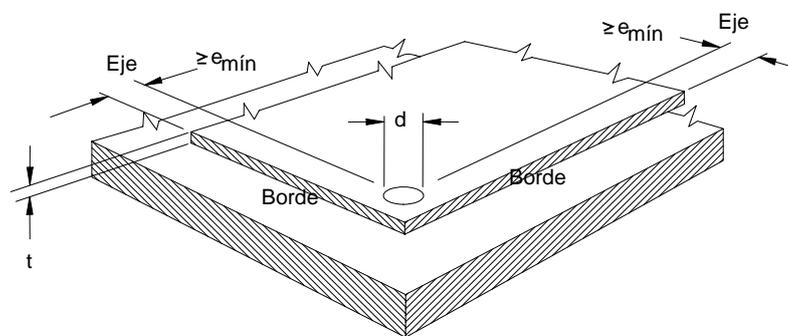


Figura E.2-5. Distancias a los bordes para soldadura de Tapón - Un solo espesor de chapa

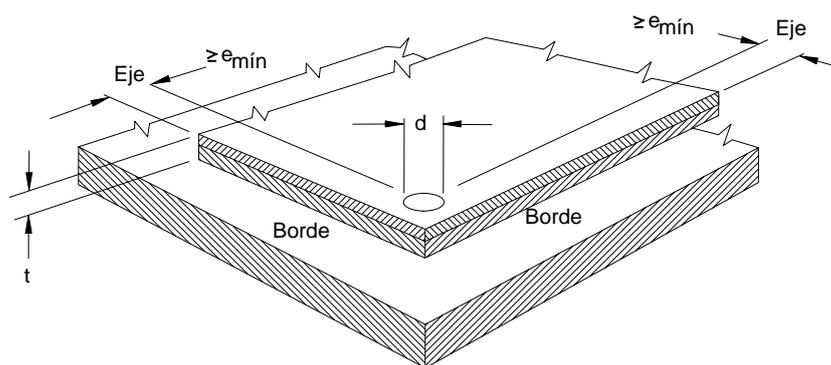


Figura E.2-6. Distancias a los bordes para soldadura de Tapón - Doble chapa

E.2.2.2. Tracción

La resistencia nominal a la tracción (levantamiento) P_n , de cada soldadura de tapón con carga centrada que une chapas y un elemento de apoyo se debe calcular como el menor valor entre:

$$P_n = \frac{\pi d_e^2}{4} F_{EXX} (10)^{-1} \quad (\text{E.2.2.2-1})$$

ó

$$P_n = 0,8 (F_u / F_y)^2 t d_a F_u (10)^{-1} \quad (\text{E.2.2.2-2})$$

siendo:

$\phi = 0,50$ para aplicaciones en paneles y tableros de techo y piso y
 $\phi = 0,40$ para otras aplicaciones

Con las siguientes limitaciones adicionales:

$$t d_a F_u 10^{-1} \leq 13,4 \text{ kN}$$

$$e_{\min} \geq d$$

$$F_{EXX} \geq 410 \text{ MPa}$$

$$F_u \leq 565 \text{ MPa (de las chapas unidas)}$$

$$F_{EXX} > F_u$$

donde todos los demás parámetros están definidos en el artículo E.2.2.1

Para las soldaduras de tapón con carga excéntrica sometidas a tracción (levantamiento), la resistencia nominal se tomará como el cincuenta por ciento del valor anterior.

Para uniones con chapas múltiples, la resistencia se determinará utilizando la sumatoria de los espesores de las chapas en la expresión (E.2.2.2-2)

La resistencia nominal a la tracción, en las uniones laterales solapadas de los sistemas de tableros, se tomará igual al 70 por ciento de los valores anteriores.

Cuando mediante mediciones se pueda demostrar que utilizando un determinado procedimiento de soldadura se puede obtener un mayor diámetro efectivo, d_e , o un mayor diámetro medio, d_a , según corresponda, este mayor diámetro se podrá utilizar siempre que se siga el procedimiento de soldadura utilizado para las referidas mediciones.

E.2.3. Soldadura de costura

Las soldaduras de costura (Figura E.2-7) cubiertas por este Reglamento se aplican sólo a las siguientes uniones:

- (a) Chapa unida a un elemento de apoyo de mayor espesor en posición plana.
- (b) Dos chapas en posición horizontal o plana.

La resistencia nominal al corte, P_n , de las soldaduras de costura se deben determinar utilizando el menor valor de:

$$(a) \quad P_n = \left[\frac{\pi d_e^2}{4} + L \cdot d_e \right] 0,75 F_{EXX} (10)^{-1} \quad (E.2.3-1)$$

$$(b) \quad P_n = 2,5 t F_u (0,25 L + 0,96 d_a) (10)^{-1} \quad (E.2.3-2)$$

$$\phi = 0,50$$

siendo:

P_n la resistencia nominal al corte de una soldadura de costura, en kN.

d el ancho de la soldadura de costura, en cm.

L la longitud de la soldadura de costura excluyendo los extremos redondeados, en cm.
(A los fines del cálculo, L no debe ser mayor que $3d$).

d_a el ancho promedio de la soldadura de costura, en cm.

$$d_a = (d - t) \text{ para una o dos chapas.} \quad (E.2.3-3)$$

d_e el ancho efectivo de la soldadura de costura en las superficies fundidas, en cm. $d_e = 0,7d - 1,5t$ (E.2.3-4)

ϕ el factor de resistencia.

F_u y F_{EXX} se definen en el artículo E.2.2.1. La distancia mínima al borde debe ser igual a la determinada para la soldadura de tapón, artículo E.2.2.1. Ver la Figura E.2-8.

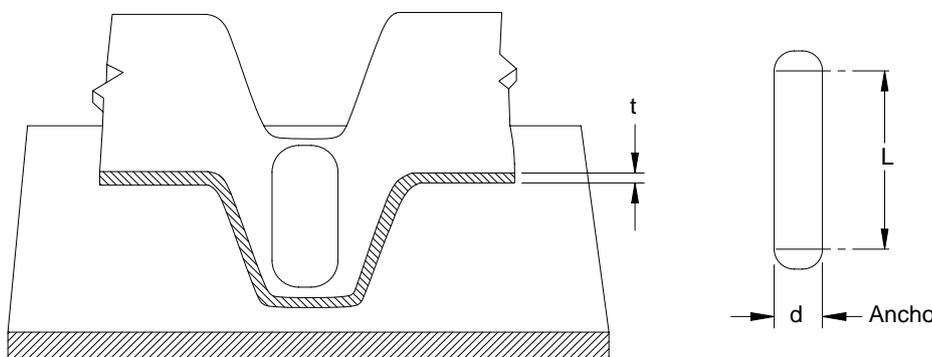


Figura E.2-7. Soldadura de costura - Chapa a miembro de apoyo en posición plana

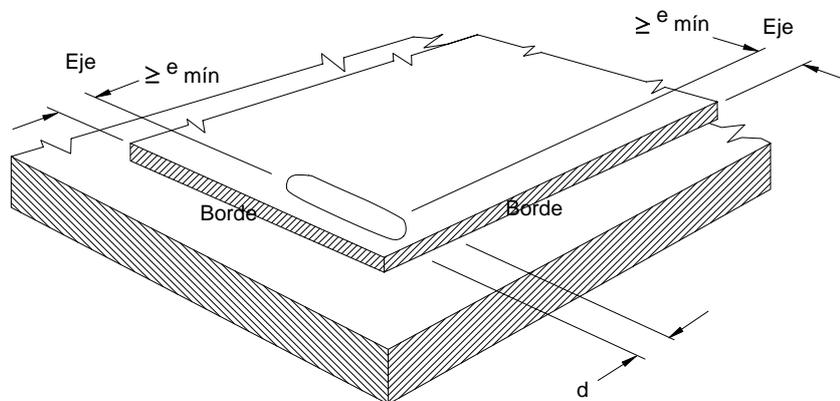


Figura E.2-8. Distancias a los bordes para cordones de soldadura de costura

E.2.4. Soldaduras de filete

Las soldaduras de filete cubiertas por este Reglamento se aplican a la soldadura de uniones en cualquier posición, ya sea:

- (a) Unión de dos chapas, ó
- (b) Unión de una chapa a un elemento de acero de mayor espesor.

La resistencia nominal al corte, P_n , de una soldadura de filete se determinará de la siguiente manera:

- (a) Para carga longitudinal:

Para $L/t < 25$:

$$P_n = \left(1 - \frac{0,01L}{t}\right) t L F_u (10)^{-1} \quad (\text{E.2.4-1})$$

$\phi = 0,55$

Para $L/t \geq 25$:

$$P_n = 0,75 t L F_u (10)^{-1} \quad (\text{E.2.4-2})$$

$\phi = 0,50$

- (b) Para carga transversal:

$$P_n = t L F_u (10)^{-1} \quad (\text{E.2.4-3})$$

$\phi = 0,55$

siendo t el menor valor entre t_1 ó t_2 , (ver las Figuras E.2-9 y E.2-10).

Adicionalmente, para $t > 2,54 \text{ mm}$, la resistencia nominal determinada anteriormente no debe superar el siguiente valor de P_n :

$$P_n = 0,60 t_w L F_{EXX} (10)^{-1} \quad (\text{E.2.4-4})$$

$$\phi = 0,60$$

siendo:

P_n la resistencia nominal al corte de una soldadura de filete, en kN.

L la longitud de la soldadura de filete, en cm.

t_w el espesor efectivo de garganta = $0,707w_1$ ó $0,707w_2$, el que resulte menor. Estará permitido considerar una mayor garganta efectiva si se demuestra que con el procedimiento de soldadura a utilizar se obtienen mayores valores de t_w de manera consistente, en cm.

ϕ el factor de resistencia.

w_1 y w_2 el lado del filete de soldadura (ver las Figuras E.2-9 y E.2-10). En las uniones solapadas $w_1 \leq t_1$.

F_u y F_{EXX} se definen en el artículo E2.2.1.

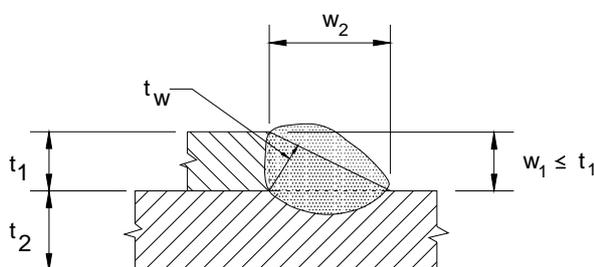


Figura E.2-9. Soldaduras de filete - Unión solapada

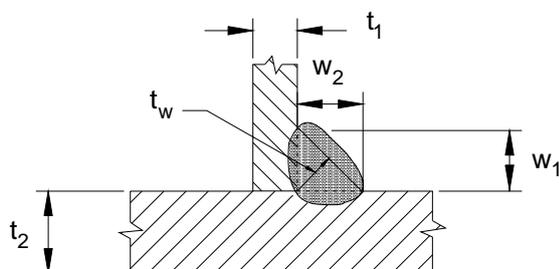


Figura E.2-10. Soldaduras de filete - Unión en T

E.2.5. Soldaduras a tope acampanadas

Las soldaduras a tope acampanadas cubiertas por este Reglamento se aplican a cordones de soldadura en cualquier posición, en los siguientes casos:

- (a) Uniones de chapa con chapa por soldadura a tope acampanada en V,
- (b) Uniones de chapa con chapa por soldaduras a tope acampanadas en bisel,
- (c) Uniones de chapa con una barra de acero de mayor espesor por soldaduras a tope acampanadas en bisel.

La resistencia nominal al corte, P_n , de una soldadura a tope acampanada se debe determinar de la siguiente manera:

- (a) Para soldaduras a tope acampanadas **en bisel** cargadas transversalmente (Figura E.2-11):

$$P_n = 0,833 t L F_u (10)^{-1} \quad (E.2.5-1)$$
$$\phi = 0,50$$

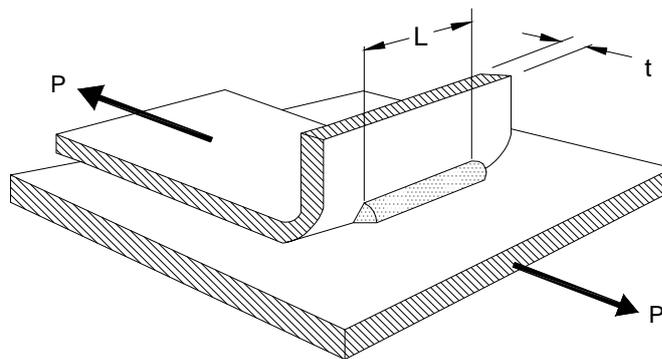


Figura E.2-11. Soldadura a tope acampanada en bisel cargada transversalmente

Este Reglamento **no permite** utilizar soldaduras a tope acampanadas en V cargadas transversalmente.

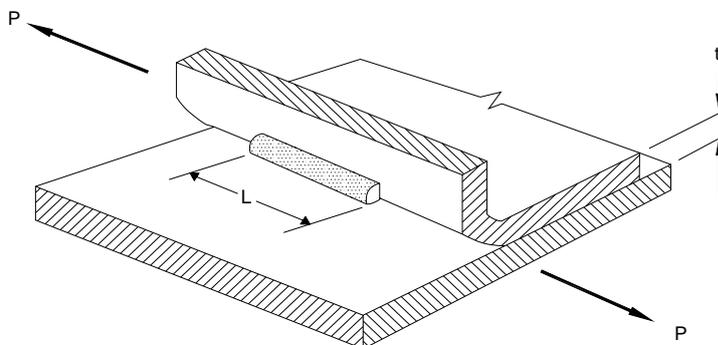


Figura E.2-12. Corte en una soldadura a tope acampanada en bisel cargada longitudinalmente

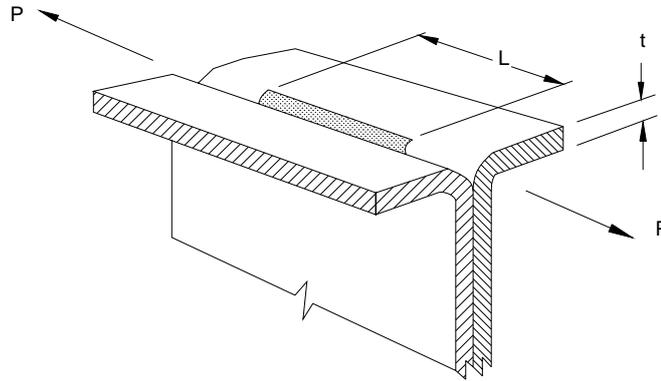


Figura E.2-13. Corte en una soldadura a tope acampanada en V cargada longitudinalmente

(b) Para soldaduras a tope acampanadas con carga longitudinal (ver las Figuras **E.2-12** a **E.2-17**):

(1) Para $t \leq t_w < 2t$ o si la altura del labio rigidizador, h , es menor que la longitud de la soldadura, L :

$$P_n = 0,75 t L F_u (10)^{-1} \quad \phi = 0,50 \quad (\text{E.2.5-2})$$

(2) Para $t_w \geq 2t$ y la altura del labio rigidizador, h , es mayor o igual que la longitud de la soldadura, L :

$$P_n = 1,50 t L F_u (10)^{-1} \quad \phi = 0,50 \quad (\text{E.2.5-3})$$

Además, si $t > 2,54$ mm, la resistencia nominal determinada anteriormente no deberá superar el siguiente valor de P_n :

$$P_n = 0,60 t_w L F_{EXX} (10)^{-1} \quad \phi = 0,65 \quad (\text{E.2.5-4})$$

siendo:

P_n la resistencia nominal de la soldadura, en kN.

h la altura del labio rigidizador, en cm.

L la longitud de la soldadura, en cm.

t_w - el espesor efectivo de garganta de una soldadura a tope acampanada con el filete al ras de la superficie (Ver las Figuras **E.2-14** y **E.2-15**), en cm.

Para soldadura a tope acampanada en bisel, $t_w = 5/16R$

Para soldadura a tope acampanada en V, $t_w = 1/2R$

(Si $R > 12,7$ mm se debe adoptar $t_w = 3/8R$)

- el espesor efectivo de garganta de una soldadura a tope acampanada

con el filete no enrasado con la superficie; igual al menor valor entre $0,707w_1$ ó $0,707w_2$ (Ver las Figuras E.2-16 y E.2-17), en cm

Se podrá considerar una garganta efectiva mayor que las anteriores si se demuestra que con el procedimiento de soldadura a utilizar se obtienen mayores valores de t_w de manera consistente.

R el radio de la superficie curva exterior, en cm.

w_1 y w_2 la dimensión del lado de la soldadura (Ver las Figuras E.2-16 y E.2-17), en cm.

ϕ el factor de resistencia.

F_u y F_{EXX} se definen en el artículo E.2.2.1.

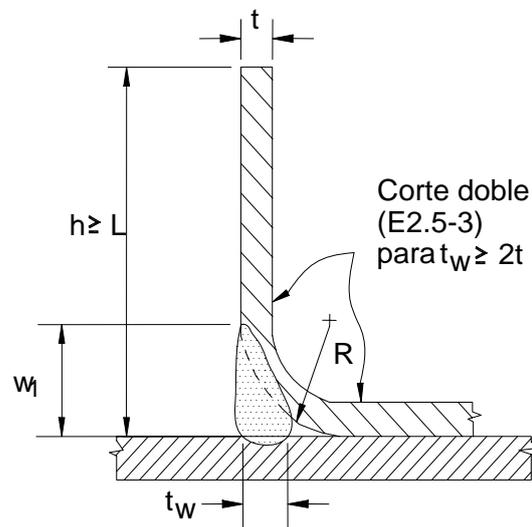


Figura E.2-14. Soldadura a tope acampanada en bisel (Filete enrasado con superficie, $w_1 = R$)

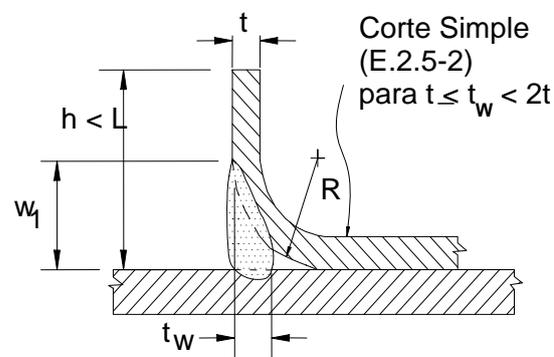


Figura E.2-15. Soldadura a tope acampanada en bisel (Filete enrasado con superficie, $w_1 = R$)

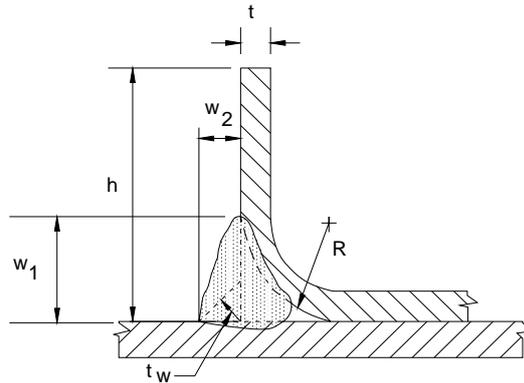


Figura E.2-16. Soldadura a tope acampanada en bisel (Filete no enrasado con superficie, $w_1 > R$)

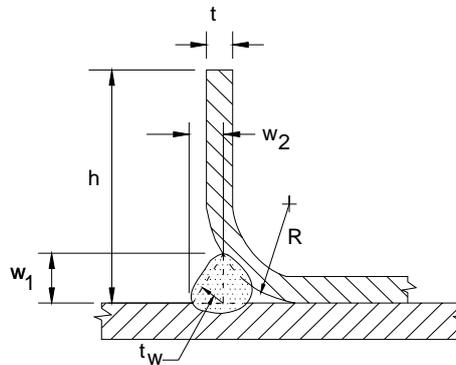


Figura E.2-17. Soldadura a tope acampanada en bisel (Filete no enrasado con superficie, $w_1 < R$)

E.2.6. Soldaduras de resistencia por puntos

La resistencia nominal al corte, P_n , en kN, de las soldaduras de punto se debe determinar de la siguiente manera:

- Para $0,25 \text{ mm} \leq t < 3,56 \text{ mm}$

$$P_n = 5,51 t^{1,47} \quad (\text{E.2.6-1})$$

- Para $3,56 \text{ mm} \leq t \leq 5,00 \text{ mm}$

$$P_n = 7,6 t + 8,57 \quad (\text{E.2.6-2})$$

siendo:

- t el espesor de la chapa más delgada, en mm.
- ϕ el factor de resistencia igual a 0,55.

E.2.7. Rotura en la sección neta de elementos que no sean chapas planas (retardo de corte)

La resistencia nominal a la tracción de un miembro soldado se determinará de acuerdo con el artículo C.2. Para la rotura en la sección neta efectiva de un elemento conectado, la resistencia nominal a tracción, P_n , se determinará de la siguiente forma:

$$P_n = A_e F_u (10)^{-1} \quad (\text{E.2.7-1})$$

$$\phi = 0,60$$

siendo:

F_u la tensión de rotura a tracción del acero del elemento unido según se establece en el artículo A.2.1, en MPa.

A_e la sección neta efectiva calculada como $A \cdot U$:

- Cuando la carga sea transmitida sólo por cordones transversales:

A = sección bruta del elemento directamente unido, en cm^2 .

$$U = 1,00$$

- Cuando la carga sea transmitida sólo por cordones longitudinales o por cordones longitudinales en combinación con transversales:

A = sección bruta del elemento, A_g , en cm^2 .

$U = 1,00$ cuando la carga sea transmitida por todos los elementos de la sección.

En otros casos, U se determinará como se indica a continuación:

(a) Para secciones angulares:

$$U = 1,0 - 1,20 (\bar{x} / L) \leq 0,9 \quad (\text{E.2.7-2})$$

pero no menor que **0,40**.

(b) Para secciones U

$$U = 1,0 - 0,36 (\bar{x} / L) \leq 0,9 \quad (\text{E.2.7-3})$$

pero no menor que **0,50**.

siendo:

\bar{x} la distancia entre el plano de la unión y el centro de gravedad de la sección, en cm.

L la longitud del cordón longitudinal, en cm.

E.3. UNIONES ABULONADAS

Los siguientes criterios de diseño son de aplicación para las uniones abulonadas utilizadas para miembros de acero estructural conformado en frío, en los cuales el espesor de la parte unida más delgada sea menor que **5,00 mm**. Para uniones abulonadas en las cuales el espesor de la parte unida más delgada sea mayor o igual que **5,00 mm**, ver el Reglamento CIRSOC 301-2005 y la Recomendación CIRSOC 305-2007.

Los bulones, las tuercas y las arandelas deben cumplir con lo establecido en las normas indicadas en el artículo A.3.2. y en la Sección J.3. del Reglamento CIRSOC 301-2005 y en el artículo 1.3(a) de la Recomendación CIRSOC 305-2007.

Cuando se utilicen elementos diferentes de los anteriores, los planos deberán indicar claramente el tipo y tamaño de los medios de unión a utilizar y la resistencia nominal supuesta para el diseño.

Los bulones se deben instalar y ajustar para lograr un comportamiento satisfactorio de las uniones.

Los agujeros para los bulones no deben ser mayores que los tamaños especificados en la Tabla **E.3-1**. Sin embargo, está permitido utilizar perforaciones de mayor tamaño en los detalles de las bases de las columnas o en los sistemas estructurales unidos a tabiques de hormigón.

En las uniones abulonadas se deben utilizar agujeros normales, excepto que el Proyectista o Diseñador Estructural apruebe la utilización de agujeros holgados u ovalados. La mayor longitud de los agujeros ovalados debe ser normal a la dirección del esfuerzo. Se deben colocar arandelas o chapas de refuerzo sobre los agujeros holgados u ovalados de una chapa externa, a menos que ensayos de carga demuestren un comportamiento adecuado de acuerdo con el Capítulo F.

TABLA E.3-1. Máximo tamaño de los agujeros para bulones

Diámetro nominal del bulón, d, mm	Diámetro del agujero normal, d _h , mm	Diámetro del agujero holgado, d _h , mm	Dimensiones del agujero ovalado corto, mm	Dimensiones del agujero ovalado largo, mm
< 12 ≥ 12	d + 1,0 d + 2,0	d + 2,0 d + 4,0	(d + 1,0) x (d + 6,0) (d + 2,0) x (d + 6,0)	(d + 1,0) x (2½ d) (d + 2,0) x (2½ d)
Diámetro nominal del bulón, d, pulgadas	Diámetro del agujero normal, d _h , pulgadas	Diámetro del agujero holgado, d _h , pulgadas	Dimensiones del agujero ovalado corto, pulgadas	Dimensiones del agujero ovalado largo, pulgadas
< ½ ≥ ½	d + 1/32 d + 1/16	d + 1/16 d + 1/8	(d + 1/32) x (d + 1/4) (d + 1/16) x (d + 1/4)	(d + 1/32) x (2½ d) (d + 1/16) x (2½ d)

E.3.1. Resistencia a corte, separación y distancia a los bordes de los agujeros

La resistencia nominal al corte, P_n , de la parte unida afectada por la separación y la distancia al borde en la dirección de la fuerza aplicada, se debe calcular de la siguiente manera:

$$P_n = t e F_u (10)^{-1} \quad (\text{E.3.1-1})$$
$$\phi = 0,65$$

donde $F_u/F_{sy} \geq 1,10$

siendo:

- P_n la resistencia nominal por bulón, en kN.
- e la distancia medida en la dirección de la fuerza entre el centro de un agujero normal y el borde más cercano de un agujero adyacente o hasta el extremo de la parte unida, en cm.
- t el espesor de la parte unida más delgada, en cm.
- F_u la tensión de rotura a tracción del acero de la parte unida de acuerdo con lo especificado en el artículo A.2.1, en MPa.
- F_{sy} la tensión de fluencia especificada del acero de la parte unida de acuerdo con lo especificado en el artículo A.2.1, en MPa.

Adicionalmente, la distancia mínima entre los centros de los agujeros debe ser suficiente para proveer una luz libre para las cabezas de los bulones, tuercas, arandelas y la llave, y no debe ser menor que $3d$ siendo d el diámetro nominal del bulón. La distancia entre el centro de cualquier agujero normal y el extremo u otro borde del miembro conectado no debe ser menor que $1,5 d$.

Para agujeros holgados u ovalados, la distancia entre los bordes de dos agujeros adyacentes y la distancia medida desde el borde del agujero y el extremo o el otro borde del miembro conectado en la línea del esfuerzo no debe ser menor que $[e-(d_h/2)]$, siendo e la distancia requerida calculada utilizando la expresión dada anteriormente y d_h el diámetro de un agujero normal definido en la Tabla E.3-1. En ningún caso la distancia libre entre los bordes de dos agujeros adyacentes debe ser menor que $2d$ ni la distancia entre el borde del agujero y el extremo del miembro menor que d .

E.3.2. Rotura en la sección neta (Retardo de corte)

La resistencia nominal a la tracción de un elemento traccionado se determinará de acuerdo con el artículo C.2. Para la rotura en la sección neta efectiva de las partes unidas, la resistencia nominal a tracción, P_n , se determinará de la siguiente manera:

(1) Para la unión de chapas planas con uniones no dispuestas en tresbolillo:

$$P_n = A_n F_t (10)^{-1} \quad (\text{E.3.2-1})$$

(a) Con arandelas tanto debajo de la cabeza del bulón como debajo de la tuerca:

- Para un bulón simple, o una sola línea de bulones perpendicular a la fuerza:

$$F_t = (0,1 + 3 d / s) F_u \leq F_u \quad (\text{E.3.2-2})$$

- Para más de un bulón en la dirección de la fuerza:

$$F_t = F_u \quad (\text{E.3.2-3})$$

Para corte doble: $\phi = 0,65$

Para corte simple: $\phi = 0,55$

(b) Sin arandelas debajo de la cabeza del bulón y de la tuerca, o bien con una sola arandela ya sea debajo de la cabeza del bulón o de la tuerca:

- Para un bulón simple, o una sola línea de bulones perpendicular a la fuerza:

$$F_t = (2,5 d / s) F_u \leq F_u \quad (\text{E.3.2-4})$$

- Para más de un bulón en la dirección de la fuerza:

$$F_t = F_u \quad (\text{E.3.2-5})$$
$$\phi = 0,65$$

siendo:

A_n el área neta de la parte unida, en cm^2 .

s el ancho total de la chapa dividido por la cantidad de agujeros en la sección analizada, en cm.

F_u la tensión de rotura a tracción de la parte unida de acuerdo con lo especificado en el artículo A.2.1, en MPa.

d el diámetro nominal del bulón, en cm.

(2) Para la unión de chapas planas con uniones dispuestas en tresbolillo:

$$P_n = A_n F_t (10)^{-1} \quad (\text{E.3.2-6})$$
$$\phi = 0,65$$

siendo:

F_t valor que se determina de acuerdo con las expresiones (E.3.2-2) a (E.3.2-5).

$$A_n = 0,90 [A_g - n_b d_h t + (\sum s'^2 / 4 g) t] \quad (\text{E.3.2-7})$$

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

s' la distancia longitudinal entre dos agujeros consecutivos (paso), en cm.

g la distancia transversal entre dos líneas de agujeros (gramil), en cm.

n_b la cantidad de agujeros en la sección analizada.

d_n el diámetro del agujero normal, en cm.
 t el valor definido en el artículo E.3.1.

(3) Para otros miembros que no sean chapas planas:

$$P_n = A_e F_u (10)^{-1} \quad (\text{E.3.2-8})$$
$$\phi = 0,65$$

siendo:

F_u la tensión de rotura a tracción del acero del miembro unido según se indica en el artículo A.2.1, en MPa.

A_e la sección neta efectiva calculada como: $A_e = A_n U$, en cm^2 , siendo $U = 1,00$ cuando la carga sea transmitida por todos los elementos de la sección.

En otros casos, U se determinará de la siguiente forma:

(a) Para secciones angulares con dos o más bulones en la dirección de la fuerza:

$$U = 1,0 - 1,20 (\bar{x} / L) \leq 0,9 \quad (\text{E.3.2-9})$$

pero no menor que $0,40$.

(b) Para secciones U con dos o más bulones en la dirección de la fuerza

$$U = 1,0 - 0,36 (\bar{x} / L) \leq 0,9 \quad (\text{E.3.2-10})$$

pero no menor que $0,50$.

\bar{x} la distancia entre el plano de la unión y el centro de gravedad de la sección, en cm.

L la longitud de la unión, en cm.

A_n la sección neta de la parte unida, en cm^2 .

E.3.3. Aplastamiento de la chapa en los agujeros

La resistencia nominal al aplastamiento de la chapa en los agujeros de las uniones abulonadas se debe determinar de acuerdo con los artículos E.3.3-1 y E.3.3-2. Para las situaciones no contempladas, la resistencia se determinará mediante ensayos.

E.3.3.1. Resistencia al aplastamiento con deformación permitida

Cuando la deformación alrededor del agujero *no* sea una consideración de proyecto (deformación permitida), la resistencia nominal al aplastamiento P_n para la chapa y por cada bulón será:

$$P_n = m_f C d t F_u (10)^{-1} \quad (\text{E.3.3.1-1})$$
$$\phi = 0,75$$

siendo:

- C** el factor de aplastamiento, que se obtiene de la Tabla **E.3-2**.
- d** el diámetro nominal del bulón, en cm.
- t** el espesor de la chapa (sin el recubrimiento), en cm.
- F_u** la tensión de rotura a tracción de la chapa como se define en el artículo A.2.1, en MPa.
- m_f** el factor que en función del tipo de unión se obtiene de la Tabla **E3-3**.

Tabla E.3-2. Factor de aplastamiento C.

Espesor de las partes conectadas, t (mm)	Relación entre diámetro del bulón y el espesor del elemento, d/t	C
0.61 ≤ t < 5,00	d/t < 10	3,0
	10 ≤ d/t ≤ 22	4 - 0,1(d/t)
	d/t > 22	1,8

Tabla E.3-3. Factor de modificación, m_f, para distintos tipos de unión.

Tipo de unión	m _f
Ambas chapas en uniones de corte simple y chapas exteriores en uniones de corte doble con arandela bajo la cabeza de bulón y la tuerca .	0,80
Ambas chapas en uniones de corte simple y chapas exteriores en uniones de corte doble sin arandela bajo cabeza de bulón y tuerca, o con 1 sola arandela en una de ellas.	0,60
Chapa interior en unión de corte doble con o sin arandela.	1,065

E.3.3.2. Resistencia al aplastamiento sin permitir deformación

Cuando la deformación alrededor del agujero sea una consideración de proyecto y **no** esté permitida en el diseño, la resistencia nominal al aplastamiento **P_n** (kN) para la chapa y por cada bulón estará determinada por las siguientes expresiones:

$$P_n = (1,58 t + 1,33) d t F_u (10)^{-1} \quad (\text{E.3.3.2-1})$$

$$\phi = 0,75$$

(t y d en cm, F_u en MPa)

E.3.4. Resistencia al corte y a la tracción en los bulones

La resistencia nominal del bulón, P_n , (kN) al corte, a la tracción o a una combinación de corte y tracción se determinará de la siguiente manera:

$$P_n = A_b F_n (10)^{-1} \quad (\text{E.3.4-1})$$

siendo:

A_b el área bruta de la sección transversal del bulón, en cm^2 .

Cuando los bulones estén sometidos a corte o tracción:

F_n está dada por F_{nv} ó F_{nt} en la Tabla E.3-4.

ϕ está dada en la Tabla E.3-4.

Cuando los bulones estén sometidos a una combinación de corte y tracción:

F_n está dada por F'_{nt} en las Tabla E.3-5.

ϕ está dada en la Tabla E.3-5.

Cuando en los bulones exista tracción será necesario considerar el efecto de aplastamiento de la chapa conectada con la cabeza del bulón, tuerca o arandela (acción de palanca), ver el artículo E.6.2.

E.4. UNIONES ATORNILLADAS

Todos los requisitos del artículo E.4 se aplican para tornillos donde $2,03 \text{ mm} \leq d \leq 6,35 \text{ mm}$. Los tornillos deben formar o cortar la rosca, con o sin una punta autoperforante. Los tornillos se deben instalar y ajustar de acuerdo con las recomendaciones del fabricante.

La resistencia nominal de las barras traccionadas unidas con tornillos será también determinada con las especificaciones del artículo C.2.

Para las aplicaciones en diafragmas se debe utilizar el artículo D.5.

El factor de resistencia a utilizar en los artículos que forman parte de E.4 será $\phi = 0,45$

Como alternativa a lo especificado en este artículo, está permitido que los valores de las resistencias de diseño para una aplicación determinada se basen en ensayos con factores de resistencia determinados de acuerdo con el Capítulo F.

TABLA E.3-4. Resistencias nominales a la tracción y al corte para bulones (a)

Descripción de los bulones	Resistencia a la tracción		Resistencia al corte*	
	Factor de Resistencia ϕ	Tensión nominal F_{nt} (MPa)	Factor de Resistencia ϕ	Tensión nominal F_{nv} (c) (MPa)
Bulones A307, ISO 4.6 6,4mm \leq d < 12,7mm	0,75	260	0,75	140 (b)
Bulones A307, ISO 4.6 d \geq 12,7 mm.		260		140 (b)
Bulones A325, A325M ó ISO 8.8 cuando los filetes no se excluyen de los planos de corte		620		330
Bulones A325, A325M ó ISO 8.8 cuando los filetes se excluyen de los planos de corte		620		415
Bulones A449 6,4 mm \leq d < 12,7 mm. cuando los filetes no se excluyen de los planos de corte		558		287
Bulones A449 6,4 mm \leq d < 12,7 mm. cuando los filetes se excluyen de los planos de corte		558		415
Bulones A490, A490M ó ISO 10.9 cuando los filetes no se excluyen de los planos de corte		778		414
Bulones A490, A490M ó ISO 10.9 cuando los filetes se excluyen de los planos de corte		778		517

(a) Se aplica para bulones en agujeros que satisfacen las limitaciones de la Tabla E.3-1. Se deben colocar arandelas o placas de refuerzo sobre los agujeros ovalados largos y la capacidad de las uniones en las que se utilizan agujeros ovalados largos se debe determinar mediante ensayos de carga de acuerdo con el Capítulo F.

(b) Se permite la rosca en los planos de corte

(c) Para barras traccionadas con bulones extremos separados en la dirección de la fuerza a mas de **1000mm** los valores tabulados serán reducidos en un **20%**.

En este artículo se utiliza la siguiente simbología:

- d** el diámetro nominal del tornillo, en cm.
- d_w** el mayor valor entre el diámetro de la cabeza del tornillo o la arandela, en cm.
- ϕ** el factor de resistencia, **$\phi = 0,45$**
- P_{ns}** la resistencia nominal al corte por tornillo, en kN.
- P_{ss}** la resistencia nominal al corte por tornillo garantizada por el fabricante o determinada mediante ensayos, en kN.
- P_{nt}** la resistencia nominal a tracción por tornillo, en kN.
- P_{not}** la resistencia nominal al arrancamiento por tornillo, en kN.
- P_{nov}** la resistencia nominal al aplastamiento por tornillo, en kN.
- P_{ts}** la resistencia nominal a tracción por tornillo garantizada por el fabricante o determinada mediante ensayos, en kN.
- t_1** el espesor del miembro que está en contacto con la cabeza del tornillo, en cm.
- t_2** el espesor del miembro que no está en contacto con la cabeza del tornillo, en cm.
- t_c** el menor valor entre la profundidad de penetración y el espesor t_2 , en cm.
- F_{u1}** la resistencia a la tracción del acero del miembro que está en contacto con la cabeza del tornillo, en MPa.
- F_{u2}** la resistencia a la tracción del acero del miembro que no está en contacto con la cabeza del tornillo, en MPa.

TABLA E.3-5. Resistencia nominal a la tracción, F'_{nt} (MPa), para bulones sometidos a la combinación de corte y tracción

Descripción de los bulones	Rosca incluida en los planos de corte	Rosca excluida de los planos de corte	Factor de Resistencia ϕ
Bulones A307, ISO 4.6 Cuando $6,4 \text{ mm.} \leq d < 12,7 \text{ mm.}$ ó $d \geq 12,7 \text{ mm.}$	$338 - 2,5f_v \leq 260$		0,75
Bulones A325, A325M ó ISO 8.8 Bulones A449 Bulones A490, A490M ó ISO 10.9	$806 - 2,5 f_v \leq 620$ $725 - 2,5 f_v \leq 558$ $1012 - 2,5 f_v \leq 778$	$806 - 2,0 f_v \leq 620$ $725 - 2,0 f_v \leq 558$ $1012 - 2,0 f_v \leq 778$	0,75
La tensión de corte f_v debe cumplir con la Tabla E.3-4.			

E.4.1. Separación mínima

La distancia mínima entre centros de los tornillos será de **$3d$** .

E.4.2. Distancias mínimas a los bordes y a los extremos

La distancia desde el centro del tornillo hasta el borde de cualquiera de las partes deberá ser mayor o igual que $1,5 d$. Si la distancia al borde extremo analizada es paralela a la dirección de la fuerza en el medio de unión, la resistencia nominal al corte P_{ns} será limitada por lo especificado en el artículo E.4.3.2.

E.4.3. Resistencia al corte

E.4.3.1.- Uniones sometidas a corte; limitaciones por volcamiento del tornillo y a plastamiento de la chapa

La resistencia nominal al corte por tornillo, P_{ns} , se debe determinar de la siguiente manera:

Para $t_2/t_1 \leq 1,0$ se tomará P_{ns} como el menor valor entre:

$$P_{ns} = 4,2 (t_2^3 d)^{0,5} F_{u2} (10)^{-1} \quad (\text{E.4.3.1-1})$$

$$P_{ns} = 2,7 t_1 d F_{u1} (10)^{-1} \quad (\text{E.4.3.1-2})$$

$$P_{ns} = 2,7 t_2 d F_{u2} (10)^{-1} \quad (\text{E.4.3.1-3})$$

Para $t_2/t_1 \geq 2,5$ se tomará P_{ns} como el menor valor entre

$$P_{ns} = 2,7 t_1 d F_{u1} (10)^{-1} \quad (\text{E.4.3.1-4})$$

$$P_{ns} = 2,7 t_2 d F_{u2} (10)^{-1} \quad (\text{E.4.3.1-5})$$

Para $1,0 < t_2/t_1 < 2,5$ se debe determinar P_{ns} interpolando linealmente entre los dos casos anteriores.

E.4.3.2.- Uniones sometidas a corte; limitación por la distancia a borde

La resistencia nominal al corte por tornillo P_{ns} , cuando la distancia al borde de la parte unida es paralela a la dirección de la fuerza será:

$$P_{ns} = t e F_u (10)^{-1} \quad (\text{E.4.3.2-1})$$
$$\phi = 0,45$$

siendo:

- t el espesor de la parte unida en la cual se considera la distancia al borde, en cm.
- e la distancia medida en la dirección de la fuerza desde el centro del agujero normal hasta el borde extremo de la parte unida, en cm.
- F_u la tensión de rotura a tracción del acero de la parte en la cual se mide la distancia al borde extremo, en MPa.

E.4.3.3. Resistencia al corte de los tornillos

La resistencia nominal al corte por tornillo se determinará de la siguiente forma:

$$P_{ns} = 0,8 P_{ss} \quad (\text{E.4.3.3-1})$$

E.4.4. Resistencia a la tracción

En el caso de los tornillos que soportan tracción, la cabeza del tornillo o la arandela (si se coloca arandela) deben tener un diámetro d_w mayor o igual que **7,94 mm**. Las arandelas deben tener un espesor mayor o igual que **1,27 mm**.

E.4.4.1. Arrancamiento

La resistencia nominal al arrancamiento, P_{not} , se determinará de la siguiente manera:

$$P_{not} = 0,85 t_c d F_{u2} (10)^{-1} \quad (\text{E.4.4.1-1})$$

siendo t_c el menor valor entre la profundidad de penetración y el espesor, t_2 .

E.4.4.2. Aplastamiento

La resistencia nominal al aplastamiento, P_{nov} , se debe calcular de la siguiente manera:

$$P_{nov} = 1,5 t_1 d_w F_{u1} (10)^{-1} \quad (\text{E.4.4.2-1})$$

siendo d_w el mayor valor entre el diámetro de la cabeza del tornillo y el diámetro de la arandela, no debiendo tomarse mayor que 12,7 mm.

E.4.4.3. Resistencia a la tracción de los tornillos

La resistencia nominal a la tracción, P_{nt} , por tornillo se debe determinar mediante

$$P_{nt} = 0,8 P_{ts} \quad (\text{E.4.4.3.1})$$

E.5. RESISTENCIA A LA ROTURA

E.5.1. Rotura por corte

En las uniones en los extremos de las vigas, donde una o más alas estén rebajadas y exista la posibilidad de falla a lo largo de un plano que atraviesa los agujeros, la resistencia nominal al corte, V_n , se calculará de la siguiente manera:

$$V_n = 0,6 F_u A_{wn} (10)^{-1} \quad (\text{E.5-1})$$
$$\phi = 0,75$$

siendo:

$$A_{wn} = (h_{wc} - nd_h) t \quad (\text{E.5-2})$$

h_{wc} la altura del alma rebajada, en cm.
 n el número de perforaciones en el plano crítico.
 d_h el diámetro del agujero, en cm.
 F_u la tensión de rotura a tracción de acuerdo con lo especificado en el artículo A.2.1, en MPa.
 t el espesor del alma rebajada, en cm.

E.5.2. Rotura por tracción

La resistencia nominal a la tracción a través de un camino de falla se debe determinar de acuerdo con los artículos E.2.7 o E.3.2 para uniones soldadas o abulonadas respectivamente.

E.5.3. Rotura de bloque de corte

La resistencia nominal a la rotura de bloque de corte, R_n , deberá determinar de la siguiente forma:

(a) Cuando $F_u A_{nt} \geq 0,6 F_u A_{nv}$

$$R_n = (0,6 F_y A_{gv} + F_u A_{nt}) (10)^{-1} \quad (\text{E.5.3-1})$$

(b) Cuando $F_u A_{nt} < 0,6 F_u A_{nv}$

$$R_n = (0,6 F_u A_{nv} + F_y A_{gt}) (10)^{-1} \quad (\text{E.5.3-2})$$

Para determinar la resistencia de diseño se adoptará:

$\phi = 0,65$ para uniones abulonadas.

$\phi = 0,60$ para uniones soldadas.

siendo:

- A_{gv} el área bruta solicitada a corte, en cm^2 .
- A_{gt} el área bruta solicitada a tracción, en cm^2 .
- A_{nv} el área neta solicitada a corte, en cm^2 .
- A_{nt} el área neta solicitada a tracción, en cm^2 .
- ϕ el factor de resistencia.

E.6. UNIONES CON OTROS MATERIALES

E.6.1. Apoyos

Se deben tomar medidas adecuadas para transferir las reacciones de apoyo de los miembros estructurales de acero cubiertos por este Reglamento hacia los componentes estructurales adyacentes fabricados con materiales diferentes.

E.6.2. Tracción

Se deben considerar tanto las fuerzas de arrancamiento por corte o por tracción en la chapa de acero alrededor de la cabeza del medio de unión como la fuerza de arrancamiento debida a las cargas axiales y momentos flectores transmitidos al medio de unión desde los diferentes componentes estructurales del conjunto adyacentes al mismo.

La resistencia nominal a la tracción del medio de unión y la longitud nominal de anclaje en el componente estructural adyacente, se determinarán de acuerdo con los códigos de

material aplicables, con las especificaciones de los productos y/o con la bibliografía sobre el producto.

E.6.3. Corte

Se deben tomar medidas adecuadas para transferir los esfuerzos de corte de los componentes de acero cubiertos por este Reglamento hacia los componentes estructurales adyacentes fabricados de diferentes materiales. La resistencia al corte requerida y/o la resistencia de apoyo requerida para los componentes de acero no debe ser mayor que la resistencia de diseño determinada por este Reglamento. Se deben cumplir los requisitos sobre anclaje. También se deben considerar adecuadamente los esfuerzos de corte combinadas con otros esfuerzos.

CAPÍTULO F. ENSAYOS PARA CASOS ESPECIALES

Los ensayos deben ser realizados por un laboratorio de ensayos independiente o por un laboratorio de ensayos de un fabricante, ambos debidamente calificados.

Los requisitos de este Capítulo **no son de aplicación a los diafragmas de acero conformado en frío**. Ver el artículo D.5.

F.1. ENSAYOS PARA DETERMINAR EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL

Cuando se requiera determinar el comportamiento estructural mediante ensayos, se deberán seguir los procedimientos que se indican a continuación:

- (a) La evaluación de los resultados de los ensayos se deberá efectuar en función de los valores promedio de los datos obtenidos del ensayo de no menos de tres muestras idénticas, siempre que ninguna de las desviaciones de los resultados de los ensayos con respecto al valor promedio obtenido de todos los ensayos supere **± 10 por ciento**. Si dicha desviación del valor promedio es superior a **± 10 por ciento**, se deben efectuar más ensayos del mismo tipo hasta que ninguna de las desviaciones de los ensayos individuales con respecto al valor promedio obtenido de todos los ensayos supere **± 10 por ciento**, o hasta que se hayan efectuado al menos tres ensayos adicionales. No se debe eliminar ningún resultado de ensayo a menos que sea posible justificar racionalmente su exclusión. El valor medio de todos los ensayos realizados será considerado como la resistencia nominal, R_n , para la serie de ensayos, si ninguna de las desviaciones supera **± 10 por ciento**. Si la dispersión superara ese valor, se tomará como R_n para la serie de ensayos, el promedio de los tres valores individuales más bajos. El coeficiente de variación V_p de los resultados de ensayo se deben determinar mediante análisis estadístico.
- (b) La resistencia de los elementos, conjuntos, uniones o elementos ensayados debe satisfacer la siguiente expresión.

$$\sum \gamma_i Q_i \leq \phi R_n \quad (\text{F.1.-1})$$

siendo:

$\sum \gamma_i Q_i$ la resistencia requerida determinada para la combinación de acciones crítica, de acuerdo con el artículo A.4.3. γ_i y Q_i son los factores de carga y los efectos de las cargas, respectivamente.

R_n la resistencia nominal de las series de ensayo.

ϕ el factor de resistencia.

$$\phi = 1,42(Mm Fm Pm) e^{-\beta_o \sqrt{V_M^2 + V_F^2 + C_p V_P^2 + V_Q^2}} \quad (\text{F.1.-2})$$

Para vigas con el ala traccionada unida a un tablero o revestimiento y con el ala comprimida sin arriostramiento lateral, ϕ se debe determinar con $C_\phi = 1,42$; $\beta_o = 3$ y $V_Q = 0,21$.

M_m	el valor promedio del factor de material, M , listado en la Tabla F.1-1 para el tipo de componente involucrado.
F_m	el valor promedio del factor de fabricación, F , listado en la Tabla F.1-1 para el tipo de componente involucrado.
P_m	el valor promedio del factor profesional, P , para el componente ensayado. $P_m = 1,0$
β_o	el índice de confiabilidad. $\beta_o = 2,5$ para los elementos estructurales y $\beta_o = 3,5$ para las uniones.
V_M	el coeficiente de variación del factor de material indicado en la Tabla F.1-1 para el tipo de componente involucrado.
V_F	el coeficiente de variación del factor de fabricación indicado en la Tabla F.1-1 para el tipo de componente involucrado
C_P	el factor de corrección. $C_P = (1 + 1/n) \cdot m / (m - 2)$ para $n \geq 4$; y $C_P = 5,7$ para $n = 3$ (F.1-3)
V_P	el coeficiente de variación de los resultados de ensayo, mayor o igual que 6,5%.
m	los grados de libertad. $m = n - 1$.
N	el número de ensayos.
V_Q	el coeficiente de variación del efecto de carga. $V_Q = 0,21$.
e	la base de los logaritmos naturales. $e = 2,718$.

Los valores indicados de la Tabla F.1-1 no excluyen la utilización de otros datos estadísticos documentados siempre que hayan sido establecidos a partir de resultados suficientes de las propiedades de los materiales y la fabricación.

Para aceros que no estén indicados en el artículo A.2.1, los valores de M_m y V_M se deben determinar mediante análisis estadístico de los materiales utilizados.

Cuando la distorsión interfiera con el adecuado funcionamiento de la muestra en su uso real, los efectos de las cargas basados en la combinación crítica para una aceptable distorsión, también deberán satisfacer la expresión (F.1-1) pero con un factor de resistencia $\phi = 1$ y un factor de carga para carga permanente D igual a 1.

- (c) Si la tensión de fluencia del acero con el cual se conformaron las secciones de ensayo es mayor que el valor especificado, los resultados de ensayo se deberán ajustar para reducirlos hasta la tensión de fluencia especificada del acero que utilizará el fabricante. Los resultados de ensayo no se deben ajustar a un valor mayor si la tensión de fluencia de la muestra de ensayo es menor que la tensión de fluencia especificada. Si el factor crítico es la tensión de rotura a tracción, se deben realizar ajustes similares en función de la tensión de rotura a tracción en vez de la tensión de fluencia.

También se debe considerar cualquier variación o diferencia que pudiera existir entre el espesor de cálculo y el espesor de las muestras ensayadas.

TABLA F.1-1. Datos estadísticos para la determinación del Factor de Resistencia

Tipo de componente	M_m	V_M	F_m	V_F
Rigidizadores transversales	1,10	0,10	1,00	0,05
Rigidizadores de corte	1,00	0,06	1,00	0,05
Elementos traccionados	1,10	0,10	1,00	0,05
Elementos flexionados				
• Resistencia a la flexión	1,10	0,10	1,00	0,05
• Resistencia al pandeo lateral	1,00	0,06	1,00	0,05
• Un ala unida a tablero o revestimiento	1,10	0,10	1,00	0,05
• Resistencia al corte	1,10	0,10	1,00	0,05
• Combinación de flexión y corte	1,10	0,10	1,00	0,05
• Resistencia al pandeo localizado del alma	1,10	0,10	1,00	0,05
• Combinación de flexión y pandeo localizado del alma	1,10	0,10	1,00	0,05
Elementos axilmente comprimidos	1,10	0,10	1,00	0,05
Combinación de compresión y flexión	1,05	0,10	1,00	0,05
Elementos tubulares cilíndricos				
• Resistencia a la flexión	1,10	0,10	1,00	0,05
• Compresión axial	1,10	0,10	1,00	0,05
Montantes para tabiques y conjuntos de montantes para tabiques				
• Montantes en tabiques comprimidos	1,10	0,10	1,00	0,05
• Montantes en tabiques flexados	1,10	0,10	1,00	0,05
• Montantes en tabiques sometidos a carga axial y flexión	1,05	0,10	1,00	0,05
Elementos estructurales no indicados arriba	1,00	0,10	1,00	0,05

Tipo de componente	M_m	V_M	F_m	V_F
Uniones soldadas				
• Soldadura de Tapón				
Resistencia al corte	1,10	0,10	1,00	0,10
Falla de la chapa	1,10	0,08	1,00	0,15
• Soldadura de Costura				
Resistencia al corte	1,10	0,10	1,00	0,10
Desgarramiento de chapa	1,10	0,10	1,00	0,10
• Soldaduras de filete				
Resistencia al corte	1,10	0,10	1,00	0,10
Falla de chapa	1,10	0,08	1,00	0,15
• Soldaduras a tope acampanada				
Resistencia al corte	1,10	0,10	1,00	0,10
Falla de chapa	1,10	0,10	1,00	0,10
• Soldaduras de resistencia por puntos	1,10	0,10	1,00	0,10
Uniones abulonadas				
• Separación mínima y distancia a los bordes	1,10	0,08	1,00	0,05
• Resistencia a la tracción en la sección neta	1,10	0,08	1,00	0,05
• Resistencia al aplastamiento	1,10	0,08	1,00	0,05
Uniones atornilladas				
• Separación mínima y distancia a los bordes	1,10	0,10	1,00	0,10
• Resistencia a la tracción en la sección neta	1,10	0,10	1,00	0,10
• Resistencia al aplastamiento	1,10	0,10	1,00	0,10
Uniones no indicadas arriba	1,10	0,10	1,00	0,15

F.2. ENSAYOS PARA CONFIRMAR EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL

En el caso de los elementos estructurales, uniones y conjuntos estructurales para los cuales la resistencia nominal se puede calcular de acuerdo con este Reglamento o de acuerdo con sus referencias específicas, es posible llevar a cabo ensayos de confirmación para demostrar que la resistencia no es menor que la resistencia nominal R_n , especificada en este Reglamento o en sus referencias específicas para el tipo de comportamiento involucrado.

F.3. ENSAYOS PARA DETERMINAR PROPIEDADES MECÁNICAS

F.3.1. Sección bruta

Los ensayos para determinar las propiedades mecánicas de las secciones brutas a utilizar en el artículo A.2.8.2 se deben efectuar como se especifica a continuación:

- (a) Los procedimientos de ensayo para determinar la resistencia a la tracción deben estar de acuerdo con las normas IRAM correspondientes. Las determinaciones de la tensión de fluencia a compresión se deben efectuar por medio de ensayos de compresión de muestras cortas de la sección.
- (b) La tensión de fluencia a compresión se debe tomar como el menor valor entre la máxima resistencia a la compresión de las secciones dividida por el área de la sección transversal, y la tensión definida mediante uno de los métodos siguientes:
 - (1) En el caso de acero de fluencia marcada (con zócalo de fluencia), la tensión de fluencia se debe determinar mediante el método del diagrama de carga o de la deformación total bajo carga.
 - (2) En el caso de acero de fluencia gradual, el límite de fluencia se debe determinar mediante el método de deformación bajo carga o mediante el método del 0,2% de deformación específica.
- (c) Si el efecto principal de las cargas a las cuales estará sometida el elemento en servicio es de flexión, la tensión de fluencia se debe determinar sólo para las alas. Para dicha determinación cada muestra debe consistir de un ala completa más una porción del alma de una relación de ancho plano tal que el valor de ρ para la muestra sea igual a la unidad.
- (d) Para propósitos de control y aceptación, se debe efectuar un ensayo de la sección bruta de cada lote.
- (e) A opción del fabricante, para propósitos de control y aceptación, se pueden utilizar ensayos de tracción o de compresión, siempre que el fabricante demuestre de manera confiable que dichos ensayos indican la tensión de fluencia de la sección cuando está sometida al tipo de tensiones bajo las cuales se utilizará el elemento.

F.3.2. Elementos planos de secciones conformadas

Los ensayos para determinar las propiedades de los elementos planos de las secciones conformadas y representativas de las propiedades mecánicas del acero virgen a utilizar en el artículo A.2.8.2 se deben efectuar conforme a los siguientes requisitos:

La tensión de fluencia de las chapas, F_{yf} , se debe establecer mediante un promedio ponderado de los límites de fluencia de muestras de acero corrientes ensayadas a tracción y tomadas longitudinalmente de las porciones planas de un elemento conformado en frío representativo. El promedio ponderado será la sumatoria de los productos de la tensión de fluencia promedio para cada parte plana por el área de su sección transversal, dividido por el área total de los elementos planos en la sección transversal. La cantidad exacta de estas muestras de acero dependerá de la forma del elemento, es decir, del número de chapas en la sección transversal. Se debe tomar al menos una muestra de acero para ensayo a tracción del medio de cada elemento plano. Si el límite de fluencia real del acero virgen es mayor que el límite de fluencia especificado, el límite de fluencia de las partes planas, F_{yf} , se deberá ajustar multiplicando el valor obtenido mediante ensayo por la relación entre el límite de fluencia especificado y el límite de fluencia real del acero virgen.

F.3.3. Acero virgen

Los siguientes requisitos se deben aplicar al acero producido utilizando normas diferentes a las mencionadas en el artículo A.2.1 cuando se utiliza en secciones para las cuales la tensión de fluencia incrementada del acero luego del conformado en frío, se calcula a partir de las propiedades del acero virgen de acuerdo con el artículo A.2.8.2.

Para propósitos de control y aceptación, se deben tomar al menos cuatro muestras para ensayar a la tracción de cada lote para establecer los valores representativos de la tensión de fluencia a tracción y la resistencia a tracción del acero. Las muestras se deben tomar longitudinalmente de los puntos correspondientes al cuarto del ancho cerca del extremo exterior de la bobina.

INTI

INSTITUTO NACIONAL DE
TECNOLOGÍA INDUSTRIAL



CIRSOC

CENTRO DE INVESTIGACIÓN DE LOS
REGLAMENTOS NACIONALES DE
SEGURIDAD PARA LAS OBRAS CIVILES