

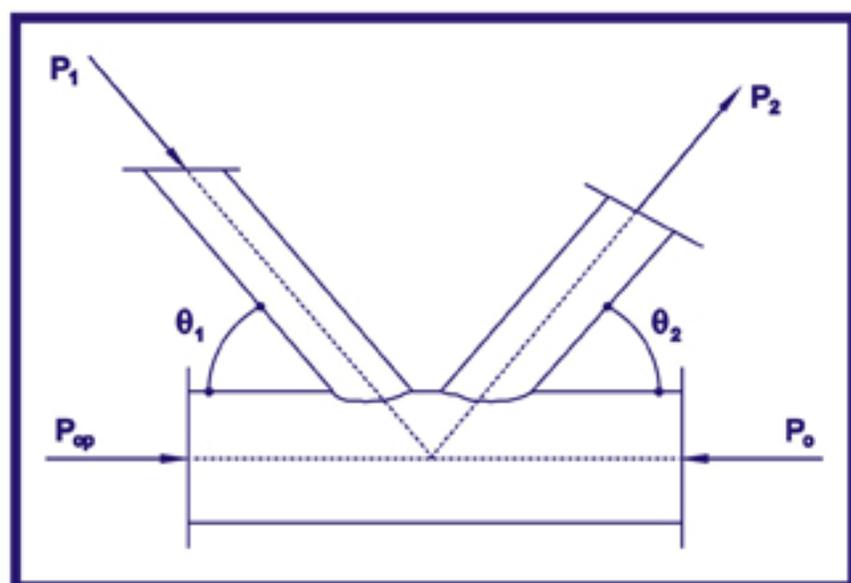
INTI

Instituto Nacional de
Tecnología Industrial



CIRSOC

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



COMENTARIOS AL
REGLAMENTO ARGENTINO DE
ELEMENTOS ESTRUCTURALES
DE TUBOS DE ACERO
PARA EDIFICIOS

Julio 2005

***COMENTARIOS AL
REGLAMENTO ARGENTINO DE
ELEMENTOS ESTRUCTURALES
DE TUBOS DE ACERO
PARA EDIFICIOS***

EDICIÓN JULIO 2005



Balcarce 186 1° piso - Of. 138
(C1064AAD) Buenos Aires – República Argentina
TELEFAX. (54 11) 4349-8520 / 4349-8524

E-mail: cirsoc@inti.gob.ar
cirsoc@mecon.gov.ar

INTERNET: www.inti.gob.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. 4313-3013

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
Instituto Argentino de Normalización
Techint
Acindar

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

***ASESOR QUE INTERVINO EN LA REDACCIÓN
DE LOS COMENTARIOS AL***

***REGLAMENTO ARGENTINO DE
ELEMENTOS ESTRUCTURALES
DE TUBOS DE ACERO
PARA EDIFICIOS***

CIRSOC 302

Ing. Gabriel 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., PROFE-SORA 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
Ing. Faustino Amelong ACINDAR S. A.

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. Eduardo Asta	INVITADO ESPECIAL

Reconocimiento Especial

El INTI-CIRSOC agradece muy especialmente a las Autoridades del American Institute of Steel Construction (AISC), del Steel Tube Institute of North American (STI) y del American Iron and Steel Institute (AISI) por habernos permitido adoptar como base para el desarrollo de este Reglamento, el documento Hollow Structural Sections (HSS) Connections Manual - AISC Specification for the Design of Steel Hollow Structural Sections.

SIMBOLOGÍA

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

- A** área usada para el cálculo de A_e , en cm^2 . (2.1.).
- A_{ef}** área efectiva del tubo, en cm^2 . (4.2.).
- A_g** área bruta de la sección transversal, en cm^2 . (2.1.).
- A_{go}** área bruta del cordón de una viga reticulada, en cm^2 . (9.4.2.1.).
- A_e** área neta efectiva para barras traccionadas, en cm^2 . (2.1.).
- A_n** área neta, en cm^2 . (2.1.).
- A_o** área encerrada por la línea media del espesor de pared en tubos **RHS**, en cm^2 . (5.1.2.).
- A_{vo}** área resistente al esfuerzo de corte en un cordón **RHS** de viga reticulada en cm^2 . (Tabla 9.4.7).
- A_w** área de almas en cm^2 . (5.2.).
- B** ancho exterior total del tubo rectangular, en cm. (2.1.).
- B_b** ancho de la pared de la barra de alma que es transversal al eje del cordón, en cm. (9.2.5.).
- B_o** ancho del ala del cordón doble Te, en cm. (9.4.4.1.).
- B_p** ancho de la placa de refuerzo, en cm. (9.4.5.1.).
- C** constante torsional del tubo, en cm^3 . (6.1.).
- C_d** coeficiente para aplastamiento de la chapa en los agujeros. (9.1.1.).
- C_b** coeficiente de flexión dependiente del diagrama de momento flexor. (5.1.2.).
- C_{mp}** factor de corrección para nudos multiplano respecto a nudo plano. (Tabla 9.4.5).
- D** diámetro exterior del tubo circular, en cm. (2.1.).
- D_b** diámetro de la barra de alma, en cm. (9.4.2.).
- E** módulo de elasticidad longitudinal del acero, en MPa. (1.3.4.).

- F_{cr}**
- tensión crítica a pandeo flexional, en MPa. (4.2.).
 - tensión crítica de corte por torsión, en MPa. (6.1.)
 - tensión crítica en pared lateral de tubo rectangular en nudo sujeto a flexión, en MPa. (Tabla 9.4.11).
- F_{EXX}** resistencia mínima especificada del electrodo según clasificación, en MPa. (9.2.3.).
- F_n** tensión nominal a corte para tubos rectangulares, en MPa. (5.2.).
- F_u** tensión de rotura a tracción especificada, en MPa. (3.1.).
- F_{ur}** resistencia requerida por bulón, en kN. (9.5.2.1.).
- F_{vcr}** tensión crítica de corte para tubos circulares, en MPa. (5.2.).
- F_y** tensión de fluencia especificada del acero, en MPa. (2.2.).
- F_{y1}** tensión de fluencia especificada del acero de la placa cargada, en MPa. (8.1.).
- F_{ybr}** tensión de fluencia especificada del acero de la brida, en MPa. (9.5.1.).
- F_{yi}** tensión de fluencia especificada del acero de la barra del alma, en MPa. (9.4.3.).
- F_{yo}** tensión de fluencia especificada del acero del cordón, en MPa. (9.4.2.1.).
- F_{yp}** tensión de fluencia especificada del acero de la placa de refuerzo, en MPa. (9.4.5.1.).
- H** altura exterior total del tubo rectangular, en cm. (2.1.).
- H_b** ancho de la pared de la barra del alma que es paralela al eje del cordón, en cm. (9.2.5.).
- H_o** altura total del cordón doble Te, en cm. (9.4.4.1.).
- H_p** altura de la placa lateral de refuerzo, en cm. (9.4.5.2.).
- J** módulo de torsión de la sección transversal, en cm^4 . (5.1.2.).
- K** factor para obtener resistencia de diseño en brida abulonada, en 1/MPa. (9.5.2.1.).
- L**
- longitud real de la barra no arriostrada, en cm. (2.3.).
 - luz de la viga, en cm. (5.2.).
 - longitud de la soldadura, en cm. (9.2.3.).
- L_b** distancia entre puntos de arriostramiento contra el desplazamiento lateral del ala comprimida o entre puntos de arriostramiento para impedir la torsión de la sección transversal, en cm. (5.1.2.).
- L_c** distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o el borde del material, en cm. (9.1.1.(e)).

L_e	longitud efectiva de la soldadura en uniones directas (tubos rectangulares), en cm. (9.2.5.).
L_p	longitud lateralmente no arriostrada límite definida en el artículo 5.1.2., en cm. (5.1.2.).
L_p	longitud de la placa de refuerzo, en cm. (9.4.5.1.).
L_{pd}	longitud lateralmente no arriostrada límite definida en el artículo 5.1.4., en cm. (5.1.4.).
L_r	longitud lateralmente no arriostrada límite definida en el artículo 5.1.2., en cm. (5.1.2.).
M_{cr}	momento crítico elástico de la sección, en kNm. (5.1.2.).
M_{dn}	resistencia de diseño a momento de una barra de alma, en kNm. (9.4.2.).
M_{dnii}	resistencia de diseño de nudo a momento en el plano de la barra i , en kNm. (9.4.3.2.).
M_{dnoi}	resistencia de diseño de nudo a momento fuera del plano de la barra i , en kNm. (9.4.3.2.).
M_n	resistencia nominal a flexión, en kNm. (5.1.).
$M_{máx}$	valor absoluto del máximo momento flexor en el segmento no arriostrado, en kNm. (5.1.2.).
M_p	momento plástico de la sección, en kNm. (5.1.1.).
M_r	momento límite de pandeo-lateral elástico de la sección, en kNm. (5.1.1.).
M_u	resistencia requerida a flexión de la viga, en kNm. (7.1.).
M_{uii}	resistencia requerida a momento en el plano de la barra i , en kNm. (9.4.2.2.).
M_{dnii}	resistencia requerida a momento fuera del plano de la barra i , en kNm. (9.4.2.2.).
M_{ur}	resistencia requerida a flexión resultante en tubos circulares, en kNm. (7.1.).
M_y	momento elástico de la sección, en kNm. (5.1.1.).
M_A	valor absoluto del momento flexor en la sección ubicada a un cuarto de la luz del segmento no arriostrado, en kNm. (5.1.2.).
M_B	valor absoluto del momento flexor en la sección ubicada a la mitad de la luz del segmento no arriostrado, en kNm. (5.1.2.).
M_C	valor absoluto del momento flexor en la sección ubicada a tres cuartos de la luz del segmento no arriostrado, en kNm. (5.1.2.).
M_o	momento flexor requerido en el cordón de un reticulado, en kNm. (9.4.2.1.).
M_1	menor momento flexor en valor absoluto en un extremo del segmento no arriostrado considerado, en kNm. (5.1.4.).

- M_2 mayor momento flexor en valor absoluto en un extremo del segmento no arriostrado considerado, en kNm. (5.1.4.).
- N longitud de apoyo de la fuerza medida a lo largo del tubo, en cm. (8.1.).
- P_{dn} resistencia de diseño de nudo a fuerza axil de barra del alma, en kN. (9.4.2.).
- P_{op} menor resistencia axil requerida del cordón a ambos lados del nudo, en kN. (9.4.2.1.).
- P_n resistencia nominal a fuerza axil, en kN. (3.1.).
- P_u resistencia axil requerida, en kN. (7.1.).
- Q factor de reducción por pandeo local. (4.2.).
- Q_f función que refleja el pretensado del cordón para tubos rectangulares. (9.4.3.).
- Q_β parámetro usado en nudos de tubos circulares definido en Tabla 9.4-2. (9.4.2.1.).
- R radio de esquina exterior de un **RHS**, en cm. (8.1.).
- R_{dbt} resistencia de diseño a tracción de bulón, en kN. (9.5.1.).
- R_n resistencia nominal a fuerza concentrada en un tubo, en kN. (8.1.).
- S módulo elástico de la sección transversal, en cm^3 . (5.1.1.).
- S_{eff} módulo elástico resistente de la sección efectiva, en cm^3 . (5.1.3.).
- T_n resistencia nominal a la torsión, en kNm. (6.1.).
- T_u resistencia requerida a torsión, en kNm. (7.2.).
- U factor de retraso de corte. (2.1.).
- V_{dpo} resistencia de diseño a corte de cordón **RHS** en viga reticulada, kN. (Tabla 9.4.7).
- V_n resistencia nominal al corte, en kN. (5.2.).
- V_u resistencia requerida a corte, en kN. (7.2.).
- V_{uo} resistencia requerida a corte en un cordón **RHS** en viga reticulada, en kN. (Tabla 9.4.7).
- Z módulo plástico de la sección transversal, en cm^3 . (5.1.1.).
- a distancia desde centro de agujero a borde de brida, en cm. (9.5.2.1.).
- a_e distancia efectiva entre centro de agujero y borde de brida, en cm. (9.5.2.1.).
- b en un tubo **RHS**, distancia libre entre almas menos dos veces el radio interno de esquina. Se permite tomar $b = B - 3t$, en cm. (2.2.1.).

- b*** distancia desde centro de agujero de brida a borde externo del tubo, en cm. (9.5.2.1.).
- b'*** distancia desde centro de agujero de brida a la cara interna de la pared del tubo, en cm. (9.5.2.1.).
- b_e*** ancho efectivo de ala en ***RHS***, en cm. (4.2.).
función usada en uniones directas de tubos definida en Tabla 9.4.7.
- b_{eff}*** función definida en la Tabla 9.4.14.
- b_{ep}*** función usada en uniones directas de tubos definida en Tabla 9.4.7.
- b_{ei(ov)}*** función usada en uniones directas de tubos definida en Tablas 9.4.9 y 9.4.14.
- b_p*** ancho de la chapa medido perpendicularmente a la dirección de la fuerza, en cm. (2.1.).
- b_t*** ancho total de material removido al ejecutar la ranura en uniones de chapa de nudo y tubo ranurado, en cm. (2.1.).
- b_w*** función definida en la Tabla 9.4.14.
- b₁*** ancho de la placa cargada, en cm. (8.1.).
- d*** diámetro del bulón, en cm. (9.1.1.(a)).
- d_b*** diámetro del bulón, en cm. (9.5.1.).
- d_w*** altura del alma del perfil doble Te del cordón, en cm. (9.4.4.1.).
- d_w*** lado de la soldadura de filete de unión de tubo y brida, en cm. (9.5.1.).
- e*** excentricidad del nudo, en cm. (9.4.1.).
- e₁*** distancia entre borde del tubo y centro de agujero del bulón en brida, en cm. (9.5.1.).
- e₂*** distancia entre el centro del agujero y el borde de la brida, en cm. (9.5.1.).
- f*** tensión, en MPa. (4.2.).
- f₃*** parámetro adimensional obtenido de la Figura 9.5.2. (9.5.1.).
- g*** espaciamiento en nudos K y N en reticulados, en cm. (9.4.1.).
- h*** en un tubo ***RHS*** distancia libre entre alas menos dos veces el radio interno de esquina.
Se permite adoptar $h = H - 3t$, en cm. (2.2.1.).
- i*** índice utilizado para designar a las barras del alma en un reticulado. (9.4.2.1.).
- k*** factor de longitud efectiva. (4.2.).

k_g	función para nudos con espaciado definida en la Tabla 9.4.2. (9.4.2.1).
k_p	función que refleja el pretensado del cordón para tubos circulares. (9.4.2.1).
m_f	factor de modificación para aplastamiento de la chapa. (9.1.1.).
n	número de bulones de la unión. (9.5.2.1.).
n_p	relación de pretensado del cordón en una viga reticulada. (9.4.2.1.).
n_1	número de agujeros en la línea perpendicular a la fuerza. (2.1.).
p	proyección del diámetro D_b de la barra de alma que recubre sobre la pared del cordón en un nudo con recubrimiento, en cm. (9.4.2.1.).
p	paso de bulones, en cm. (9.5.2.1.).
q	espaciado negativo en un nudo con recubrimiento, en cm. (9.4.2.1.).
r	radio de giro de la sección transversal, en cm. (4.2.).
r	radio de acuerdo entre ala y alma del perfil doble Te del cordón, en cm. (9.4.4.1.).
r_y	radio de giro de la sección con respecto al eje y , en cm. (5.1.2.).
t	espesor de la pared del tubo, en cm. (2.2.1.).
t_b	espesor de la pared de la barra del alma, en cm. (9.4.2.1.).
t_{br}	espesor de la brida, en cm. (9.5.1.).
t_p	espesor de la placa, en cm. (9.3.3.).
t_f	espesor del ala del perfil doble Te del cordón, en cm. (9.4.4.1.).
t_w	espesor efectivo de garganta de la soldadura, en cm. (9.2.3.).
t_w	espesor del alma del perfil doble Te del cordón, en cm. (9.4.4.1.).
t_1	espesor de la placa cargada, en cm. (8.1.).
\bar{x}	excentricidad para retraso de corte, en cm. (2.1.).
x	subíndice relativo al eje de flexión. (7.1.).
y	subíndice relativo al eje de flexión. (7.1.).
α	parámetro que mide la colaboración del ala en la resistencia a corte en un cordón RHS , definido en la Tabla 9.4.7.
α	parámetro utilizado para determinar la resistencia requerida de un bulón con efecto palanca. (9.5.2.1.).

α'	parámetro adimensional utilizado para obtener la Resistencia de diseño de unión con brida. (9.5.2.1.).
β	relación de ancho en nudos. (9.4.2.1.).
β_p	relación de ancho en nudos con placa de refuerzo de ala. (9.4.5.4.).
γ	relación de esbeltez del cordón. (9.4.2.1.).
δ	relación entre el área neta en la línea de bulones de la brida y el área bruta junto a la cara del tubo. (9.5.2.1.).
ϕ	factor de resistencia. (7.1.).
ϕ_b	factor de resistencia a flexión. (5.1.).
ϕ_c	factor de resistencia a compresión. (4.2.).
ϕ_t	factor de resistencia a tracción. (3.1.).
ϕ_v	factor de resistencia a corte. (5.2.).
ϕ_T	factor de resistencia a torsión. (6.1.).
λ	relación de esbeltez de pared. (2.2.1.).
λ_c	factor de esbeltez adimensional de barras comprimidas. (4.2.).
λ_{ov}	relación de recubrimiento en nudos con tubos. (9.4.2.1.).
λ_p	relación ancho-espesor límite para elemento compacto. (2.2.1.).
λ_{pp}	relación ancho-espesor límite para elementos comprimidos de secciones de barras de estructuras de edificios que sean rótulas plásticas para un análisis global plástico. (Tabla 2.2.1).
λ_r	relación ancho-espesor límite para elemento no compacto. (2.2.1.).
θ	menor ángulo entre barra de alma y cordón, en grados sexagesimales. (9.2.5.).
ψ	ángulo entre planos en nudos multiplano, en grados sexagesimales. (Tabla 9.4.5).
η	factor en aplastamiento de la chapa en los agujeros. (9.1.1.).

ÍNDICE COMENTARIOS

SIMBOLOGÍA

COMENTARIOS AL CAPÍTULO 1. ESPECIFICACIONES GENERALES

C 1.1. INTRODUCCIÓN	1
C 1.2. CAMPO DE VALIDEZ	1
C 1.3. MATERIALES - NORMAS IRAM E IRAM-IAS DE APLICACIÓN	3
C 1.4. DIMENSIONES DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL	3
C 1.5. ACCIONES Y COMBINACIÓN DE ACCIONES	4
C 1.6. BASES DE PROYECTO	4
C 1.7. ANÁLISIS ESTRUCTURAL Y ESTABILIDAD	4

COMENTARIOS AL CAPÍTULO 2. REQUERIMIENTOS DEL PROYECTO

C 2.1. ÁREA NETA EFECTIVA PARA BARRAS TRACCIONADAS	5
C 2.2. PANDEO LOCAL	5

COMENTARIOS AL CAPÍTULO 3. BARRAS TRACCIONADAS

C 3.1. RESISTENCIA DE DISEÑO A TRACCIÓN	7
---	---

COMENTARIOS AL CAPÍTULO 4. BARRAS COMPRIMIDAS

C 4.1. LONGITUD EFECTIVA Y LIMITACIÓN DE ESBELTECES	9
C 4.2. RESISTENCIA DE DISEÑO A LA COMPRESIÓN	9

COMENTARIOS AL CAPÍTULO 5. VIGAS Y OTRAS BARRAS EN FLEXIÓN

C 5.1. RESISTENCIA DE DISEÑO A FLEXIÓN	15
C 5.2. RESISTENCIA DE DISEÑO A CORTE	16

COMENTARIOS AL CAPÍTULO 6. BARRAS SOMETIDAS A TORSIÓN

C 6.1. RESISTENCIA DE DISEÑO A TORSIÓN	19
--	----

COMENTARIOS AL CAPÍTULO 7. BARRAS SOMETIDAS A SOLICITACIONES COMBINADAS Y TORSIÓN

C 7.1. BARRAS SOMETIDAS A FUERZA AXIL Y FLEXIÓN	23
C 7.2. BARRAS SOMETIDAS A SOLICITACIONES COMBINADAS DE TORSIÓN, CORTE, FLEXIÓN Y/O FUERZA AXIL	23

COMENTARIOS AL CAPÍTULO 8. FUERZAS CONCENTRADAS SOBRE TUBOS

COMENTARIOS AL CAPÍTULO 9. UNIONES, JUNTAS Y MEDIOS DE UNIÓN

C 9.1. BULONES, BARRAS ROSCADAS Y OTROS PASADORES	27
C 9.1.2. Pasadores especiales	29
C 9.1.3. Pasadores traccionados	30
C 9.2. SOLDADURA	30
C 9.2.1. Disposiciones generales	30
C 9.2.2. Soldaduras a tope de borde recto	30
C 9.2.3. Soldaduras a tope acampanadas	30
C 9.2.4. Soldaduras de filete	31
C 9.2.5. Soldadura de uniones directas	31
C 9.3. OTRAS ESPECIFICACIONES PARA UNIONES	32
C 9.4. UNIONES DIRECTAS DE TUBOS EN RETICULADOS	33
C 9.4.2. Nudos soldados entre tubos circulares	34
C 9.4.3. Nudos soldados entre barras de alma de sección circular, cuadrada o rectangular y cordón de sección cuadrada o rectangular	36
C 9.4.4. Nudos soldados entre barras de alma de sección circular, cuadrada o rectangular y cordón de sección doble Te	40
C 9.4.5. Uniones soldadas con placas de refuerzo	40
C 9.5. UNIONES CON BRIDAS ABULONADAS Y SOMETIDAS A TRACCIÓN	41
C 9.6. BARRAS DE ALMA DE SECCIÓN CIRCULAR CON EXTREMOS APLASTADOS	43

COMENTARIOS AL CAPÍTULO 10. FABRICACIÓN DE ESTRUCTURAS TUBULARES

BIBLIOGRAFÍA

COMENTARIOS AL CAPÍTULO 1.

ESPECIFICACIONES GENERALES

C 1.1. INTRODUCCIÓN

Este Reglamento adopta como base el documento *Specification for the Design of Steel Hollow Structural Sections (AISC, HSS)* en su versión de 1997. Esta Especificación es un suplemento de la versión 1993 de la Especificación AISC-LRFD para el Diseño de Estructuras de Acero para Edificios.

El Reglamento *CIRSOC 302* es un complemento del *Reglamento CIRSOC 301-2005, Reglamento Argentino de Estructuras de Acero para Edificios* y dado que la base de este último es la versión 1999 de la citada Especificación AISC-LRFD, se han incorporado las modificaciones pertinentes contenidas en ella y las modificaciones y adaptaciones incorporadas en el *Reglamento CIRSOC 301-2005*, que se apartan de la Especificación base.

Para mantener el formato del *Reglamento CIRSOC 301-2005*, tanto el Reglamento como sus Comentarios se han dividido en Capítulos numerados que se corresponden con las Secciones de la Especificación base. Se ha mantenido en lo posible la numeración de los artículos y de las expresiones, siguiendo el mismo criterio utilizado en el Reglamento CIRSOC 301-2005.

Para el uso de unidades y de expresiones que contienen el módulo E en forma explícita, se ha utilizado el mismo criterio del *Reglamento CIRSOC 301-2005*. En el *Anexo I* se presentan todas las expresiones contenidas en este Reglamento con el valor de E ya incluido ($E = 200000 \text{ MPa}$) y con la misma numeración pero con un asterisco (*).

En el Anexo II se presentan las expresiones para determinar los parámetros geométricos y mecánicos de los secciones tubulares, utilizados en este Reglamento.

Los comentarios referidos a la aplicación de las prescripciones del Reglamento y al Proyecto por el Método de Factores de Carga y de Resistencia contenidos en los Comentarios del *Reglamento CIRSOC 301-2005*, Sección *A.1.*, se consideran válidos.

C 1.2. CAMPO DE VALIDEZ

Los elementos estructurales comprendidos en este Reglamento son los realizados con barras de acero estructural con secciones huecas de espesor de pared constante y sección transversal constante en toda su longitud, de forma circular o rectangular (incluye cuadrada) con sus esquinas redondeadas. Los tubos son obtenidos por un proceso industrial y deben satisfacer normas específicas referidas al material, al proceso de fabricación, a sus características mecánicas, a tolerancias dimensionales, etc. Pueden ser sin costura o conformados en frío a partir de chapas y flejes, y soldados por resistencia eléctrica con un

cordón longitudinal (con costura). Las secciones tubulares armadas con elementos planos soldados (secciones cajón) están incluidas en el Reglamento CIRSOC 301-2005.

Este Reglamento es de aplicación a los tubos de acero que forman parte de estructuras resistentes. Es aplicable sólo a tubos que no tengan sus paredes rigidizadas. No es aplicable a tubos sometidos a presiones internas. Tampoco a tubos rellenos de hormigón que constituyen un elemento de sección compuesta acero-hormigón o a elementos estructurales tubulares sujetos a acciones que produzcan fatiga.

El tubo es una forma seccional eficiente para resistir solicitaciones de compresión y torsión, razón por la cual es muy utilizada en columnas, reticulados planos o pórticos espaciales.

El tubo tiene generalmente una baja relación entre superficie expuesta y volumen, si se compara con otras formas seccionales. Por ello presenta un menor costo en pintura, protección contra el fuego y mantenimiento. Adicionalmente su forma presenta menor resistencia a la acción del viento o fluidos en movimiento por lo que tiene ventajas en estructuras expuestas a esas acciones (ver el **Reglamento CIRSOC 102-2005 Reglamento Argentino de Acción del Viento sobre las Construcciones**).

El uso de tubos estuvo limitado en el pasado por la dificultad en realizar sus uniones, pero la tecnología de fabricación moderna ha superado esas desventajas.

Este Reglamento combina especificaciones de diverso origen. La base está constituida por las especificaciones del Reglamento CIRSOC 301-2005. En algunos casos las secciones tubulares, fundamentalmente las rectangulares, tienen un comportamiento particular, o en otros casos, para esas secciones se pueden simplificar las especificaciones generales. De esta situación surgen las modificaciones o adaptaciones a las prescripciones del Reglamento CIRSOC 301-2005, que se explican en los Comentarios correspondientes a cada artículo.

Las uniones abulonadas y soldadas pueden tener un comportamiento algo diferente cuando los espesores de las chapas son menores que **3,2 mm**. Para estos casos se han incorporado especificaciones del documento **Specification for the Design of Cold-Formed Steel Structural Members del American Iron and Steel Institute (AISI-LRFD) en su versión 2001**, adaptadas al formato de la especificación base. Ello se explicita en los Comentarios de los respectivos artículos.

Las especificaciones para uniones directas de tubos en reticulados han sido adoptadas del Código base de la American Welding Society- AWS D1.1 y del Comité International pour le Développement et L'Étude de la Construction Tubulaire (CIDECT) con modificaciones resultantes de la compatibilización con las resistencias de diseño especificadas en el documento AISI-LRFD. Estas especificaciones han sido ampliadas en este Reglamento basándose en las mismas fuentes y en el EUROCODE 3 en su versión francesa.

Las especificaciones son aplicables a elementos estructurales, comúnmente utilizados en estructuras de edificios. No podrán ser aplicadas cuando exista incertidumbre en las acciones o en la calidad del control de ejecución.

Cuando las estructuras estén sometidas a acciones sísmicas se aplicarán también las especificaciones del **Reglamento INPRES-CIRSOC 103- Parte I - 1991 Normas Argentinas para Construcciones Sismorresistentes** (hasta tanto no esté vigente la versión 2010 de esta Parte I) y del **Reglamento INPRES-CIRSOC 103-2005 Reglamento Argentino para Construcciones Sismorresistentes, Parte IV "Construcciones de Acero"**.

C 1.3. MATERIALES - NORMAS IRAM E IRAM-IAS DE APLICACIÓN

Este Reglamento ha sido aprobado técnicamente por el Comité Ejecutivo de INTI-CIRSOC a mediados de Julio de 2005. Las normas IRAM e IRAM-IAS de aplicación nacionales se encontraban en revisión y en proceso de integración con las normas MERCOSUR.

A esa fecha estaban vigentes en el país las normas **IRAM-IAS U 500-2592** para tubos con costura e **IRAM IAS U 500-218** para tubos sin costura. Tanto para tubos sin costura como para tubos con costura está aprobada, pero aún no homologada en el país, la norma **MERCOSUR NM 223:2000 - Tubos de acero al carbono sin costura y soldados por resistencia eléctrica para uso estructural**. En ella se indican otras normas ISO y COPANT de referencia, sobre procesos de producción requisitos de aspecto superficial y defectos, requisitos de composición química y características mecánicas, dimensionales y tolerancias, muestreo y ensayos, etc.

Como regla general los materiales deberán cumplir las normas IRAM e IRAM-IAS vigentes a la fecha de ejecución de los Proyectos y a las especificaciones particulares de este Reglamento CIRSOC 302-2005.

C 1.4. DIMENSIONES DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL

La Especificación base adoptada para desarrollar este Reglamento, **Specification for the Design of Steel Hollow Structural Sections** (AISC-HSS) establece que para los tubos con costura se adoptará como **espesor de pared de cálculo** el **0,93 del espesor nominal**, excepto que el espesor de pared sea efectivamente conocido. Esto se debe a que las tolerancias admitidas para el espesor de pared por la norma estadounidense ASTM A 500 es $\pm 10\%$ del espesor nominal mientras que las chapas y flejes a partir de las cuales se fabrican los tubos con costura, tienen una tolerancia mucho menor. Por ello frecuentemente los fabricantes en EEUU producen tubos con costura con un espesor cercano al menor espesor de pared permitido legalmente utilizando chapas de espesor nominal menor al nominal del tubo. Esto no ocurre en los tubos fabricados con proceso de soldadura por arco sumergido. Por ello los parámetros seccionales donde interviene el espesor de pared son calculados con el valor **0,93** del t nominal y se encuentran tabulados en los manuales de cálculo.

Por otra parte la también norteamericana **Specification for the Design of Cold-Formed Steel Structural Members de la American Iron and Steel Institute (AISI)**, que incluye tubos con costura, utiliza los parámetros seccionales calculados con el **espesor nominal**. Aunque los fundamentos de las especificaciones son prácticamente los mismos que los utilizados por AISC, los procedimientos operativos son diferentes.

Comparando resistencias de diseño a compresión axial y a flexión simple con las expresiones contenidas en las especificaciones de AISI y AISC, se observa que en **tubos circulares** son similares cuando en ambas se utiliza el espesor nominal; en tubos rectangulares son similares cuando se utiliza el espesor nominal para la primera y el **0,93** del espesor nominal para la segunda.

En nuestro medio la norma IRAM-IAS U 500-2592 para tubos con costura exige para el tubo la misma tolerancia que para la chapa base que tiene un valor máximo de alrededor del **8 %**, o sea algo menor que la ASTM A 500. Se debe considerar también que el proceso de fabricación de los tubos con costura rectangulares puede producir una disminución del

espesor de pared en la zona central de las caras planas lo que introduce una cierta incertidumbre adicional. También el proceso de fabricación de dichos tubos modifica el límite de fluencia del material lo que también puede originar alguna incertidumbre.

Las tensiones residuales en los **tubos con costura circulares** resultan menores que en los **tubos rectangulares**, y en los **tubos sin costura** presentan niveles relativamente bajos.

En nuestro medio, los parámetros seccionales disponibles en las Tablas para los Projectistas o Diseñadores Estructurales están calculados en base al espesor nominal de pared, por lo que no resulta práctico trabajar con un espesor reducido para el cálculo.

Los efectos anteriormente citados (tolerancias de espesores, modificación de la tensión de fluencia, tensiones residuales) pueden ser contemplados a través del factor de resistencia considerando la situación distinta que presentan los tubos sin costura, los tubos con costura circulares y los tubos con costura rectangulares. De esa forma se pueden utilizar los procedimientos y expresiones de la Especificación AISC (que son los del Reglamento CIRSOC 301-2005) considerando para el cálculo de los parámetros seccionales, la **dimensión nominal del espesor de pared**.

C 1.5. ACCIONES Y COMBINACIÓN DE ACCIONES

La forma seccional de las barras no influye en el tipo de acciones a considerar para la determinación de las resistencias requeridas ni en sus combinaciones. Son válidas por tanto las Especificaciones de la Sección A.4. del Reglamento CIRSOC 301-2005 y su Comentario respectivo.

Se han agregado especificaciones complementarias referidas a las acciones originadas en el armado y el montaje pues muchas estructuras tubulares, sobre todo para cubiertas y entresijos tienen poco peso y relativamente pequeña sobrecarga de uso o mantenimiento, por lo que pueden sufrir daños por acciones no previstas originadas en los procesos de armado y montaje. Las especificaciones están adoptadas de la Recomendación CIRSOC 303 "Estructuras Livianas de Acero", (Agosto 1991).

C 1.6. BASES DE PROYECTO

Los Comentarios a la Sección A.5. del Reglamento CIRSOC 301-2005, se consideran válidos.

C 1.7. ANÁLISIS ESTRUCTURAL Y ESTABILIDAD

Los Comentarios al Capítulo **C** del Reglamento CIRSOC 301-2005, se consideran válidos.

COMENTARIOS AL CAPÍTULO 2.

REQUERIMIENTOS DEL PROYECTO

C 2.1. ÁREA NETA EFECTIVA PARA BARRAS TRACCIONADAS

Las uniones extremas de tubos sometidos a una fuerza de tracción son habitualmente realizadas con uniones soldadas continuas alrededor del perímetro del tubo. Alternativamente se pueden usar uniones extremas con chapas de nudo. Una placa de nudo simple se suelda en una ranura longitudinal ubicada en el eje de la sección transversal. Como no es recomendable soldar alrededor del extremo de la chapa de nudo, el área neta del tubo en la sección ubicada en el extremo de la ranura será menor que el área bruta, tal como se observa en la Figura 2.2.1 de este Reglamento. Se pueden soldar un par de chapas de nudo en las caras opuestas de un tubo rectangular con soldaduras a tope acampanadas en bisel.

Para una unión extrema de cualquiera de los tres tipos indicados, las especificaciones generales de la Sección B.3. (Capítulo B) del Reglamento CIRSOC 301-2005 se pueden simplificar y la excentricidad de la unión \bar{x} puede ser explícitamente definida. Las uniones con chapas de nudo y sus correspondientes \bar{x} y L (longitud de la unión soldada en la dirección de la fuerza) se pueden observar en la Figura 2.1.2. de este Reglamento.

Cuando existe un solo bulón o una sola hilera de bulones perpendicular a la fuerza, la rotación de la unión y la deformación fuera del plano son en general excesivas (Chong y Matlock, 1975; Carril, La Boube y YU, 1994). La reducción de la sección neta por efecto del retardo de corte está adoptada de la Especificación AISI (2001) y expresada en función de la relación entre la suma de los diámetros de los bulones de la línea y el ancho de la chapa que transmite la carga. En los tubos rectangulares se ha considerado como tal, el ancho de la parte plana de la cara. La sección neta de cada cara es la que resulta de restar la sección de agujeros a la sección bruta, que se considera hasta la mitad de la curva de esquina en cada extremo. Además influye en la reducción de área neta la existencia o no de arandelas a ambos lados del paquete de chapas unidas. La existencia de arandelas en las dos superficies de apriete aumenta el área que transmite la fuerza antes de llegar a la rotura por tracción.

C 2.2. PANDEO LOCAL

Los parámetros de relación de esbeltez de la pared y sus límites λ_r , λ_p y λ_{pp} , indicados en la Tabla 2.2.1. se han adoptado de la Tabla B.5.1. del Reglamento CIRSOC 301-2005 con las consideraciones que se presentan a continuación.

En función de lo especificado en el artículo 1.4. de los Comentarios y considerando como espesor de pared t , el valor nominal para los tubos **circulares con y sin costura** y para los tubos **rectangulares sin costura**, se han adoptado los límites correspondientes a cada caso de la Tabla B.5.1.. En particular para la pared de tubos rectangulares con compresión uniforme, el valor de λ_r que corresponde es el del perfil tubular. En estos perfiles se ha observado que debido a la curvatura de esquina y al tener igual espesor el ala y el alma, la

restricción al giro que ejercen una sobre otra en el borde común es prácticamente despreciable.

Para los tubos **rectangulares con costura**, en razón de las tolerancias en el espesor de pared y de las mayores tensiones residuales, en vez de adoptar un espesor de cálculo de **0,93** del espesor nominal, se reducen los límites en la misma proporción y se trabaja con el espesor nominal de pared. Es de hacer notar que el límite establecido en la Especificación **AISI** para que en elementos rigidizados uniformemente comprimidos, el ancho efectivo sea igual al ancho real (equivalente al límite λ_r para pared con compresión uniforme) resulta $1,28 \sqrt{E / F_y}$, valor que es prácticamente coincidente con el adoptado en la Tabla **2.2.1.**

Por otra parte tiene validez para este artículo lo expresado en la Sección B.5. de los Comentarios al Reglamento CIRSOC 301-2005.

COMENTARIOS AL CAPÍTULO 3.

BARRAS TRACCIONADAS

C 3.1. RESISTENCIA DE DISEÑO A TRACCIÓN

Excepto para tubos sometidos a cargas cíclicas reversibles, no existe información que avale que los factores que gobiernan la resistencia a tracción en tubos sean distintos de los que rigen para otras formas seccionales. Por ello las especificaciones del artículo **3.1.** de este Reglamento son las mismas que las de la Sección **D.1.** (Capítulo **D**) del Reglamento CIRSOC 301-2005. Sin embargo, como en la práctica el número de tipos de uniones extremas en tubos es limitado, se puede simplificar la determinación del área neta efectiva, A_e , tal como se indica en el artículo **2.1.** de los Comentarios.

COMENTARIOS AL CAPÍTULO 4 .

BARRAS COMPRIMIDAS

C 4.1. LONGITUD EFECTIVA Y LIMITACIÓN DE ESBELTECES

La mayor rigidez y resistencia torsional de los tubos comparada con la de otras formas seccionales, incrementa la restricción que las barras tubulares ejercen entre sí cuando forman parte de un pórtico y están directamente unidas. Por ejemplo, en un reticulado la unión directa de una barra de alma tubular (diagonal o montante) con un cordón continuo tubular es realizada generalmente por una unión soldada continua alrededor del perímetro de la barra de alma. En este tipo de unión el cordón presenta una cierta restricción al giro fundamentalmente en el plano del reticulado. La restricción fuera del plano depende también de la rigidez de las barras de alma. Las barras de alma tienen una importante restricción al giro en el plano del reticulado. Las restricciones al giro citadas permiten para ese tipo de unión reducir el factor de longitud efectiva k . Los valores de k dados en el artículo 4.1.1. están basados en recomendaciones de investigaciones del CIDECT (Rondal, 1992).

Es importante hacer notar que aún cuando exista una cierta restricción al giro es, no obstante, razonable suponer que los nudos del reticulado son articulaciones. Los momentos flexores secundarios debidos a la restricción al giro pueden ser despreciados a menos que la excentricidad en el nudo supere los límites aplicables dados en el artículo 9.4. o cuando la fatiga sea una condición del Proyecto Estructural. Para situaciones donde existan solicitaciones que produzcan fatiga se puede consultar el Reglamento CIRSOC 304-2007 o la Especificación AWS D1.1.

Para otros casos de uniones entre barras en reticulados o para otros elementos estructurales, tienen validez, para la determinación del factor de longitud efectiva k , las especificaciones del Reglamento CIRSOC 301-2005, Sección C.2..

C 4.2. RESISTENCIA DE DISEÑO A LA COMPRESIÓN

La resistencia de diseño a la compresión de un tubo está influenciada por su método de producción, su forma seccional y sus dimensiones. Además resulta complicada por las grandes diferencias entre las predicciones teóricas y los resultados experimentales sobre pandeo local, lo que ocurre especialmente en los tubos circulares.

Se pueden encontrar excelentes discusiones sobre el comportamiento de secciones tubulares de distintas formas seccionales en la bibliografía.(Shilling,1965; McGuiere, 1968; Galambos, 1988; y Sherman, 1992). Las bases y los resultados para definir las expresiones de diseño se explicitan a continuación. Algunas de las principales consideraciones que deben ser incluidas para la comprensión de los criterios de diseño para los tubos son:

- (1) Como ocurre en cualquier **barra de pared delgada** y **sección transversal constante**, el estado límite determinante puede ser o el pandeo flexional global o el pandeo local. La resistencia a **pandeo global bajo carga axial** es gobernada por la relación de esbeltez

($k L / r$), la tensión de fluencia F_y , las tensiones residuales y la deformación inicial. El **pandeo local** en los tubos rectangulares (**RHS**) se basa en los principios de la teoría de pandeo de placas y es gobernado por el cuadrado de la relación ancho-espesor de la pared. En tubos circulares (**CHS**) muy cortos, el **pandeo local** es similar al de una placa infinitamente ancha y la relación entre la longitud y el espesor es lo más importante. Para tubos circulares más largos, la configuración de pandeo local consiste en ondas aproximadamente cuadradas a lo largo de la longitud y alrededor de la circunferencia y la resistencia será una función de la relación entre el diámetro y el espesor. La resistencia a pandeo local en tubos circulares de pared delgada es extremadamente sensible a la distorsión inicial con respecto a una superficie perfectamente cilíndrica. Como los tubos manufacturados tienen una distorsión inicial pequeña comparada con los cilindros armados, en aquellos el pandeo local generalmente ocurre a una carga mayor.

- (2) La resistencia de barras cortas comprimidas es gobernada por el pandeo local, mientras que, por el contrario la resistencia de barras largas comprimidas es gobernada por el pandeo flexional. En barras comprimidas de longitud intermedia existe una interacción entre pandeo local y pandeo flexional.
- (3) Los tubos rectangulares (**RHS**) con costura, que son conformados en frío desde un tubo circular, tienen una curva tensión-deformación redondeada debido a las tensiones residuales a lo ancho del espesor, que varían entre el **0,4** y el **0,8** de F_y . Ello reduce la resistencia a pandeo flexional de los tubos de longitud intermedia por debajo de la de los tubos sin costura comparables que tengan similar tensión de fluencia. Las tensiones residuales no son tan grandes en los tubos circulares (**CHS**) con costura y son despreciables en los tubos sin costura (circulares y rectangulares).
- (4) Los tubos manufacturados tienden a tener pequeñas deformaciones iniciales lo cual aumenta la resistencia de los tubos de longitud intermedia en relación a las otras formas seccionales. Como los tubos pueden tener la relación de esbeltez de pared superior a λ_r las expresiones de pandeo flexional incluyen la interacción con el pandeo local dada en el Apéndice **B** del Reglamento CIRSOC 301-2005. El factor de reducción por pandeo local **Q** reduce la tensión de fluencia en la expresión de pandeo flexional inelástico y en la expresión de la esbeltez adimensional λ_c . Esa influencia se muestra en la Figura **C.4.2.1**.

Si $\lambda \leq \lambda_r$ resulta **Q = 1** y quedan las expresiones para pandeo flexional indicadas en el Capítulo **E** del Reglamento CIRSOC 301-2005.

La expresión de **Q** para tubos circulares (**CHS**) se origina en los datos de ensayos de tensión crítica por pandeo local con un ajuste conservador utilizados en una primitiva especificación de la AISI (Winter, 1968). Las constantes en esa expresión son establecidas para secciones cerradas con espesor uniforme.

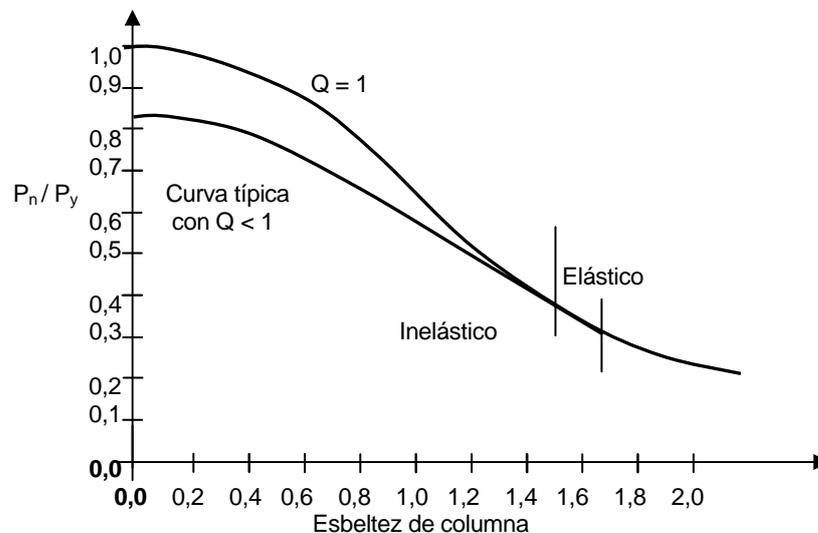


Figura C.4.2.1. Influencia de Q en la resistencia de la columna

En base a lo expresado en el punto (3) y a lo indicado en el último párrafo del artículo 1.4. de los Comentarios, se han adoptado distintos factores de resistencia según la forma y el método de producción de los tubos. La Especificación base AISC-HSS adopta en forma conservadora $\phi = 0,85$ para todos los casos, pero el área bruta A_g se calcula con el espesor de pared de cálculo (0,93 del espesor nominal). La mayor resistencia de los tubos con costura circulares con respecto a los rectangulares permite mantener ese factor de resistencia aunque se obtenga el área con el espesor nominal de pared, de acuerdo con lo establecido en el artículo 1.4. de este Reglamento. Para los tubos rectangulares con costura se disminuye en forma proporcional el factor de resistencia a $\phi = 0,80$ con A_g calculada con el espesor nominal de pared. Para los tubos sin costura se mantiene el factor de resistencia $\phi = 0,85$ en forma conservadora. Para estos últimos no es aplicable en la Especificación base la reducción del espesor nominal de pared y por otra parte, al tener muy bajas tensiones residuales, su mayor resistencia justificaría adoptar un factor de resistencia más elevado tal como ocurre en otras especificaciones que utilizan múltiples curvas de pandeo, (EUROCODE 3). Lo mismo ocurre con los tubos Clase D de la norma Mercosur NM 223 que tienen tratamiento térmico para alivio de tensiones residuales.

Un extenso programa de ensayos de columnas realizado en Europa por el CIDECT y diversos estudios de menor extensión ejecutados en Estados Unidos, se resumen en la Tabla C.4.2.1. No se incluyen en esta Tabla una gran cantidad de datos de ensayos del CIDECT sobre tubos sin costura. Los resultados de ensayos de tubos en compresión axil se muestran en la Figura C.4.2.2. para tubos circulares y en la Figura C.4.2.3. para tubos rectangulares. La curva de pandeo flexional del Reglamento CIRSOC 301-2005 para la resistencia nominal está superpuesta en las figuras. La fuerza de fluencia usada en las ordenadas adimensionales es $P_y = A_g F_y$ siendo F_y la tensión de fluencia a tracción determinada para el 0,2 % de deformación específica en los tubos conformados en frío que tienen curvas tensión-deformación redondeadas.

Tabla C.4.2.1. Resumen de ensayos sobre columnas de tubos

Tubos circulares			
Tipo	Símbolo en Figura C.4.2.2	Referencia	Nº de ensayos
Conformados en caliente (sin costura)	□	CIDECT #	10
Conformados en frío (con costura)	■	CIDECT #	65
		Sherman (1980)	4
Tubos especiales	*	Chen (1977)	10
		Yang (1987)	6
Tubos rectangulares			
Tipo	Símbolo en Figura C.4.2.2	Referencia	Nº de ensayos
Conformados en caliente (sin costura)	□	CIDECT #	88
		Estuar (1965)	10
Conformados en frío (con costura)	■	CIDECT #	132
		Bjorhovde (1979)	1
		Key (1985)	11
Conformados en frío (con costura) con tratamiento térmico	*	Bjorhovde (1979)	19
		Sherman (1969)	2
# No hay referencias en CIDECT data			

Los símbolos en la Tabla C.4.2.1. y en las Figuras representan:

- tubos sin costura;
- tubos con costura (conformados en frío);
- * en la Figura **C.4.2.2.**: tubos circulares especiales; y en la Figura **C.4.2.3.**: tubos rectangulares con tratamiento térmico.

Es de hacer notar que tubos rectangulares conformados en frío según ASTM A 500 con tratamiento térmico a 450 °C tienen resistencias similares a los tubos sin costura (conformados en caliente).

Los factores de reducción **Q** para tubos circulares y para tubos rectangulares sin costura son los especificados en el Reglamento CIRSOC 301-2005, Apéndice **B**, Sección **A-B.5.3.b(1) (c)** y Sección **A-B.5.3.b(1) (a)** respectivamente. Para tubos rectangulares con costura, en la expresión para calcular el ancho efectivo b_e , se cambia el factor **0,381** por **0,415** para que se corresponda con el límite adoptado para $\lambda_r (1,30\sqrt{E/F_y})$. Es de hacer notar que el factor **0,415** es el adoptado por la Especificación AISI para determinar el ancho efectivo y que se aplica con el espesor de pared nominal. (Comentarios Especificación AISI, 1996, Sección B2.1), por lo que resultan coincidentes para los tubos rectangulares con costura el ancho efectivo calculado con la Especificación AISC con el espesor de cálculo (0,93 del nominal) y el calculado con la Especificación AISI con el espesor nominal.

La máxima tensión en el borde de la placa es la tensión crítica nominal reducida por el factor de resistencia, $(\phi_c F_{cr})$. Como la tensión crítica depende de **Q** es necesario realizar un proceso iterativo para obtener **Q**.

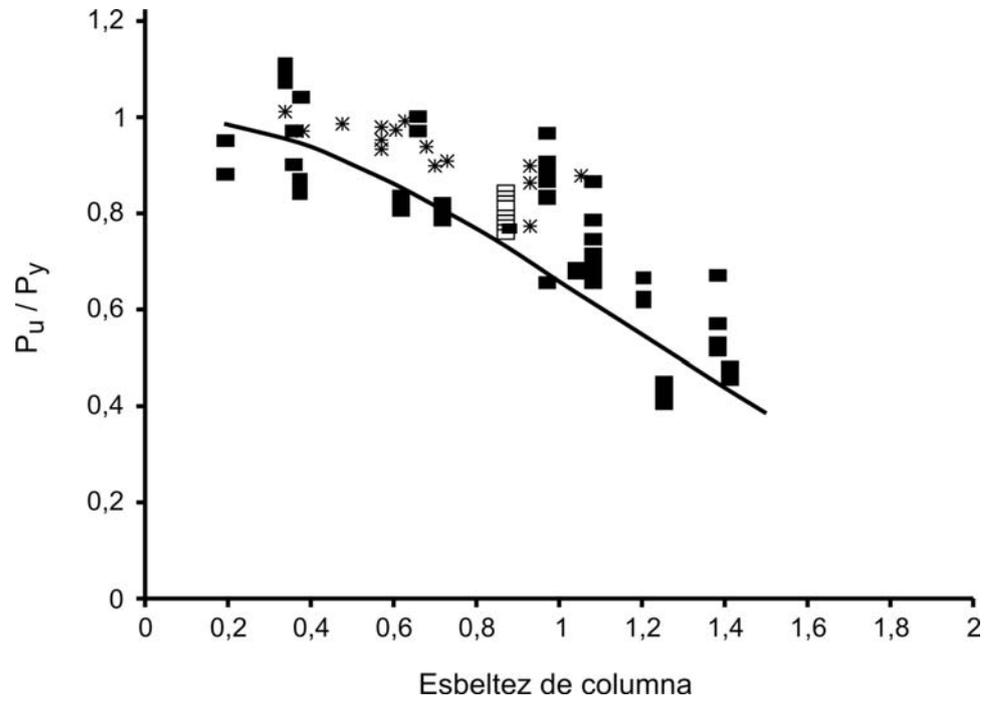


Figura C.4.2.2. Resultados de ensayos sobre tubos circulares (CHS)

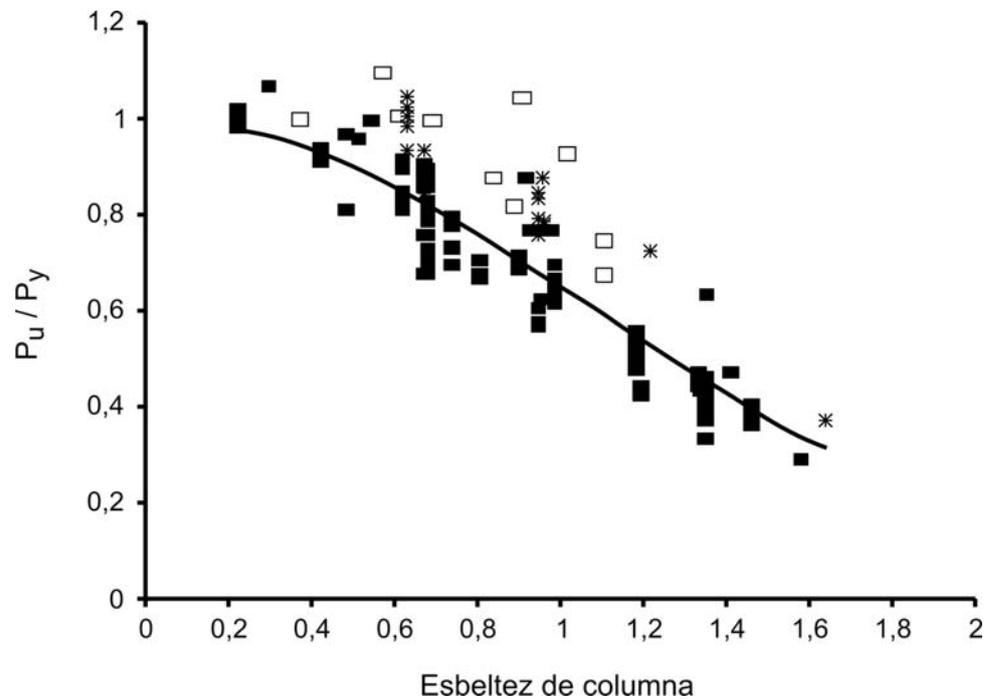


Figura C.4.2.3. Resultados de ensayos sobre tubos rectangulares (RHS).

COMENTARIOS AL CAPÍTULO 5.

VIGAS Y OTRAS BARRAS EN FLEXIÓN

C 5.1. RESISTENCIA DE DISEÑO A FLEXIÓN

Las especificaciones para la **resistencia nominal a flexión** incluyen los estados límites de plastificación, pandeo local inelástico y elástico y pandeo lateral-torsional. El estado límite de pandeo lateral-torsional no es aplicable a secciones circulares y cuadradas (igual momento de inercia para ambas direcciones principales) ni para rectangulares flexando alrededor del eje principal de menor momento de inercia. La Especificación base (AISC-HSS) no incluye la verificación del estado límite de pandeo lateral-torsional pues para las secciones normalizadas del mercado norteamericano, no resulta un estado límite determinante para la resistencia nominal. Esto se debe a que, para esas secciones, las longitudes lateralmente no arriostradas, L_p y L_r , que se corresponden con el desarrollo del momento plástico y el momento elástico respectivamente, son muy grandes. Para esas longitudes de las barras, **las deformaciones admisibles en servicio** son las que definen prácticamente el dimensionado y la reducción del momento nominal con respecto al momento plástico por efecto del pandeo lateral es muy pequeña, resultando nula en la mayoría de los casos prácticos por el efecto del factor de modificación para diagramas de momento flexor no uniforme C_b . Sin embargo en este Reglamento se ha incluido la verificación del estado límite de pandeo lateral-torsional para secciones rectangulares flexando alrededor del eje principal de mayor momento de inercia, pues en nuestro medio no están totalmente normalizadas las dimensiones de las secciones transversales. Las especificaciones son las del Reglamento CIRSOC 301-2005 para secciones cajón, indicadas en el Capítulo F, Sección F.1.2., teniendo validez los correspondientes Comentarios.

Como los parámetros seccionales que definen la **resistencia nominal para flexión en secciones tubulares de pared delgada** son prácticamente proporcionales al espesor t , para calcularlos con el espesor nominal y mantener la resistencia nominal dada en la Especificación base, se ha reducido el factor de resistencia para las secciones rectangulares con costura en forma proporcional a la relación entre el espesor de cálculo considerado por la especificación base y el espesor nominal. Esto lleva el factor de resistencia para esas secciones a $\phi = 0,85$. En las secciones rectangulares sin costura y en las secciones circulares sin y con costura se ha mantenido el factor de resistencia de la especificación base por su menor nivel de tensiones residuales y por la mayor coincidencia entre espesores reales y nominales que presentan esas secciones.

Frente al pandeo local, los modos de falla y el comportamiento post pandeo que presentan los tubos circulares pueden ser agrupados en tres categorías (Galambos,1988; Sherman, 1992):

- (1) Para pequeña relación (D/t) la curva momento-rotación presenta un largo zócalo de fluencia. La sección transversal se ovaliza gradualmente, se forma eventualmente la onda local de pandeo y consecuentemente el momento resistente disminuye lentamente. La resistencia a flexión puede exceder el momento plástico teórico debido al endurecimiento por deformación.

- (2) Para relaciones (D/t) intermedias, el momento plástico es casi alcanzado pero se desarrolla una onda simple de pandeo local y el momento resistente disminuye lentamente con un pequeño o nulo zócalo de fluencia.
- (3) Para tubos circulares de pared delgada (alta relación D/t) se forman rápidamente múltiples ondas de pandeo con pequeña ovalización y la resistencia flexional cae rápidamente.

Los criterios para determinar la resistencia flexional de los tubos circulares reflejan esas tres regiones de comportamiento y están basados en cinco programas de investigación experimental que comprenden tubos sin costura conformados en caliente, tubos con costura conformados en frío y soldados eléctricamente y tubos armados (Galambos 1988). Las especificaciones son las del Reglamento CIRSOC 301-2005, en el Apéndice **F**, Tabla **A-F.1.1**.

El criterio y las especificaciones para el pandeo local de tubos rectangulares también son los mismos dados por el Reglamento CIRSOC 301-2005, Apéndice **F**. Las expresiones para calcular el ancho efectivo del ala comprimida cuando $b/t > \lambda_r$ son las mismas utilizadas para tubos rectangulares en compresión axial pero tomando como máxima tensión en el borde del ala la tensión de fluencia F_y . Esto implica que para la máxima resistencia a pandeo poscrítica se alcanza la fluencia en la esquina del ala comprimida. El distinto factor utilizado en las expresiones para tubos sin costura y con costura responde a las razones ya indicadas en estos Comentarios, artículo **4.2**. Cuando el ancho efectivo b_e sea menor que el ancho real b , la resistencia nominal a flexión se determinará utilizando el módulo resistente elástico de la sección referido al ala comprimida (S_c) obtenido desde el momento de inercia y la distancia desde el eje neutro modificados. Una estimación ligeramente conservadora de la resistencia nominal a flexión se obtiene suponiendo que se mantiene la simetría de la sección transversal y utilizando el módulo resistente elástico S de la sección simétrica reducida, con el ancho efectivo tanto en el ala comprimida como en el ala traccionada. Esto simplifica el cálculo de S .

La utilización de tubos con alma esbelta para la flexión resulta antieconómica y peligrosa por la posibilidad de abolladuras en el transporte y montaje. No existen tubos normalizados con alma esbelta en el mercado norteamericano. Es por ello que la Especificación base no analiza la posibilidad de pandeo local del alma en flexión. Ante la falta de normalización en nuestro medio y para cubrir esta situación quedan **fuera del campo de validez de este Reglamento los tubos con almas esbeltas en flexión, ($\lambda_w > \lambda_r$)**.

El factor de forma (Z/S) para los tubos normalizados varía entre **1,15** y **1,40**. Por ello si se utilizan tubos normalizados no sería necesario explicitar la limitación $M_p \leq 1,5 M_y$ incluida en el Reglamento CIRSOC 301-2005, Capítulo **F**. Sin embargo dado que en nuestro medio no están totalmente normalizadas las dimensiones de los tubos, se mantuvo en este Reglamento la condición explícita citada.

Cuando el Proyecto Estructural se realice determinando las solicitaciones requeridas por análisis plástico, se mantendrán las especificaciones del Reglamento CIRSOC 301-2005.

C 5.2. RESISTENCIA DE DISEÑO A CORTE

Se dispone de poca información referida a tubos circulares sometidos a corte transversal y las especificaciones se basan en los criterios para pandeo local en tubos circulares sometidos

a torsión (Galambos, 1988). La torsión es generalmente constante a lo largo del tubo, mientras que el corte es, en muchos casos, variable en la longitud del tubo como viga. La especificación base AISC-HSS considera, para determinar los límites para la resistencia nominal a corte V_n , el espacio de corte a que es la longitud de la viga con corte aproximadamente constante. Dado que la determinación de a en cada caso puede presentar incertidumbres y confusiones, en este Reglamento se ha adoptado directamente la luz de la viga L en lugar de a , lo que resulta conservador en la mayoría de los casos prácticos.

El pandeo local debido a la torsión depende de la longitud del tubo, excepto para tubos largos en los que la tensión crítica es independiente de la longitud. Según Shilling se puede alcanzar la tensión de fluencia a corte sin que ocurra pandeo local cuando se verifique que:

$$\frac{\tau_y}{E} \left(\frac{D}{t} \right)^{1,25} \left(\frac{L}{D} \right)^{0,5} \leq 1,076 \quad (\text{C.5.2.1})$$

Considerando $\tau_y = 0,6 F_y$ y despejando (L/D) de la expresión (C.5.2.1) se obtiene la expresión (5.2.1).

Para obtener la **resistencia nominal V_n para tubos circulares** se supone que la máxima tensión de corte, τ , está en el eje neutro. Su valor se obtiene de la fórmula de Jouraski.

$$\tau = \frac{V_n Q}{I b}$$

Para tubos de pared delgada:

el momento de inercia	$I \cong \pi R^3 t$
el momento estático	$Q \cong 2 R^2 t$
el ancho en el eje neutro	$b = 2 t$

siendo:

R el radio exterior del tubo = $D/2$,

t el espesor de pared del tubo

Como el área de un tubo de pared delgada es $A_g \cong 2 \pi R t$, resulta $\tau = \frac{V_n}{A_g/2}$ (C.5.2.2)

De la expresión (C.5.2.2) se deduce que:

- cuando se alcanza la fluencia $\tau = \tau_y = 0,6 F_y$, resulta la expresión (5.2.2)
- cuando **no** se alcanza la fluencia $\tau = F_{vcr}$, resulta la expresión (5.2.2a)

La **tensión crítica de corte F_{vcr}** adoptada en forma conservadora es la tensión de pandeo elástico para tubos en torsión, que es el mayor valor de las correspondientes a tubos largos o a tubos de longitud intermedia, como se verá en los Comentarios al Capítulo 6.

Las especificaciones para resistencia nominal al corte para tubos rectangulares son las mismas que las dadas en el Reglamento CIRSOC 301-2005, Capítulo **F**, Sección **F.2.2.** para almas no rigidizadas y considerando las dos almas de la sección.

La reducción del factor de resistencia para los tubos rectangulares con costura responde al mismo criterio explicado en el artículo **5.1.** de los Comentarios y al hecho de que el área es proporcional al espesor de pared.

COMENTARIOS AL CAPÍTULO 6.

BARRAS SOMETIDAS A TORSIÓN

C 6.1. RESISTENCIA DE DISEÑO A TORSIÓN

Los tubos son frecuentemente utilizados en la construcción de pórticos espaciales y otras estructuras donde sus elementos estructurales deben resistir momentos torsores significativos.

Al tener los tubos una sección transversal cerrada resultan mucho más eficientes frente a la torsión que las secciones abiertas como las doble Te o canales. Mientras las tensiones normales y tangenciales debidas al alabeo resultan generalmente significativas en las secciones abiertas, ellas son insignificantes en las secciones cerradas y se puede considerar que el momento torsor total es equilibrado sólo por tensiones tangenciales debidas a la torsión pura o de Saint Venant.

En los tubos se puede suponer que las tensiones tangenciales de la torsión pura se distribuyen uniformemente. Su valor en unidades compatibles será :

$$\tau = (T_u / C)$$

siendo:

T_u el momento torsor requerido,

C la constante torsional de corte de la sección transversal.

En el formato de estados límites el momento torsional resistente nominal será:

$$T_n = C F_{cr}$$

siendo:

F_{cr} la tensión crítica de corte.

Para tubos circulares, la constante torsional de corte C será el momento polar de inercia dividido el radio externo:

$$C = \frac{\pi (D^4 - D_i^4)}{32 (D / 2)} \cong 0,20 \frac{[D^4 - (D - 2 t)^4]}{D} \quad (C.6.1)$$

siendo:

D el diámetro externo,

D_i el diámetro interno.

Para tubos rectangulares, utilizando la analogía de la membrana (Timoshenko, 1956) se obtiene:

$$C = 2 t A_o$$

siendo:

A_o el área encerrada por la línea media del espesor del tubo.

Suponiendo conservadoramente que el radio exterior de esquina sea igual a $2 t$ (radio interior = t), el radio medio de esquina será = $1,5 t$, resultando:

$$A_o = (B - t) (H - t) - \frac{9(4 - \pi)}{4} t^2 \quad (C.6.2)$$

y por tanto:

$$C = 2 (B - t) (H - t) t - 4,5 (4 - \pi) t^3 = 2 t (B - t) (H - t) - 3,863 t^3 \quad (C.6.3)$$

Los factores de resistencia utilizados para torsión son los mismos que los definidos para corte.

La mayor parte de los elementos estructurales tubulares circulares sometidos a torsión son largos o de longitud moderada. Por ello, cuando se considera el pandeo local de esos tubos no es aplicable el criterio para cilindros cortos. La resistencia a pandeo local elástica de cilindros largos no es afectada por las condiciones de vínculo extremas y la tensión crítica dada por Galambos (1988) se obtendrá de la siguiente expresión:

$$F_{cr} = \frac{K_t E}{(D/t)^{1,5}} \quad (C.6.4)$$

El valor teórico de K_t es $0,73$ pero se recomienda una reducción del 15% para considerar las imperfecciones iniciales (Shilling, 1965), por lo que el valor adoptado será $K_t = 0,6$.

Shilling (1965) y Galambos (1988) dedujeron, para la tensión crítica local elástica para tubos de longitud moderada cuando sus extremos no están fijos para el giro, de la siguiente expresión: ($L > 5,1 D^2/t$)

$$F_{cr} = \frac{1,23 E}{(L/D)^{0,5} (D/t)^{1,25}} \quad (C.6.5)$$

Esta expresión ya incluye el 15% de reducción para considerar las imperfecciones iniciales.

Las expresiones de pandeo local son representadas en la Figura **C.6.1**. con un módulo de elasticidad igual a **200000 MPa** (290000 ksi).

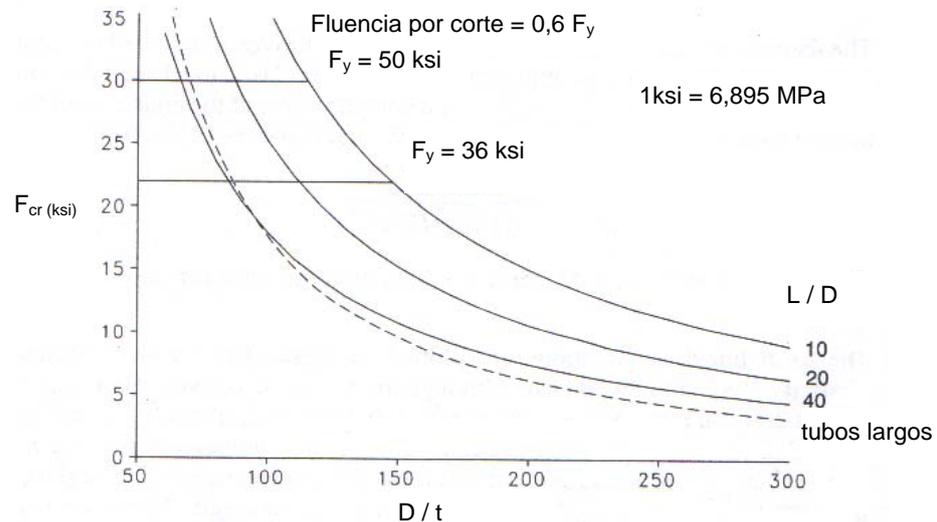


Figura C.6.1. Tensión crítica de torsión F_{cr} para tubos circulares.

Aunque existe alguna inconsistencia en lo relativo a la división entre tubos largos y moderadamente largos, de la observación de la Figura **C.6.1**. surge que la expresión de tensión crítica para tubos con longitud moderada es válida para la mayoría de las longitudes prácticas. Es también evidente que sería antieconómico despreciar el incremento de resistencia torsional para barras de longitud moderada. Por ello se incluye en este Reglamento el efecto de la longitud del tubo para los casos de extremos articulados y se desprecia el incremento de aproximadamente el **10 %** en la resistencia a pandeo que resulta cuando los extremos están empotrados. **El límite en la tensión crítica está planteado para no exceder la tensión de fluencia a corte.**

El criterio de tensión crítica para tubos rectangulares es idéntico al de corte por flexión dado en el artículo **5.2**. El corte debido a torsión tiene una distribución uniforme en los lados de los tubos rectangulares, lo cual es lo mismo supuesto para el alma de una viga. Por lo tanto es razonable que el criterio sea el mismo en ambos casos.

COMENTARIOS AL CAPÍTULO 7.

BARRAS SOMETIDAS A SOLICITACIONES COMBINADAS Y TORSIÓN

C 7.1. BARRAS SOMETIDAS A FUERZA AXIL Y FLEXIÓN

Las especificaciones para la interacción entre fuerza axil y flexión son las que se indican en el Reglamento CIRSOC 301-2005, Capítulo **H**, Sección **H.1.** Como se establece en la Sección **C.1.4.** del Reglamento CIRSOC 301-2005, en las estructuras proyectadas sobre la base de un análisis elástico, la resistencia requerida a flexión M_u deberá ser determinada por un análisis de segundo orden. Los efectos de segundo orden deben ser considerados no sólo para la viga-columna sino también para las otras barras de la estructura que estén unidas a ella y para las uniones. En lugar de realizar un análisis de segundo orden se puede utilizar el método aproximado de amplificación de momentos de primer orden detallado en la Sección **C.1.4.** del Reglamento CIRSOC 301-2005.

En el caso de la flexión biaxial de tubos circulares, los cuales tienen el mismo módulo de sección con respecto a cualquier eje, las expresiones de interacción de este Reglamento llevan a resultados inconsistentes cuando se comparan con el dimensionado que surge del momento resultante (Pillai y Ellis, 1971). La expresión de interacción suma los efectos de M_{ux} y M_{uy} lo cual puede exceder en más de un **40 %** a lo que resulta de la composición vectorial. Por ello se incluye en este Reglamento el dimensionado directo con el momento flexor requerido resultante M_{ur} .

C 7.2. BARRAS SOMETIDAS A SOLICITACIONES COMBINADAS DE TORSIÓN, CORTE, FLEXIÓN Y/O FUERZA AXIL

Se han propuesto diversas formas de expresiones de interacción para combinaciones de acciones que producen tensiones normales y tangenciales. En una primera forma usual la tensión normal y la tensión tangencial son combinadas elípticamente con la suma de sus cuadrados (Felton y Dobbs, 1967):

$$\left(\frac{f}{F_{cr}}\right)^2 + \left(\frac{f_v}{F_{crv}}\right)^2 \leq 1 \quad (\text{C.7.2.1})$$

En una segunda forma se utiliza la primera potencia de la tensión normal

$$\left(\frac{f}{F_{cr}}\right) + \left(\frac{f_v}{F_{crv}}\right)^2 \leq 1 \quad (\text{C.7.2.2})$$

Estas expresiones son representadas en la Figura **C.7.2.1**. La segunda expresión es más conservadora, aunque no demasiado (Shilling, 1965), y es la base para la expresión de interacción propuesta en este Reglamento, en el formato de estados límites. Los efectos de la flexión y de la fuerza axil se combinan linealmente y ellos se combinan con el cuadrado de la combinación lineal de los efectos del corte y de la torsión. Cuando está presente la fuerza axil, la resistencia requerida a flexión M_u se debe obtener por análisis de segundo orden cuando la fuerza axil es de compresión y se pueda obtener de la misma manera cuando sea de tracción.

Como la interacción se basa en la combinación de tensiones elásticas, la resistencia nominal a flexión, M_n , no puede superar el momento elástico M_y .

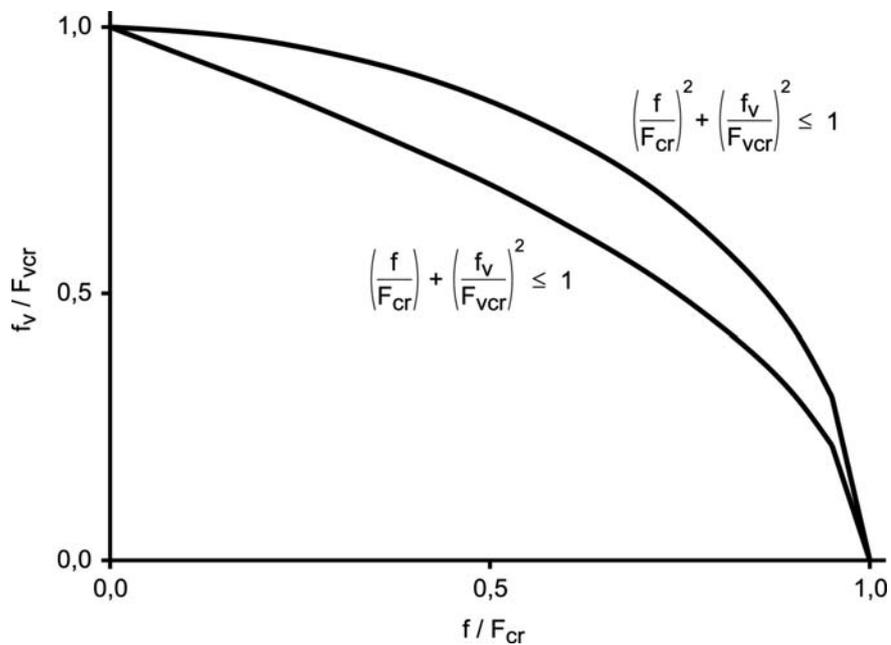


Figura C.7.2.1. Interacción de tensiones normales y tangenciales.

COMENTARIOS AL CAPÍTULO 8.

FUERZAS CONCENTRADAS SOBRE TUBOS

Las fuerzas concentradas resultan de cargas lineales aplicadas en los tubos a través de una placa, de un elemento unido al ala, o de un elemento similar. La carga lineal puede estar distribuida transversalmente (ver la Figura **8.1.1.** de este Reglamento) o longitudinalmente (ver la Figura **8.2.1.** de este Reglamento).

Un tubo con carga lineal, ya sea transversal o longitudinal, falla por distorsión local plástica de la sección transversal. Las resistencias para ese tipo de cargas fueron dadas por Packer y Henderson (1992). Como las expresiones de **resistencia nominal** dadas por Packer y Henderson tienen en cuenta las diferencias entre la resistencia experimental y la teórica, resulta apropiado adoptar un factor de resistencia $\phi = 1$. En los tubos rectangulares con costura, se considera que la resistencia es en general proporcional al espesor y por las razones ya expuestas en los artículos **1.4.** y **4.2.** de los Comentarios, se ha reducido el factor de resistencia aproximadamente en la relación entre el espesor nominal y el espesor de cálculo dado en la Especificación base LRFD-HSS. Cuando en las cercanías de la carga lineal existan en el tubo tensiones normales de compresión, se reducirá la resistencia a la distorsión plástica local y por ello se deberá aplicar un factor de reducción k_p . Según Packer y Henderson, k_p se debe determinar en función de la máxima tensión de compresión en el tubo f , que es un número negativo. En este Reglamento, la expresión para k_p de Packer y Henderson ha sido modificada para considerar f en valor absoluto, o sea como una cantidad positiva.

El estado límite en los tubos rectangulares depende de la relación entre el ancho en que se aplica la carga y el ancho de la cara rectangular cargada. Para cargas transversales, la variación transversal de la rigidez en la cara del tubo causa una distribución no uniforme de la fuerza en el elemento que transmite la carga. La falla puede ocurrir debido a una concentración de la carga sobre el ancho efectivo del elemento unido y la resistencia fue dada por Packer y Henderson (1992). El límite de (F_y, t, b_1) no representa el estado límite para la resistencia axial de la placa cargada pero limita el ancho efectivo dado por Packer y Henderson (1992) cuando excede el ancho del tubo. Cuando la fuerza se distribuye en un ancho cercano al ancho total del tubo, la concentración de la fuerza en el extremo del elemento de transmisión puede causar una rotura por punzonado a través de la pared del tubo. La resistencia también está dada por las expresiones de Packer y Henderson (1992).

Cuando la fuerza está distribuida en todo el ancho del tubo rectangular, puede ocurrir la falla de la pared lateral del tubo. La resistencia para la fluencia local de la pared es la especificada en la Sección **K.1.3.** del Reglamento CIRSOC 301-2005, ajustada por la presencia de dos paredes laterales actuando como almas. La resistencia por pandeo localizado de la pared es la especificada en la Sección **K.1.4.** del Reglamento CIRSOC 301-2005, determinada para las dos paredes. Lo mismo ocurre con la resistencia a pandeo por compresión especificada en la Sección **K.1.6.** del Reglamento CIRSOC 301-2005, cuando dos fuerzas de compresión actúan conjuntamente en dos caras opuestas del tubo rectangular. Para los estados límites cuyas resistencias se han adoptado del Reglamento CIRSOC 301-2005, se mantienen los

mismos factores de resistencias dados en aquél, excepto para los tubos rectangulares con costura en los que se reducen por la razones ya expuestas.

Para el caso de una fuerza longitudinalmente distribuida, cuyo ancho sea muy reducido con respecto al ancho del tubo, el estado límite será la distorsión plástica local de la cara del tubo y la resistencia estará dada por las expresiones de Packer y Henderson (1992). Como en el caso anteriormente citado de tubos circulares, en que también el estado límite es la distorsión plástica local, se aplica el factor de reducción k_p cuando el tubo está comprimido. Como las expresiones de resistencias dadas por Packer y Henderson incluyen la variación de lo experimental a lo teórico, el factor de resistencia se considera $\phi = 1$, excepto para los tubos rectangulares con costura, en que se reduce.

Otro caso de carga concentrada actuando en un tubo rectangular ocurre cuando el extremo de una columna con tapa soporta una viga, tal como se muestra en la Figura **8.3.1.** de este Reglamento. Como la carga actúa en una pared del tubo, la resistencia para la fluencia local se adopta directamente de la Sección **K.1.3.** del Reglamento CIRSOC 301-2005. La especificación para el pandeo localizado de la pared del tubo será la de la Sección **K.1.4.** del Reglamento CIRSOC 301-2005, con la carga actuando a una distancia del borde igual a la mitad del ancho del tubo y por ello corresponde aplicar la expresión (**K.1.4**). Lo anterior se basa en que el modelo adoptado es una distribución de la carga a 45° en ambas direcciones desde el punto central de la franja de aplicación de la carga. La fuerza actuará en el ancho total del lado del tubo hasta una altura no mayor que **B/2**, más allá de la cual el pandeo localizado no podrá ocurrir.

COMENTARIOS AL CAPÍTULO 9.

UNIONES, JUNTAS Y MEDIOS DE UNIÓN

En las estructuras, frecuentemente se combinan los tubos con barras de otras formas seccionales con uniones que sólo transmiten corte (articulaciones) o uniones de momento. Por ello son aplicables en general las especificaciones de las Secciones **J.1.** a **J.11.** del Reglamento CIRSOC 301-2005, aunque algunas de ellas no lo sean específicamente para las barras tubulares.

C 9.1. BULONES, BARRAS ROSCADAS Y OTROS PASADORES

Aún cuando la soldadura constituye el procedimiento más frecuente para unir tubos, hay casos en que se utilizan bulones u otro tipo de pasadores. Cuando se usan bulones para unir la pared de un tubo y se colocan las tuercas por el extremo abierto del mismo o por un agujero de acceso, de manera que todas las chapas de la unión estén en contacto por el apriete del bulón, serán de aplicación las especificaciones de la Sección **J.3.** del Reglamento CIRSOC 301-2005. Estas especificaciones también se aplican a otras partes de la estructura que incluyan tubos. Sin embargo, si el bulón atraviesa completamente el tubo, al intentar la tracción total del bulón se deformará la pared de aquel y no se alcanzará la tracción mínima de apriete, produciéndose además un daño al tubo. Por ello los bulones pasantes se instalarán solamente con un ajuste sin juego y la unión será de tipo aplastamiento. La resistencia al aplastamiento dada en el artículo **9.1.1.(a).** es la especificada por la expresión (**J.8.1**) de la Sección **J.8.** del Reglamento CIRSOC 301-2005. El Proyectista o Diseñador Estructural deberá considerar que en algunos diseños de uniones la fuerza puede no distribuirse uniformemente entre ambas paredes del tubo. Además, en algunos casos se puede generar una flexión en el bulón pasante.

La Especificación base (AISC-HSS) está referida a tubos con espesores de chapa mayores o iguales que **3,2 mm**. Para esos espesores se extienden todas las especificaciones contenidas en la Especificación AISC-LRFD y por ello es aplicable el Reglamento CIRSOC 301-2005 sin modificaciones. Para espesores menores se ha adoptado como base la Especificación AISI, comparando sus especificaciones con las de la AISC-LRFD. El uso de uniones abulonadas del tipo de deslizamiento crítico para espesores menores que **3,2 mm** no está contemplado en la Especificación AISI por la falta de ensayos al respecto y por existir numerosas condiciones de la superficie de contacto. Por ello sólo se permite el proyecto de ese tipo de uniones cuando se realicen ensayos particulares que garanticen que se alcance la resistencia al deslizamiento frente a la deformabilidad de las chapas delgadas y a la corta longitud del bulón traccionado. Por lo anterior, en el artículo **9.1.1.(b).** de este Reglamento **no se permite el uso de uniones abulonadas de deslizamiento crítico para tubos con espesores de pared menores que 3,2 mm.**

Los tipos y tamaños de agujeros especificados en el documento AISC-LRFD (y en el Reglamento CIRSOC 301-2005) y en la Especificación AISI son similares. En el artículo **9.1.1.(c).** se han agregado los agujeros ovalados cortos y los ovalados largos para bulones de menor diámetro usados para tubos de pequeño espesor de pared.

En el artículo **9.1.1.(d)** se ha adoptado una única distancia mínima al borde, extraída del Reglamento CIRSOC 301-2005 y correspondiente a la forma de corte común para los tubos, la que, por otra parte, es coincidente con la especificada en el documento AISI.

En la Sección **J.10.** del Reglamento CIRSOC 301-2005 la resistencia nominal al aplastamiento de la chapa en los agujeros está dada por el menor valor entre la resistencia al desgarramiento de la chapa y la resistencia al aplastamiento del bulón, siguiendo el criterio de la Especificación AISC-LRFD. En la Especificación AISI también se consideran estos dos estados límites pero con un formato algo distinto y considerando casos especiales resultantes de ensayos para espesores pequeños.

- Para la resistencia al desgarramiento

- AISI propone: $R_d = \phi t e F_u$ con $\phi = 0,70$ **(C-9.1.1)**

siendo:

- e distancia desde el centro de un agujero al borde mas próximo del agujero adyacente o al borde libre.

- El Reglamento CIRSOC 301-2005 establece, para cuando se considera la deformación, la siguiente expresión:

$$R_d = \phi 1,2 t L_c F_u \quad \text{con } \phi = 0,75 \quad \text{(C-9.1.2)}$$

siendo:

- L_c distancia libre entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o el borde libre. Por las definiciones dadas: $L_c = e - 0,5 d$

Para la distancia mínima entre centros de agujeros adyacentes (**3 d**) las expresiones (C-9.1.1) y (C-9.1.2) resultan:

$$0,7 (2,5) d t F_u = \underline{1,75} d t F_u \quad 0,75 (1,2) 2 d t F_u = \underline{1,8} d t F_u$$

Para la distancia mínima de centro de agujero a borde libre (**1,75 d**) las expresiones (C-9.1.1) y (C-9.1.2) resultan:

$$0,7 (1,75) d t F_u = \underline{1,225} d t F_u \quad 0,75 (1,2) 1,25 d t F_u = \underline{1,125} d t F_u$$

Luego para el desgarramiento entre agujeros adyacentes, la resistencia dada por ambas especificaciones será prácticamente la misma y para el desgarramiento entre el último agujero y el borde libre el Reglamento CIRSOC 301-2005 resultará más conservador.

- Para el aplastamiento del bulón:

El Reglamento CIRSOC 301-2005 establece para cuando se considera la deformación, la siguiente expresión:

$$R_d = \phi 2,4 d t F_u = \underline{1,8} d t F_u \quad (\text{C-9.1.3})$$

La Especificación AISI 2001 da distintas resistencias nominales y factores de resistencia en función de los espesores de las chapas que se unen, de la relación entre tensión de rotura y de fluencia del acero, de la posición de la chapa en uniones a corte simple o doble, y de la colocación de arandelas bajo la cabeza y la tuerca o sólo bajo una de ellas o no tener arandelas, y del diámetro del bulón. Además tienen un límite de espesor de la chapa.

Si bien los parámetros en juego son similares, las expresiones no son totalmente comparables.

Para espesores **mayores o iguales que 3,2 mm** se ha adoptado la Especificación AISC-LRFD o sea lo especificado en el Reglamento CIRSOC 301-2005. En este rango de espesor de chapa, disminuye la influencia de las arandelas y de la relación entre diámetro del bulón y espesor de la chapa, resultando más conservador el criterio adoptado.

Para espesores **menores que 3,2 mm** se han adoptado las especificaciones de la AISI 2001, que presentan un formato algo más complejo. Ellas resultan de experiencias recientes realizadas por Rogers y Hancock (1998) y Wallace, Shuster y LaBoube, (2001) para la resistencia de uniones cuando no se permite una deformación de la chapa.

Los ensayos realizados en la Universidad de Missouri-Rolla (LaBoube y Yu, 1995) justifican las expresiones para cuando se permite una deformación de la chapa al alcanzar la resistencia límite al aplastamiento. Esta deformación es del orden de **6 mm**, similar a la definida para las expresiones de resistencia dadas por la AISC-LRFD y adoptadas en el Reglamento CIRSOC 301-2005.

El factor de resistencia para tubos rectangulares con costura se adopta igual a **0,70** con el fin de considerar el hecho de adoptar el espesor nominal en lugar del reducido que considera la Especificación base AISC-HSS, como ya se ha dicho en los comentarios realizados a secciones anteriores.

C 9.1.2. Pasadores especiales

Existen otros tipos de pasadores que se utilizan en las estructuras tubulares, sobre todo cuando los tubos tienen pequeños espesores de pared. Muchas veces se usan para fijar elementos pero no para transmitir fuerzas. Como ejemplo se pueden citar los tornillos auto perforantes y los remaches en frío. Cuando los mismos sean utilizados como elementos resistentes, su capacidad se deberá determinar por ensayos particulares adaptados a las condiciones de cada caso. Para los tornillos autoperforantes se establecen algunas consideraciones en la Especificación AISI (2001) y en el Reglamento CIRSOC 303-2009 *Reglamento Argentino de Elementos Estructurales de Acero de Sección Abierta Conformados en Frío*.

C 9.1.3. Pasadores traccionados

En aquellas uniones, en las que por su diseño, existan bulones u otros pasadores que transmitan fuerzas de tracción a la pared de un tubo, se deberá realizar un análisis racional para determinar cuales son los estados límites que se deben considerar. Ellos pueden incluir el mecanismo de líneas de fluencia en la pared y/o el punzonado por aplastamiento, o el arrancamiento en la pared del tubo, además de los estados límites aplicables para los pasadores sometidos a tracción. Por analogía se pueden considerar las especificaciones para tornillos autoperforantes dadas en la Especificación AISI (2001) o en el Reglamento CIRSOC 303-2009 *Reglamento Argentino de Elementos Estructurales de Acero de Sección Abierta Conformados en Frío*.

C 9.2. SOLDADURA

La Especificación base (AISC-HSS) está referida a tubos con espesores de chapa mayores o iguales que **3,2 mm**. Para esos espesores se extienden todas las especificaciones contenidas en la Especificaciones AISC-LRFD y en la AWS D1.1 con sólo alguna particularidad para las uniones soldadas directas entre tubos. Por ello es aplicable en general la Sección **J.2.** del Reglamento CIRSOC 301-2005.

C 9.2.1. Disposiciones generales

Para espesores menores que **3,2 mm** se incluyen especificaciones particulares adoptadas de la Especificación AWS D1.3 incluidas en la AISI y que han sido incorporadas al Reglamento CIRSOC 304-2007 *Reglamento Argentino para la Soldadura de Estructuras en Acero*.

Las uniones soldadas que se utilizan en estructuras tubulares con espesores de pared pequeños son las denominadas **a tope de borde recto** (borde sin preparación), las **a tope acampanadas** y las **de filete**. Por ello, son las especificaciones para estos tipos de soldaduras las que se incluyen en este Reglamento. También se incluyen las uniones soldadas directas entre tubos.

C 9.2.2. Soldaduras a tope de borde recto

Para este tipo de soldadura, las Especificaciones AISI y AWS D1.3 adoptan resistencias de diseño para espesores menores que **3,2 mm** que coinciden con las consideradas para mayores espesores por las Especificaciones AISC-LRFD y AWS D1.1. Por ello se adoptan las resistencias especificadas en la Sección **J.2.4.** del Reglamento CIRSOC 301-2005, con las mismas reducciones de los factores de resistencia al **80 %** de los indicados en la Especificación AISC-LRFD para contemplar las condiciones de nuestro medio.

La soldadura puede ser realizada en cualquier posición de soldado y al ser ejecutada de un solo lado se deberán adoptar precauciones especiales para garantizar la penetración proyectada.

C 9.2.3. Soldaduras a tope acampanadas

Para espesores de chapa pequeños, el modo de falla primario en las soldaduras a tope acampanadas cargadas tanto longitudinal como transversalmente, es el desgarramiento de la chapa a lo largo del contorno de la soldadura (AISI-2001, Comentarios Sección E.2.5). De

la Especificación AISI se adoptan las resistencias de diseño dadas por las expresiones (9.2.1) a (9.2.3) que resultan del citado modo de falla, con una reducción del factor de resistencia acorde con las condiciones de nuestro medio. Para espesores mayores o iguales que **3,2 mm**, el espesor efectivo de garganta puede resultar menor que el espesor de la pared del tubo y la falla de la soldadura puede ser la crítica. La expresión (9.2.4) cubre esta posibilidad y es la misma dada por el Reglamento CIRSOC 301-2005, en la Sección **J.2.4** y en la Tabla **J.2.5**. La definición de los espesores efectivos de garganta en función del radio de la superficie curva exterior para filete enrasado con la superficie, son los dados en el Reglamento CIRSOC 301-2005, que son coincidentes con los especificados de la AISI-2001. De esta especificación se adopta el espesor efectivo de garganta para el caso en que el filete no esté enrasado con la superficie, situación que puede ocurrir en tubos pequeños y no está contemplada en el Reglamento CIRSOC 301-2005.

C 9.2.4. Soldaduras de filete

Según se indica en los Comentarios de la Sección **E.2.4** de la Especificación AISI, las prescripciones para las soldaduras de filete en espesores de chapa pequeños, se basan en investigaciones realizadas en Cornell (Pekoz y McGuire, 1979), donde se ensayaron juntas traslapadas en las que generalmente el lado de la soldadura w_1 (ver la Figura **9.2.8** de este Reglamento) era igual al espesor de la chapa y el lado w_2 igual a dos o tres veces w_1 . En uniones de este tipo el espesor efectivo de garganta es mayor que el definido para filetes de lados iguales.

Se ha encontrado que generalmente el modo de falla de esas juntas con soldaduras de filete se produce por desgarramiento de la chapa adyacente al filete. En la mayor parte de los casos, la mayor resistencia del material de soldadura evita la falla por corte de la soldadura.

Por ello en este Reglamento las resistencias de diseño que resultan de la falla por desgarramiento y que están dadas por las expresiones (9.2.5) a (9.2.7), se adoptan de la Especificación AISI con una reducción del factor de resistencia acorde con las condiciones de nuestro medio. Para espesores mayores o iguales que **3,2 mm**, donde puede resultar crítica la falla por corte de la soldadura, se adiciona la expresión (9.2.8) que es la misma dada por el Reglamento CIRSOC 301-2005, en la Sección **J.2.4** y en la Tabla **J.2.5**.

C 9.2.5. Soldadura de uniones directas

Estas especificaciones se basan en disposiciones similares de la AWS D1.1 y son adoptadas de la Especificación base AISC-HSS. En general la unión se realiza soldando todo el perímetro de la barra de alma, excepto en algunas nudos con recubrimiento. La resistencia de diseño de una unión para una barra soldada a la pared de un tubo es función de los parámetros geométricos de las barras unidas. A menudo ella es menor que la resistencia de la barra y en muchos casos no puede ser aumentada por un aumento de la resistencia de la soldadura. No obstante en tubos rectangulares, la soldadura debe ser proyectada considerando una posible distribución desigual de la fuerza a lo largo de la línea de soldadura. Las especificaciones para la longitud efectiva dadas en esta Sección intentan dar a la unión un comportamiento dúctil, a través de la prevención de la falla progresiva de la soldadura. En la Figura **9.2.10** de este Reglamento se muestran, para una unión **Y**, las variables que intervienen.

Las especificaciones para la longitud efectiva se derivan de resultados experimentales y del límite inferior establecido para la resistencia de la soldadura, en la Sección **J.2.4** del Reglamento CIRSOC 301-2005 las que resultan conservadoras.

En la Especificación AWS D1.1 se pueden encontrar otras indicaciones sobre criterios de diseño racionales tendientes a asegurar un comportamiento dúctil de la unión.

C 9.3. OTRAS ESPECIFICACIONES PARA UNIONES

Las especificaciones de las Secciones **J.4.** a **J.10.** pueden ser aplicadas a las uniones de tubos de la misma forma que a otras partes de la estructura.

Para los tubos se modifica la notación de las resistencias a la rotura por corte y a la rotura por tracción dadas en la Sección **J.4.** del Reglamento CIRSOC 301-2005.

En base a las fallas observadas en los ensayos realizados en uniones de placas simples a tubos (Sherman, 1996) se debe agregar un estado límite de punzonado por corte.

En una placa de espesor t_p , la tensión debida a la fuerza por unidad de longitud será:

$$f t_p$$

Si limitamos esta tensión a la resistencia a corte a través del espesor t de la pared del tubo, para los dos planos soldados a ambos lados de la placa resultará:

$$f t_p \leq 2 (0,6 F_u) t \quad \text{(C-9.3.1)}$$

El criterio para el estado límite de punzonado incluye los factores de resistencia de **0,9** para fluencia y **0,75** para rotura. Para una placa simple unida al tubo, la tensión f es la tensión debida a la flexión que resulta de la carga mayorada actuando con una excentricidad (Sherman y Ales, 1991). Un criterio simple y conservador es hacer f igual a la tensión de fluencia del acero de la placa, F_{yp} , que es el máximo valor posible. Ello reduce la expresión anterior (con los factores de resistencia) a la siguiente:

$$t_p \leq (F_u / F_{yp}) t \quad \text{(C-9.3.2)}$$

La determinación por análisis elástico de las solicitaciones requeridas en las barras de un reticulado se suele realizar suponiendo que las mismas tienen sus extremos articulados. Si bien las uniones directas entre tubos presentan una rigidez a giro en el plano, los momentos flexores secundarios, que por ello se originan, se pueden desprestigiar si la geometría del nudo satisface los límites que se especifican en el artículo **9.4.** y las esbelteces de las barras concurrentes no son demasiado pequeñas.

Para el dimensionado de los **nudos** se puede aceptar una excepción a lo especificado en la Sección **J.5.1.** del Reglamento CIRSOC 301-2005 y no considerar los momentos flexores causados por la excentricidad en las uniones directas soldadas de tubos en reticulados, cuando la excentricidad se encuentre dentro de los límites de aplicabilidad dados en el artículo **9.4.** Esas excentricidades deben estar incluidas en los límites sobre los cuales se basan los criterios para determinar la resistencia de la unión según el artículo **9.4.**

Para el dimensionado de las **barras**, los momentos generados por las excentricidad se pueden despreciar excepto para los cordones comprimidos.

Tanto para **nudos** como para **barras**, si las excentricidades superan los límites dados en el artículo **9.4.**, los momentos flexores generados por ellas se deberán considerar y pueden ser distribuidos entre las barras de acuerdo con su rigidez flexional (longitud sobre radio de giro en el plano).

Los momentos flexores aplicados en los nudos, o resultantes de cargas actuando en las barras, deben ser considerados para el dimensionado del nudo y de las barras concurrentes.

C 9.4. UNIONES DIRECTAS DE TUBOS EN RETICULADOS

Para este artículo se han adoptado como base fundamentalmente las especificaciones del Comité International pour le Développement et L'Étude de la Construction Tubulaire (CIDECT). La Especificación base AISC-HSS no contempla todos los casos incluidos en este Reglamento y permite remitirse a las especificaciones citadas para las situaciones no cubiertas por ella. Además, las especificaciones que adopta para las uniones con tubos rectangulares son las mismas que las del CIDECT, existiendo algunas diferencias de formulación y cuantitativas en las uniones con tubos circulares. Sin embargo, los estados límites y los fundamentos conceptuales del diseño de las uniones son los mismos.

También se debe hacer notar que el EUROCODE 3 reproduce las especificaciones del CIDECT, con mayor amplitud en la versión francesa que en la general. Por ello y a fin de darle a este artículo una unidad conceptual y operativa se han adoptado las especificaciones del CIDECT en forma casi completa, pero utilizando la nomenclatura de la Especificación base AISC-HSS.

Es posible lograr una amplia variedad de configuraciones de nudos en reticulados cuando se sueldan directamente barras de alma a cordones pasantes. Los reticulados pueden ser planos o espaciales y en función de ello resultarán nudos planos o del tipo multiplano. Este Reglamento se limita a dar especificaciones de diseño para algunas configuraciones de nudo que son utilizadas habitualmente en reticulados planos y espaciales utilizados en estructuras de edificios y sobre las cuales existen suficientes ensayos que las respaldan.

En la Figura **9.4.1.** de este Reglamento se esquematizan para uniones con tubos circulares, los nudos planos cubiertos por el Reglamento y se grafica el equilibrio de fuerzas en el nudo que define su designación.

En las respectivas Tablas donde se dan las resistencias de diseño de nudo se esquematizan los casos cubiertos por este Reglamento. Cuando las fuerzas en el nudo se equilibran por combinación de dos mecanismos (cada uno con una resistencia de diseño) la resistencia de diseño del nudo se debe determinar por interpolación entre ambas resistencias en base al porcentaje de carga que transfiere cada mecanismo. Se dan ejemplos sobre lo anterior en la Figura **C.9.4.1.**

Los nudos tipo **K (o N)** con recubrimiento son más costosos y difíciles de fabricar que los nudos con espaciado por el corte, ajuste y soldadura de los extremos de los tubos, especialmente para tubos circulares. El recubrimiento total ($\lambda_{ov} = 100\%$) da lugar a una excentricidad importante ($e \cong - 0,55 D$) pero es de una fabricación más sencilla que el

recubrimiento parcial y da como resultado un nudo con mayor capacidad resistente que el nudo con espaciamiento para tubos y condiciones iguales.

La resistencia de diseño del nudo resulta como una resistencia de diseño a fuerza axial o a momento flexor de la barra de alma.

En las expresiones dadas en las Tablas está incluido el factor de resistencia y se especifica directamente la resistencia de diseño. Esta debe ser mayor o igual que la resistencia requerida de la barra del alma obtenida por análisis estructural.

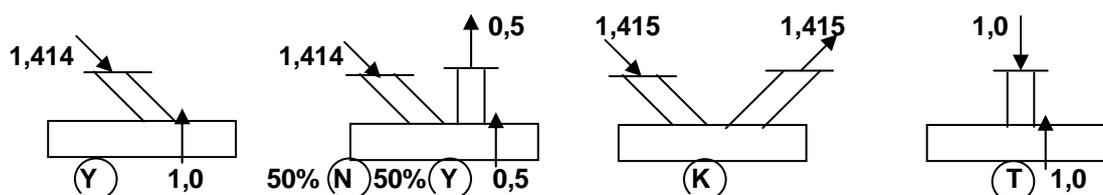


Figura C.9.4.1. Ejemplos de equilibrio de fuerzas para clasificación de nudos (el ángulo entre barras de alma es $\theta = 45^\circ$)

C 9.4.2. Nudos soldados entre tubos circulares

Para los nudos **entre tubos de sección circular**, los estados límites que gobiernan la resistencia de diseño son :

- (1) **Plastificación del cordón:** en las cercanías de la unión de la barra de alma y el cordón resultan fuertes tensiones locales cuyo límite es la tensión de fluencia del acero del cordón.
- (2) **Punzonamiento por esfuerzo cortante:** en cordones con pequeños espesores de pared, las tensiones de corte actuantes a través de la pared y alrededor del perímetro de la barra de alma, pueden producir un desgarramiento del material cuando se supera la resistencia a corte del acero del cordón.
- (3) **Colapso general:** en los nudos en **X** o en otras situaciones donde la fuerza se transfiere a través del cordón se puede producir un aplastamiento del cordón de sección circular.

Las resistencias de diseño axil dadas en la Tabla **9.4.2.** y su campo de validez especificado en la Tabla **9.4.1.** se han adoptado fundamentalmente de las recomendaciones del CIDECT que en general tienen como base las expresiones básicas inicialmente desarrolladas por Kurobane (1981). Las expresiones y los límites de aplicación han sido adoptadas por el EUROCODE 3 y por el Instituto Internacional de Soldadura (IIW, 1989). Se ha incorporado (con su correspondiente factor de resistencia) para nudos en **X**, la resistencia de diseño para el estado límite de colapso general extraído de la Especificación base AISC-HSS por no estar incluido dicho estado límite en el CIDECT.

En las resistencias de diseño axiales dadas por la AISC-HSS se observa que la menor resistencia de un cordón comprimido frente a uno traccionado está reflejada de distinta manera que en el CIDECT, pues para el cálculo del parámetro de interacción de tensiones Q_r

(k_p según CIDECT) se suman cuadrados de tensiones en el cordón debidas a la fuerza axial y al momento, frente a la suma lineal de tensiones del CIDECT. Esto se refleja en los resultados comparativos y las diferencias se hacen importantes en los límites extremos del parámetro γ (cordones gruesos y esbeltos). En la resistencia de diseño a punzonamiento, la AISC-HSS minimiza la influencia del ángulo θ entre las barras. Tampoco la AISC-HSS cubre los nudos **K** con recubrimiento, fundamentando ello en su mayor costo. Por las razones anteriores se han adoptado las especificaciones del CIDECT que además cubren otras configuraciones de nudos planos y los nudos multiplanos.

El efecto de pretensado del cordón se considera a través de la función k_p , según la nomenclatura del CIDECT.

A fin de minimizar las diferencias observadas y compatibilizar los criterios sobre factores de resistencia, se ha considerado un **factor de resistencia de 0,95 sobre las resistencias de diseño** para plastificación del cordón dadas por el CIDECT.

En los nudos sometidos a momento flexor se ha comprobado que la resistencia del nudo para momentos en el plano, es generalmente mucho mayor que para momentos fuera del plano. Esto no se refleja en las fórmulas dadas por la AISC-HSS y sí en las dadas por el CIDECT. Por ello se han adoptado estas últimas y también para mantener la coherencia con lo adoptado para resistencia axial.

Para el estado límite de plastificación del cordón, las expresiones de resistencia se basan en la capacidad de momento plástico del cordón. Para el estado límite de punzonamiento se da la capacidad del momento plástico debido al esfuerzo cortante, aunque la función del ángulo se basa en una aproximación elástica. También se adoptó un **factor de resistencia de 0,95** sobre las resistencias de diseño dadas por el CIDECT.

Para la interacción entre fuerza axial y momento flexor en el nudo se ha adoptado la fórmula del CIDECT, porque considera la mayor severidad del efecto de los momentos fuera del plano frente a los momentos en el plano.

La resistencia del nudo es la menor de las que corresponden a todos los estados límites de falla. Para nudos en **T**, **Y** y en **K** con espaciamiento, el punzonamiento solo es crítico para nudos con cordones gruesos y generalmente con un β pequeño.

En los nudos con recubrimiento, no es crítico el estado límite de punzonamiento. En las expresiones para plastificación de nudo se deberá adoptar el espaciamiento g negativo (**-g**) y la función k_g presentará poca variación al aumentar el recubrimiento.

Como criterio general de diseño se deben elegir diámetros y espesores de barras de alma y de cordones que lleven a una **resistencia de diseño de nudo** para la barra de alma, algo superior a la resistencia de diseño de la barra a las solicitaciones externas (axial y/o momento) a fin de lograr un mejor aprovechamiento del material y de que el nudo no sea crítico. Para ello, en general, el cordón debe ser relativamente grueso y las barras de alma relativamente finas. Con esto también se logra reducir el lado de la soldadura.

En el caso de cordones comprimidos, lo anterior se debe compatibilizar con el hecho de que el mejor comportamiento de la barra a compresión se logra con mayores diámetros y menor espesor, siempre dentro de los límites que permitan la plastificación del cordón. También para facilitar las soldaduras conviene adoptar diámetros de las barras de alma menores que los del cordón.

En vigas reticuladas simplemente apoyadas, en los nudos extremos, el pretensado del cordón es pequeño mientras que las fuerzas axiales de las barras son altas, ocurriendo lo contrario en los nudos centrales. Por ello el efecto de pretensado del cordón (función k_p) no tiene demasiada importancia en este caso. En cambio, **en vigas reticuladas continuas se debe considerar con especial cuidado el efecto del pretensado en los apoyos.**

Los nudos multiplano se utilizan frecuentemente en estructuras tubulares como torres, vigas triangulares o cuadrangulares. Los efectos multiplano son más importantes con respecto a la resistencia y rigidez del mismo tipo de nudo plano, en los nudos **X** dobles. Si las fuerzas actuantes en ambos planos tienen distinto sentido (distinto signo a aplicar en la expresión de la Tabla 9.4.5.) la resistencia del nudo disminuye. Lo contrario ocurre cuando las cargas en ambos planos tienen el mismo sentido. El porcentaje de incremento es el mismo que el de reducción, lo que resulta conservador de acuerdo con los ensayos.

Para nudos multiplano en **T** y **K** en ambos planos, la variación de resistencia con respecto a los nudos planos del mismo tipo será pequeña por lo que la disminución del **10 %** adoptada resulta satisfactoria y simplifica el análisis.

C 9.4.3. Nudos soldados entre barras de alma de sección circular, cuadrada o rectangular y cordón de sección cuadrada o rectangular

Los estados límites que gobiernan la resistencia de diseño de uniones soldadas entre nudos rectangulares o cuadrados son en general:

(1) Plastificación de la cara del cordón: se produce como resultado de la flexión de la cara del cordón donde actúa la barra del alma empujando hacia adentro, hacia fuera o en ambas direcciones según el tipo de nudo.

(2) Punzonamiento por esfuerzo cortante: en cordones con pequeños espesores de pared, las tensiones de corte actuantes a través de la pared y alrededor del perímetro de la barra de alma, pueden producir un desgarramiento del material cuando se supera la resistencia a corte del acero del cordón.

(3) Colapso general: en tubos rectangulares ello ocurre en nudos **T**, **Y** y **X** cuando se supera la resistencia de la pared lateral del cordón ya sea por plastificación (con fuerza en cualquier sentido) o por pandeo localizado (en nudos con carga de compresión de un solo lado) o por pandeo por compresión (cuando existe carga desde ambos lados del cordón).

(4) Rotura por esfuerzo cortante del cordón en el espaciamiento: ocurre en nudos **K** con espaciamiento donde puede producirse la plastificación por corte del cordón.

(5) Desigual distribución de fuerza: en nudos donde la barra del alma tiene un ancho cercano o igual al del cordón, el aumento de rigidez de la cara del cordón desde el centro hacia los lados, concentra la transferencia de fuerza en la barra del alma hacia las paredes del cordón y puede producir la falla prematura de la barra del alma por tracción (o por rotura de la unión soldada) o pandeo local.

En la Figura **C.9.4.2.** se ilustran los estados límites arriba descritos para nudos en **K** con espaciamiento y nudo **T**.

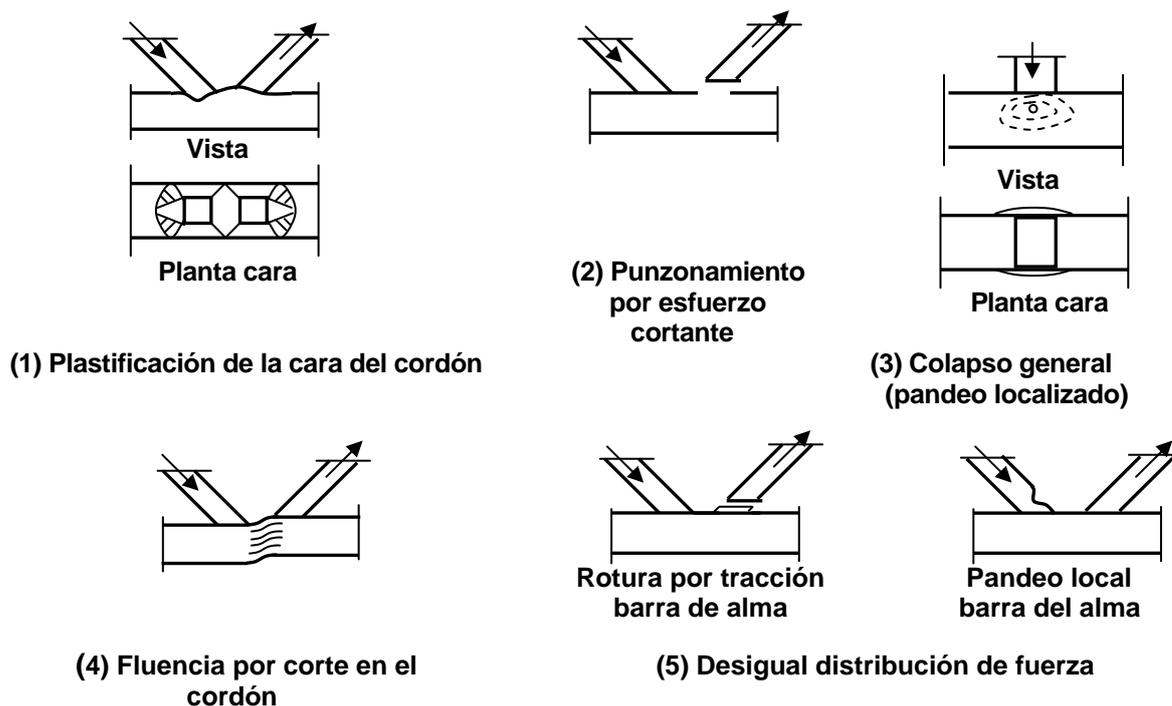


Figura C.9.4.2. Estados límites en uniones entre tubos rectangulares.

Las resistencias de diseño axil dadas en las Tablas 9.4.7. y 9.4.9., y su campo de validez, especificado en las Tablas 9.4.6. y 9.4.8. respectivamente, se han adoptado fundamentalmente de las recomendaciones del CIDECT, que recoge los resultados de numerosos trabajos e investigaciones realizadas en Europa y en los E.E.U.U. Las expresiones y los límites de aplicación han sido adoptados por el EUROCODE 3 y por el Instituto Internacional de Soldadura (IIW, 1989). La Especificación AISC-HSS adopta prácticamente las mismas expresiones. Por ello en este Reglamento se han considerado los factores de resistencia dados en la AISC-HSS.

En los nudos *X*, *Y* y *T*, cuando $\beta \leq 0,85$, el estado límite crítico produce la plastificación de la cara del cordón que está sometida a flexión. Al limitar la tensión a la de fluencia se asegura que las deformaciones en servicio sean aceptables. Cuando el ancho de la barra del alma coincida con el ancho del cordón ($\beta = 1$), la flexión dejará de ser la situación crítica y los estados límites pueden ser la resistencia de la pared lateral del cordón o la falla de la barra del alma por tracción o pandeo local. Para la resistencia de la pared lateral del cordón se ha adoptado como tensión crítica a compresión la especificada en el artículo 4.2. de este Reglamento, considerando una faja de pared del tubo de **1 cm de ancho** y una longitud de pandeo igual a la longitud inclinada de la parte plana de la pared. Para situaciones intermedias de relación entre ancho de la barra del alma y del cordón ($0,85 < \beta \leq 1$), el estado límite determinante puede ser el (1), (2), (3) ó (5). El límite superior de β para el punzonamiento está determinado por la posibilidad física de una rotura de ese tipo, cuando se considera que el corte tiene que estar entre los límites exteriores del ancho de la barra de alma y la cara interna de la pared del cordón.

Para los nudos en *K* y *N* con espaciamento, el estado límite de plastificación también es crítico, en general, cuando la relación entre el ancho de la barra del alma y el ancho del cordón es baja. Cuando β se acerca a 1 o cuando $H < B$ se puede producir la falla por fluencia por corte del cordón en la sección del espaciamento, o por tracción o pandeo

local de la barra del alma por la concentración de fuerza o por punzonamiento. Sobre el límite superior de la relación de anchos, para que sea crítico el punzonamiento, rige lo establecido para las secciones **X** e **Y**. Se ha demostrado que en los nudos con espaciado entre tubos de sección rectangular, la **resistencia de diseño** es prácticamente independiente del tamaño del espaciado. Por ello en las Tablas **9.4.7.** y **9.4.9.** no aparece una función relacionada con el espaciado.

Para la resistencia a fluencia por corte del cordón, se considera la sección transversal A_{go} dividida en dos porciones. La primera es un área que resiste el esfuerzo cortante (A_{vo}), formada por las paredes y una parte del ala superior (αB) que puede soportar interactivamente fuerzas de corte y fuerzas axiales. La segunda ($A_{go} - A_v$) sólo soporta fuerzas axiales. Adicionalmente se debe verificar la **resistencia axial a fluencia del cordón en el espaciado**.

La función Q_f refleja la influencia de la pretensión del cordón. La **resistencia de diseño** disminuye para los cordones con pretensión de compresión. Se adopta para esta función la nomenclatura de la Especificación AISC-HSS para distinguirla de la función k_p utilizada para nudos entre tubos circulares.

La Tabla **9.4.9.** se limita a cordones de sección cuadrada y se deriva de la Tabla **9.4.7.** con parámetros geométricos más limitados. Fuera de los límites establecidos se deberán aplicar las expresiones de la Tabla **9.4.7.** con $B = H$.

Para los nudos **K** y **N** con recubrimiento es **crítico** el **estado límite de desigual distribución de fuerza** en función de la relación de recubrimiento λ_{ov} .

Como criterio general de diseño se deben elegir dimensiones y espesores de barras de alma y de cordones que lleven a una **resistencia de diseño de nudo** para la barra de alma algo superior a la **resistencia de diseño de la barra** a las solicitaciones externas (axil y/o momento) a fin de lograr un mayor aprovechamiento del material y de que el nudo no sea crítico.

Para ello:

- (a) Excepto para nudos con recubrimiento al **100 %**, **los cordones deben en general tener paredes gruesas**. Las paredes rígidas resisten más eficazmente las fuerzas de las barras del alma y la resistencia del nudo aumenta cuando disminuye la relación B/t . Sin embargo para un cordón comprimido el mejor comportamiento frente a fuerza axial se obtiene con mayor dimensión y menor espesor, por lo que ello deberá ser compatibilizado con lo anteriormente dicho.
- (b) Las barras de alma deben en general tener paredes delgadas, pues la eficiencia del nudo aumenta con la relación entre el espesor de la pared del cordón y el espesor de la barra de alma. Además, espesores pequeños de pared de barra de alma exigen menores cordones de soldadura.
- (c) Es conveniente que el ancho del cordón sea mayor que el de la barra de alma para facilitar la ejecución de la unión soldada. Lo ideal es que exista la dimensión necesaria para permitir la ejecución de una soldadura de filete asentada sobre la parte plana del cordón.

- (d) Las uniones con espaciamiento son preferibles a las con recubrimiento pues las barras son más fáciles de preparar, ajustar y soldar. El recubrimiento es conveniente que sea por lo menos del **25 %**.

En vigas reticuladas simplemente apoyadas, en los nudos extremos, el pretensado del cordón es pequeño mientras que las fuerzas axiales de las barras son altas, ocurriendo lo contrario en los nudos centrales. Por ello el efecto de pretensado del cordón (función Q_f) no tiene demasiada importancia en este caso. En cambio, **en vigas reticuladas continuas se debe considerar con especial cuidado el efecto del pretensado en los apoyos.**

Las uniones sometidas a momento flexor en el plano se dan en las vigas tipo Vierendeel donde el ángulo es $\theta = 90^\circ$. Una discusión muy completa sobre el comportamiento de estos nudos se puede consultar en la Guía de diseño N° 3 “Nudos de perfiles rectangulares (RHS) bajo cargas predominantemente estáticas” del CIDECT. Para uniones sometidas a momento flexor en el plano, los estados límites críticos dependen de la relación entre los anchos de la barra del alma y del cordón. Los estados límites son similares a los de nudos en T . En los ensayos no se han observado roturas por punzonamiento del cordón y la rotura del cordón por esfuerzo cortante no corresponde a una verificación del nudo sino de la barra. Por ello los estados límites que pueden ser críticos son los de plastificación de la cara del cordón, falla en la barra del alma por desigual distribución de fuerza y resistencia de la pared lateral del cordón.

El estado límite de plastificación de la pared del cordón es crítico para valores bajos de β . La expresión dada en la Tabla **9.4.11**, está basada en un modelo de líneas de rotura en la cara sometida a flexión (Wardenier, 1982) y está en función del pretensado del cordón. Para valores de β cercanos o iguales a **1** estos límites críticos pueden ser la falla de la barra del alma o de la pared del cordón. La resistencia de diseño por la falla de la barra del alma está basada en la capacidad plástica del montante a flexión con el ancho del ala reducida. La resistencia de la pared lateral del cordón se basa en una distribución plástica en la pared del cordón (en el ancho de $H_{b1} + 5 t$) de tensiones de tracción y compresión que equilibran el momento transmitido por el montante. La máxima tensión en la pared, F_{cr} , depende del tipo de sollicitación y del tipo de nudo.

Para flexión fuera del plano rigen los mismos estados límites. La tensión crítica para resistencia de la pared lateral del cordón se ha adoptado para una longitud de pandeo igual a la altura total del cordón menos dos veces el espesor. Cuando los anchos de la barra del alma y el cordón son parecidos, o iguales, se puede producir la distorsión de la sección transversal del cordón para momentos fuera del plano. Es necesario garantizar que dicha distorsión no se produzca.

Las expresiones incluidas en la Tabla **9.4.11**, son válidas **únicamente para $\theta = 90^\circ$** . No se extienden a otros ángulos por no disponerse de ensayos suficientes.

Los factores de corrección para **nudos multiplano** son adoptados de las Especificaciones del CIDECT y del EUROCODE 3 en su versión francesa.

Si la resistencia de nudo no es la necesaria se puede reforzar localmente el nudo, pero los refuerzos externos o internos del nudo son costosos y generalmente antiestéticos. El refuerzo se puede hacer con placas de refuerzo exteriores o rellenando el cordón con hormigón o mortero, o adoptando un tubo de mayor sección en las cercanías del nudo. Esto último implica la realización de empalmes soldados entre tubos de dimensiones o espesores diferentes lo cual encarece mucho la ejecución. Las Especificaciones sobre el

dimensionado de placas de refuerzo se dan en el artículo **9.4.5.** de este Reglamento. Otras alternativas de refuerzo se pueden obtener en las Guías de Diseño del CIDECT (Cuadernos N° 1 y N° 3) y en la Especificación AWS D1.1.

C 9.4.4. Nudos soldados entre barras de alma de sección circular, cuadrada o rectangular y cordón de sección doble Te

En este artículo se han incorporado especificaciones para nudos formados por barras de alma tubulares que se unen a un cordón de **perfil laminado doble Te**, las que han sido extraídas del EUROCODE 3. Los estados límites son los ya mencionados incluyéndose los que son críticos para el tipo de cordón utilizado. También se ha adoptado un **factor de resistencia de 0,95** para el estado límite de desigual distribución de fuerza y **1** para la plastificación del alma del cordón siguiendo el criterio de la Especificación AISC-HSS para cordones de tubos rectangulares.

C 9.4.5. Uniones soldadas con placas de refuerzo

Hay situaciones en que resulta conveniente reforzar un nudo plano para aumentar su resistencia de diseño sin modificar las secciones de las barras concurrentes. Por ejemplo, en una viga reticulada Tipo Warren o Pratt simplemente apoyada, a fin de utilizar un solo tipo de tubo para todas las diagonales, puede resultar económicamente conveniente reforzar unos pocos nudos cercanos a los apoyos. La utilización de placas de refuerzo soldadas al cordón puede ser una solución satisfactoria que prácticamente no modifica el aspecto del reticulado y proporciona la resistencia adicional necesaria. Además, reduce las deformaciones locales de la unión y consecuentemente las deformaciones del reticulado en su conjunto.

En nudos **K** y **N**, el tipo de refuerzo requerido depende del estado límite que gobierna la falla del nudo. Generalmente los estados límites críticos son la plastificación de la cara del cordón o la fluencia por corte del cordón. En el primer caso (que ocurre generalmente cuando $\beta \leq 1$ y con barras cuadradas) la **resistencia de diseño del nudo** se puede aumentar utilizando un refuerzo con placa de ala. En el segundo caso (que ocurre generalmente cuando $\beta = 1$ y $H < B$) el aumento de **resistencia de diseño** se obtiene con un par de placas laterales. (Ver la Figura **9.4.4** de este Reglamento).

En el **refuerzo con placa de ala** en un nudo K con espaciamiento, para determinar su espesor se puede suponer conservadoramente que la placa reemplaza al ala del cordón y obtener la resistencia de diseño para el estado límite de plastificación del cordón con la expresión correspondiente en la que se reemplaza el espesor del tubo por el espesor de la placa. Para que ello ocurra, debe ser el ancho de la placa igual al ancho del cordón.

También se debe utilizar la tensión del fluencia del acero de la placa. Según Dutta y Würker (1988), para desarrollar la capacidad de las barras de alma se debe verificar que:

$$t_p \geq t_{b2}$$

siendo:

t_{b2} el espesor de la barra de alma traccionada.

La longitud de la placa debe permitir la transmisión de la carga por flexión a las paredes del cordón. Se debe dedicar especial atención a la unión soldada entre la placa y el cordón. Los filetes deben tener como mínimo un espesor de garganta igual al espesor de pared de la barra de alma adyacente. El espaciamiento entre las barras de relleno debe permitir su soldadura a la placa en forma independiente. La placa se debe soldar al cordón toda alrededor para impedir la corrosión en las dos superficies interiores.

Para evitar el recubrimiento parcial de una barra de alma por otra en un nudo en K con recubrimiento, se puede soldar cada barra de alma a un refuerzo como se indica en la Figura **9.4.5.(a)** y **(b)**. Se recomienda que la placa tenga un espesor no menor al doble de la suma de los espesores de las barras de alma. La unión indicada en la Figura **9.4.5.(c)** no desarrolla la resistencia de diseño de una unión K con recubrimiento por lo que no puede ser utilizada.

Cuando sean necesarias **placas laterales de refuerzo** en nudos K, con espaciamiento para aumentar la **resistencia de diseño** para el estado límite de fluencia por corte del cordón, se podrá adicionar el área de las placas laterales al área del alma del cordón. En este caso no hay colaboración del ala del cordón y las placas de refuerzo deben tener la misma altura del cordón. La **resistencia de diseño** se puede obtener con la expresión correspondiente utilizando como A_v el área antedicha.

En nudos en **T**, **Y** y **X** cuando el estado límite crítico es la plastificación de la cara del cordón (que ocurre cuando $\beta \leq 0,85$) también se puede incrementar la resistencia de diseño con una placa de refuerzo de ala. Cuando el estado límite crítico sea la resistencia de la pared lateral del cordón se podrá aumentar la resistencia de diseño con un par de placas laterales de refuerzo en forma similar al caso del nudo K con espaciamiento.

En nudos **T**, **Y** y **X** con **refuerzo con placa de ala** existe una diferencia de comportamiento según la barra de alma esté traccionada o comprimida. Cuando la fuerza sea de **tracción**, la placa tenderá a levantarse y comportarse como una placa empotrada (por su unión soldada) en sus cuatro bordes. Por ello la resistencia depende solamente de la geometría y propiedades de la placa y no de la cara del cordón. La teoría de líneas de rotura para placa rectangular lleva a la expresión **9.4.6.1** con **factor de resistencia igual a 1**. Para poder desarrollar el esquema de líneas de rotura, la placa de refuerzo deberá tener una mínima longitud y para lograr una adecuada transferencia de carga a las paredes laterales deberá tener un ancho igual al del cordón.

Cuando la carga es de **compresión** se puede esperar que la placa y la cara del cordón trabajen conjuntamente. De acuerdo con estudios realizados (Korol y otros, 1982) se garantiza que la resistencia de diseño del nudo sea mayor que la de la barra de alma cuando se cumplen las condiciones dadas en el artículo 9.4.5.4.(B) de este Reglamento. El límite superior razonable para utilizar la teoría de líneas de rotura es $\beta \leq 0,85$. Para garantizar la resistencia de la unión es necesario que no falle la pared lateral del cordón, por lo que se exige verificar ese estado límite.

En nudos en **T**, **Y** y **X** con **placas de refuerzo laterales**, la resistencia de diseño para el estado límite de resistencia de la pared lateral del cordón se puede obtener adicionando el espesor de la placa al espesor de la pared del cordón. Ello siempre que la altura de la placa sea la misma que la del cordón y la placa tenga una longitud suficiente para desarrollar su resistencia.

C 9.5. UNIONES CON BRIDAS ABULONADAS Y SOMETIDAS A TRACCIÓN

Para realizar uniones en obra entre subconjuntos fabricados en taller son preferibles las uniones abulonadas. Dentro de éstas tienen un comportamiento particular las realizadas con bridas soldadas a tubos y sometidas a tracción. Las bridas utilizadas para tubos de sección circular son generalmente circulares y rectangulares las soldadas a tubos de sección rectangular.

Se han realizado numerosas investigaciones para uniones con brida de **tubos circulares** que se han traducido en algunas reglas simples y cuantitativas para su diseño tales como las recomendaciones de la Japanese Recommendations for the Design and Fabrication of Tubular Structures in Steel (1990) que se transcriben en la Guía de Diseño N° 1 (Perfiles CHS) del CIDECT. En general, los tipos de rotura que se han supuesto para definir las especificaciones de diseño son los causados por la plastificación de la brida y no los resultantes de la rotura a tracción de los bulones de alta resistencia. Se ha considerado que el efecto palanca sobre los bulones consume un tercio de la resistencia total de los mismos en que se debe alcanzar el límite de fluencia del tubo. Las expresiones (9.5.1) y (9.5.2) de este Reglamento para el espesor de la brida y el número de bulones respectivamente, son adoptadas del CIDECT y se originan en investigaciones de Igarashi S. y otros, (1985). La dimensión e_1 debe ser lo más pequeña posible para minimizar el efecto palanca, pero el espacio entre la tuerca y el filete de soldadura de brida y tubo debe ser como mínimo de **5 mm**.

En uniones con bridas de tubos **rectangulares** resulta más efectiva la brida abulonada en dos lados opuestos (ver la Figura **9.5.3**. de este Reglamento) que la abulonada en cuatro lados (ver la Figura **9.5.4**. de este Reglamento).

Para bridas **abulonadas en dos lados opuestos**, las investigaciones (Packer y otros, 1989) han demostrado que mediante la selección de parámetros de unión específicos, se puede desarrollar completamente la resistencia a tracción del elemento abulonando únicamente dos lados de la brida. Esta forma de unión se presta a realizar su análisis como el de un problema de efecto palanca de dos dimensiones. Sin embargo, los resultados de la investigación indicaron que los modelos tradicionales del efecto palanca desarrollados para placa frontal no se correlacionaban bien con los resultados de los ensayos. Una de las razones principales para dicha discrepancia fue atribuida a la posición de las líneas de articulación plástica de convexidad hacia el exterior que tendían a formarse dentro del espesor del tubo y no en su borde exterior. Por ello se propuso un procedimiento modificado con respecto al de placa frontal de Struik y Back (1969) redefiniendo algunos de los parámetros en él utilizados. El procedimiento fue verificado frente a una serie de posibles mecanismos de rotura basados en los tipos de rotura observados en los ensayos. Para reflejar la localización de la expresión (9.5.3), (Ver la Figura **9.5.3**. de este Reglamento). El parámetro α' (utilizado en el modelo de placa frontal de Struik y Back) es la relación entre el momento flexor por unidad de ancho de placa en la línea de bulones y el momento flexor por unidad de ancho de placa en la articulación plástica interna (ver la Figura **J.3.2.**, Reglamento CIRSOC 301-2005, M_{u2}/M_{u1}). Para el caso límite de una placa rígida $\alpha' = 0$, y para el caso límite de una placa flexible doblemente curvada, con línea de articulación plástica tanto en la línea de bulones como en el borde de la pared del tubo, $\alpha' = 1$. Por ello en el modelo de Struik y de Back se limita al intervalo $0 \leq \alpha' \leq 1$. Para las bridas analizadas, el campo de validez se cambió simplemente a $\alpha' \geq 0$.

Por ello, un método de diseño adecuado para la unión con bridas abulonadas en dos lados opuestos sería determinar inicialmente el número, tipo y tamaño de los bulones requeridos en función de la fuerza de tracción aplicada F_u y con un margen para considerar el efecto

palanca. Se puede considerar una reserva para el efecto palanca de entre el **20 %** y el **40 % de la resistencia a tracción del bulón**. A partir de esto se deberá determinar una disposición adecuada de los bulones en la unión. El paso p de los bulones se puede adoptar entre 3 y 5 diámetros para asegurar la colocación y la colaboración de toda la placa. La distancia al borde a debe ser aproximadamente **1,25 b** . El efecto palanca disminuye al incrementarse a hasta **1,25 b** , más allá de lo cual no existe ventaja. Luego el máximo a efectivo (a_e) debe ser **1,25 b** . A partir de la relación α' y de la relación de área neta y bruta δ , se puede obtener la resistencia de diseño de la unión (expresión 9.5.8). Si resultara $\alpha' < 0$ (placa rígida) se tomará $\alpha' = 0$ en la expresión 9.5.8. Obviamente, para que el tubo sea totalmente efectivo debe ser la resistencia de diseño de la unión mayor o igual que la resistencia a tracción requerida. Si esto no ocurre se deberá rediseñar la unión para que no sea crítica. La resistencia requerida en los bulones resulta la suma de la debida a la carga externa más el efecto palanca (expresión 9.5.10). Los bulones deberán estar pretensados para asegurar la transmisión de la fuerza de tracción.

Para evitar el efecto palanca y mejorar considerablemente el comportamiento de la unión frente a los efectos de fatiga se pueden colocar separadores entre placas alineados con los lados del tubo **RHS** y paralelos a la línea de bulones (ver la Figura **C.9.5.1.**).

También si la brida estuviese sometida a cargas repetidas, ella debe tener la suficiente rigidez para que virtualmente no tenga deformación ($\alpha' < 0$).

En bridas **abulonadas en los cuatro lados** todavía no se ha desarrollado un procedimiento de diseño confiable por lo que su dimensionado deberá ser basado en **ensayos fehacientes**. La posición de las líneas internas de plastificación y la incidencia del efecto palanca sobre la resistencia requerida en los bulones depende de la distribución de los bulones en la brida.

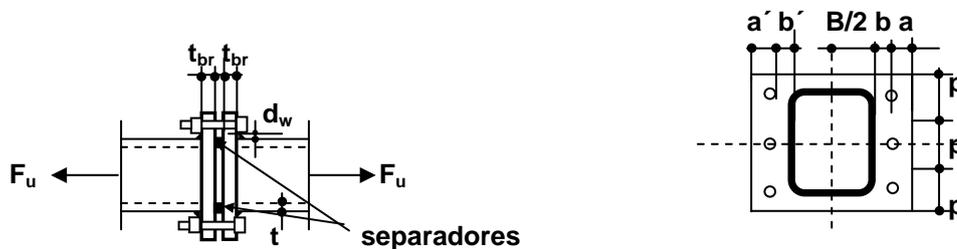


Figura C.9.5.1. Brida abulonada en dos lados opuestos con separadores. Tubo rectangular.

C 9.6. BARRAS DE ALMA DE SECCIÓN CIRCULAR CON EXTREMOS APLASTADOS

La pendiente del extremo aplastado de las barras de sección circular debe ser suave para evitar la concentración de tensiones. Para ello no se debe superar una relación **1:4** para pasar de la sección tubular a la parte plana.

Para relaciones D/t mayores que **25**, el radio de giro de la parte plana resulta menor que el **10 %** del radio de giro del tubo, lo que, en la mayoría de los casos, provoca una disminución significativa de la resistencia a compresión de la barra.

El aplastamiento debe ser simétrico con respecto al eje del tubo. Si ello no se cumple aparecerán momentos flexores en la barra que aún siendo pequeños pueden hacer colapsar la parte plana de la misma.

El aplastamiento limita en general el grado de empotramiento de la barra de alma en el cordón, por lo que resulta conveniente considerar los extremos articulados.

Si la barra de alma es poco esbelta (barras cortas) aumenta la incidencia de la porción de la misma con menor momento de inercia (parte plana y transición) lo que reduce la resistencia a pandeo flexional.

Las barras de alma con extremos aplastados se pueden unir a chapas de nudo con bulones o soldadura. Para cada medio de unión se cumplirán las especificaciones correspondientes. En ambos casos, si la barra de alma está comprimida se debe limitar la dimensión de la parte plana para evitar el pandeo local de la misma y para limitar la incidencia en el pandeo global de la porción con menor momento de inercia. En el caso de unión abulonada la distancia desde el primer bulón al inicio de la transición debe permitir la colocación del mismo.

Para uniones directas de barras de alma con extremos aplastados o aplastados-cizallados a cordones tubulares no se han desarrollado especificaciones generales por lo que en general el Proyecto Estructural de cada caso se deberá basar en ensayos debidamente certificados. Para algunos casos particulares, con campos de validez limitados, existen fórmulas que dan la resistencia de diseño del nudo. Se pueden consultar a tal efecto las Guías de Diseño del CIDECT: N° 1 (tubos **CHS**) para cordones circulares y N° 3 (tubos **RHS**) para cordones rectangulares. La barra de alma aplastada introduce cargas concentradas en el cordón, distribuida longitudinal o transversalmente según que el aplastamiento se realice en el plano o fuera del plano del reticulado, por lo que siempre se deberá verificar ese estado límite con las especificaciones del Capítulo 8.

COMENTARIOS AL CAPÍTULO 10.

FABRICACIÓN DE ESTRUCTURAS TUBULARES

Las especificaciones generales sobre fabricación, montaje y control de calidad contenidas en el Capítulo **M** del Reglamento CIRSOC 301-2005 son también aplicables a las estructuras tubulares. Adicionalmente se han incorporado especificaciones particulares para dichas estructuras.

(1) Dado que el interior de un tubo es difícil de inspeccionar se presenta alguna preocupación con respecto a la corrosión interna del mismo. Sin embargo un buen diseño puede eliminar esa preocupación y la necesidad de una protección que resulte costosa.

La corrosión se produce por la presencia de agua y oxígeno. En un edificio cerrado es improbable que exista una penetración de humedad como para causar una corrosión severa. Por ello, una protección interna contra la corrosión solo debe ser considerada cuando el tubo esté expuesto a la intemperie.

En un tubo sellado, la corrosión interna sólo puede progresar hasta el punto en que se consume el oxígeno y la humedad necesarios para la oxidación química (AISI, 1970). La profundidad de la oxidación es insignificante cuando el proceso de corrosión termina, aún cuando haya existido una atmósfera corrosiva en el momento de realizar el sellado. Si existen pequeñas fisuras en las uniones, el aire y la humedad pueden penetrar al interior del tubo ya sea por acción capilar o por aspiración debida al vacío parcial que se haya creado por un rápido enfriamiento del tubo luego de realizada la unión soldada. Esto se puede prevenir dotando al tubo de agujeros para igualar presiones, ubicados de manera que no permitan la entrada de agua al tubo por gravedad.

Las situaciones donde una práctica conservadora recomienda utilizar un revestimiento interno protector serían las siguientes:

- (a)** tubos abiertos donde sea posible una modificación del volumen de aire por ventilación o donde sea posible una entrada de agua directa.
- (b)** tubos abiertos sometidos a una variación de temperatura que pueda producir condensación de humedad.

En esas situaciones es también prudente adoptar un espesor mínimo de pared de **7,93 mm**.

No se deben sellar los tubos rellenos parcial o totalmente de hormigón o mortero. Ante un eventual incendio el agua contenida en el hormigón se vaporizaría y se podría generar una presión interna que haga reventar el tubo sellado.

También se debe cuidar que no quede agua remanente dentro del tubo, originada antes o durante la construcción. Si ello ocurre, la expansión producida por eventuales congelamientos puede hacer reventar el tubo.

Los tubos con uniones galvanizadas no deberán ser completamente sellados pues los rápidos cambios de presión que ocurren durante el proceso de galvanizado pueden reventar las uniones galvanizadas.

(2) Como resultado de la fabricación, en la superficie exterior de los tubos suele quedar una delgada película de aceite. Si el tubo debe ser pintado, se deberá limpiar esa película con un solvente adecuado.

(3) En las ubicaciones de soldaduras se deberá limpiar con un solvente adecuado la película superficial de aceite resultante del proceso de fabricación, a fin de evitar la contaminación de la soldadura. En los casos en que se coloque en fábrica alguna película superficial protectora del tubo, la misma deberá ser removida en las ubicaciones de soldaduras o bien deberá consultarse con el fabricante la factibilidad de realizar la soldadura en presencia del material de la película de protección.

BIBLIOGRAFÍA

AISC, Seismic Provisions for Structural Steel Buildings, American Institute of Steel Construction, Chicago, IL, 1997.

AISC, Load and Resistance Design Specification for Structural Steel Buildings, American Institute of Steel Construction, Chicago, IL, 1993.

ASCE, Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, American Society of Civil Engineers, Reston, VA, 1995.

AISI, Interior Corrosion of Structural Steel Closed Sections, American Iron Steel Institute, Bulletin 18, February, Washington, DC., 1970.

Bjorhovde R. and P. C. Birkemoe, "Limit State Design of HSS Columns", Canadian Journal of Civil Engineering, Vol 6, No. 2, June (pp 276 – 291), 1979.

Blodgett, O. W., "The Question of Corrosion in Hollow Steel Sections", Welding Design Studies in Steel Structures, Lincoln Electric, D610.163, August, Cleveland, OH, 1967.

Brockenbrough, R. B. and B. G. Johnston, USS Steel Design Manual, United States Steel Corporation, Pittsburgh, PA, 1981.

CSA Standard S16.1 Limit States Design of Steel Structures, Canadian Standards Association, Rexdale, Ontario, Canada, 1994.

Chen, W. F. and D. A. Ross, "Tests of Fabricated Tubular Columns", Journal of the Structural Division, Vol 103, ST3, paper 12809, ASCE, Reston, VA, 1977.

Estuar, F. R. and L. Tall, "The Column Strength of Hot-Rolled Tubular Shapes – An Experimental Evaluation", Fritz Engineering Laboratory Report No. 296.1, Lehigh University, Bethlehem, PA, 1965.

Felton, L. P. and M. W. Dobbs, "Optimum Design of Tubes for Bending and Torsion", Journal of the Structural Division, Vol 93, ST4, paper 5397, ASCE, Reston, VA, 1967.

Galambos, T. V., Guide to Design Criteria for Metal Compression Members, Structural Stability Research Council, John Wiley & Sons, New York, 1988.

Graham, R. R., "Manufacture and Use of Structural Tubing", Journal of Metals, September, 1965.

Hayus, F., Drag Measurements on One Square Section and Two Rectangular Sections with Different Corner Radii, English Translation of CIDECT Report 1–NK1-68-41, September, 1968.

IIW, Design recommendations for Hollow Structural Section Joints – Predominantly Statically Loaded, 2nd. ed., International Institute of Welding Subcommittee XV-E, Doc. XV-582-85, IIW Annual Assembly, Helsinki, Finland, 1989.

Key, P. W. and G. J. Hancock, An Experimental Investigation of the Column Behaviour of Cold-Formed Square Hollow Sections, Research Report R493, University of Sydney, Sydney, Australia, 1985.

Korol, R. M., The Plastic Behaviour of Hollow Structural Sections with Implication for Design, Canadian Structural Engineering Conference, 1972.

Lui, Z. and Goel, S. C., Investigation of Concrete Filled Steel Tubes under Cyclic Bending and Buckling, UMCE Report 87-3, University of Michigan, Ann Arbor, MI, 1987.

Packer, J. A. and Henderson, J. E., Design Guide for Hollow Structural Section Connections, Canadian Institute of Steel Construction, Willowdale, Ontario, Canada, 1992.

Rondal, J., Structural Stability of Hollow Sections, Comite International pour le Developpement et l'Etude de la Construction Tubulaire, Verlag TÜV Rheinland GmbH, Köln, Germany, 1992.

Schilling, C. G., "Buckling Strength of Circular Tubes", Journal of the Structural Division, Vol 91, ST5, paper 4520, ASCE, Reston, VA. 1965.

Sherman, D. R. and Lukas, D. E., "Torsionally Stiff Columns Under Eccentric Loads", Journal of the Structural Division, Vol 96, ST2, paper 7090, ASCE, Reston, VA, 1969.

Sherman, D. R., Local Bucking Behaviour of Tubular Strut Type Beam-Columns, Civil Engineering Department Report, University of Wisconsin-Milwaukee, Milwaukee, WI, 1980.

Sherman, D. R., "Bending Equations for Circular Tubes", Proceedings Annual Technical Session, Structural Stability Research Council, Lehigh University, Bethlehem, PA, 1985.

Sherman, D. R., and Ales, J. M., "The Design of Shear Tabs with Tubular Columns", Proceedings of the 1991 AISC National Steel Construction Conference, AISC, Chicago, IL, 1991.

Sherman, D. R., "Tubular Members", Constructional Steel Design- An International Guide, edited by P. J. Dowling, J. H. Harding, and R. Bjorhovde, Chapter 2-4, pp. 91-104, Elsevier Applied Science, London, England, 1992.

Sherman, D. R., Stability Related Deterioration of Structures, 1995 Theme Conference, Structural Stability Research Council, Lehigh University, Bethlehem, PA, 1995.

SSPC, Steel Structures Painting Manual, Steel Structures Painting Council, Pittsburgh, PA, 1991.

STI, Principle Producers and Capabilities, Steel Tube Institute, Mentor, OH, 1996.

Timoshenko, S., Strength of Materials, Part II, 3rd. ed., D. Van Nostrand Company, Inc., 1956.

Winter, G., Commentary on the Specification for the Design of Cold-Formed Steel Members, American Iron and Steel Institute, Washington, D. C., 1968.

Yang, X. M., "Study of Carrying Capacity of Fabricated Tubular Columns Under Axial Compression", Proceedings Annual Technical Session, Structural Stability Research Council, Lehigh University, Bethlehem, PA, 1987.

INTI

INSTITUTO NACIONAL DE
TECNOLOGÍA INDUSTRIAL



CIRSOC

CENTRO DE INVESTIGACIÓN DE LOS
REGLAMENTOS NACIONALES DE
SEGURIDAD PARA LAS OBRAS CIVILES