

Reglamento CIRSOC 302
Ministerio de Planificación Federal,
Inversión Pública y Servicios
Secretaría de Obras Públicas de la Nación

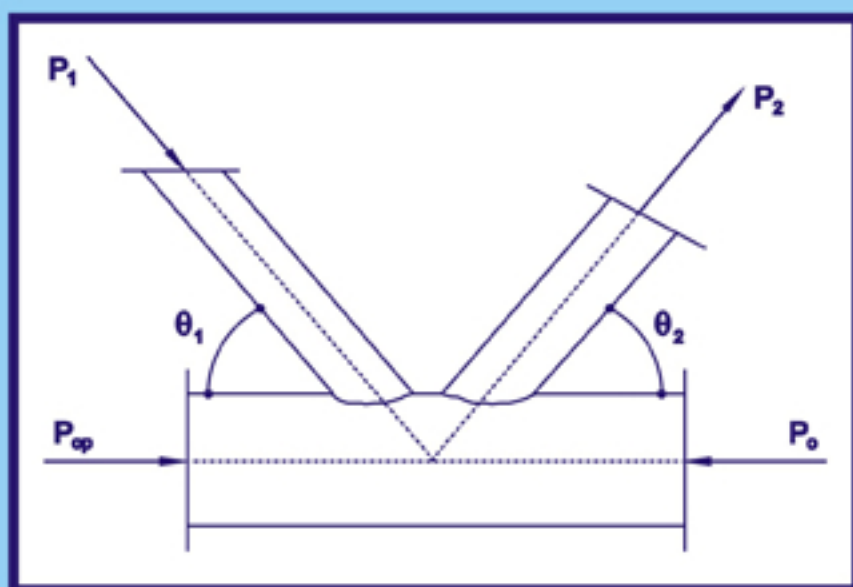
INTI

Instituto Nacional de
Tecnología Industrial



CIRSOC

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



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

Julio 2005

***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 DEL

***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 número de 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>i</i> , en kNm. (9.4.3.2.).
M_{dnoi}	resistencia de diseño de nudo a momento fuera del plano de la barra <i>i</i> , en kNm. (9.4.3.2.).
M_n	resistencia nominal a flexión, en kNm. (5.1.).
$M_{m\acute{a}x}$	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>i</i> , en kNm. (9.4.2.2.).
M_{dnii}	resistencia requerida a momento fuera del plano de la barra <i>i</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 la 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 la Tabla 9.4.7.
- b_{ei(ov)}*** función usada en uniones directas de tubos definida en las 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

SIMBOLOGÍA

CAPÍTULO 1. ESPECIFICACIONES GENERALES

1.1. INTRODUCCIÓN	1
1.2. CAMPO DE VALIDEZ	1
1.3. MATERIALES -NORMAS IRAM E IRAM- IAS DE APLICACIÓN	2
1.3.1. Acero estructural	2
1.3.2. Bulones, tuercas, arandelas y tornillos	2
1.3.3. Material de aporte y fundente para soldadura	3
1.3.4. Propiedades generales del acero	3
1.3.5. Características mecánicas de los tubos para la utilización de las especificaciones dadas en este Reglamento	4
1.4. DIMENSIONES DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL	5
1.5. ACCIONES Y COMBINACIÓN DE ACCIONES	5
1.6. BASES DE PROYECTO	5
1.7. ANÁLISIS ESTRUCTURAL Y ESTABILIDAD	5

CAPÍTULO 2. REQUERIMIENTOS DEL PROYECTO

2.1. ÁREA NETA EFECTIVA PARA BARRAS TRACCIONADAS	7
2.2. PANDEO LOCAL	11
2.2.1. Clasificación de las secciones de acero	11
2.2.2. Análisis estructural mediante método plástico	14
2.2.3. Elementos tubulares sometidos a acciones sísmicas	14
2.3. ESBELTECES LÍMITES	14

CAPÍTULO 3. BARRAS TRACCIONADAS

3.1. RESISTENCIA DE DISEÑO A TRACCIÓN	15
---------------------------------------	----

CAPÍTULO 4. BARRAS COMPRIMIDAS

4.1. LONGITUD EFECTIVA Y LIMITACIÓN DE ESBELTECES	17
4.1.1. Factor de longitud efectiva y esbelteces límites	17
4.1.2. Proyecto con utilización de análisis plástico	17
4.2. RESISTENCIA DE DISEÑO A LA COMPRESIÓN	17

CAPÍTULO 5. VIGAS Y OTRAS BARRAS EN FLEXIÓN

5.1. RESISTENCIA DE DISEÑO A FLEXIÓN	21
5.1.1. Estado límite de plastificación. Resistencia nominal	21
5.1.2. Estado límite de pandeo lateral-torsional. Resistencia nominal	22
5.1.3. Estado límite de pandeo local. Resistencia nominal	24
5.1.4. Proyecto por análisis plástico	26
5.2. RESISTENCIA DE DISEÑO A CORTE	27

CAPÍTULO 6. BARRAS SOMETIDAS A TORSIÓN

6.1. RESISTENCIA DE DISEÑO A TORSIÓN	29
--------------------------------------	----

CAPÍTULO 7. BARRAS SOMETIDAS A SOLICITACIONES COMBINADAS Y TORSIÓN

7.1. BARRAS SOMETIDAS A FUERZA AXIL Y FLEXIÓN	31
7.2. BARRAS SOMETIDAS A SOLICITACIONES COMBINADAS DE TORSIÓN, CORTE, FLEXIÓN Y/O FUERZA AXIL	32

CAPÍTULO 8. FUERZAS CONCENTRADAS SOBRE TUBOS

8.1. FUERZA CONCENTRADA DISTRIBUIDA TRANSVERSALMENTE	35
8.2. FUERZA CONCENTRADA DISTRIBUIDA LONGITUDINALMENTE Y EN EL CENTRO DE LA CARA DEL TUBO	37
8.3. FUERZA AXIL CONCENTRADA EN EL EXTREMO DE UN TUBO RECTANGULAR CON TAPA PLANA	38

CAPÍTULO 9. UNIONES, JUNTAS Y MEDIOS DE UNIÓN

9.1. BULONES, BARRAS ROSCADAS Y OTROS PASADORES	41
9.1.1.(a). Bulones pasantes	41
9.1.1.(b). Uniones tipo de deslizamiento crítico	41
9.1.1.(c). Tamaño de los agujeros	41
9.1.1.(d). Distancia mínima al borde	41
9.1.1.(e). Resistencia al aplastamiento de la chapa en los agujeros	42
9.1.2. Pasadores especiales	44
9.1.3. Pasadores traccionados	44
9.2. SOLDADURA	44
9.2.1. Disposiciones generales	44
9.2.2. Soldaduras a tope de borde recto	44
9.2.3. Soldaduras a tope acampanadas	44
9.2.4. Soldaduras de filete	47
9.2.5. Soldadura de uniones directas	49
9.3. OTRAS ESPECIFICACIONES PARA UNIONES	50
9.3.1. Resistencia a la rotura por corte	51
9.3.2. Resistencia a la rotura por tracción	51
9.3.3. Resistencia a la rotura por punzonado	51
9.3.4. Uniones excéntricas	52
9.4. UNIONES DIRECTAS DE TUBOS EN RETICULADOS	53
9.4.1. Especificaciones generales	53
9.4.2. Nudos soldados entre tubos circulares	55
9.4.2.1. Definición de parámetros y símbolos	55
9.4.2.2. Resistencias de diseño y campo de validez	57
9.4.3. Nudos soldados entre barras de alma de sección circular, cuadrada o rectangular y cordón de sección cuadrada o rectangular	63
9.4.3.1. Definición de parámetros y símbolos	63
9.4.3.2. Resistencias de diseño y campo de validez	64
9.4.4. Nudos soldados entre barras de alma de sección circular, cuadrada o rectangular y cordón de sección “doble Te”	72
9.4.4.1. Definición de parámetros y símbolos	72
9.4.4.2. Resistencias de diseño y campo de validez	73
9.4.5. Uniones soldadas con placas de refuerzo	76
9.4.5.1. Refuerzo con placa de ala en nudos K y N con espaciamiento	76
9.4.5.2. Refuerzo con placa lateral en nudos K y N con espaciamiento	77
9.4.5.3. Placas de refuerzo en nudos en K con recubrimiento	78
9.4.5.4. Refuerzo con placa de ala en nudos T , Y y X	78
9.4.5.5. Refuerzo con placa lateral en nudos T , Y y X	79
9.5. UNIONES CON BRIDAS ABULONADAS Y SOMETIDAS A TRACCIÓN	80
9.5.1. Tubos de sección circular con bridas circulares	80

9.5.2. Tubos de sección rectangular con brida rectangular	82
9.5.2.1. Brida abulonada en dos lados opuestos	82
9.5.2.2. Brida abulonada en cuatro lados	84
9.6. BARRAS DE ALMA DE SECCIÓN CIRCULAR CON EXTREMOS APLASTADOS	84
CAPÍTULO 10. FABRICACIÓN DE ESTRUCTURAS TUBULARES	87
ANEXO I. EXPRESIONES CONTENIDAS EN ESTE REGLAMENTO EN FUNCIÓN DE E	AI-1
ANEXO II. PARÁMETROS GEOMÉTRICOS Y MECÁNICOS	AII-1

CAPÍTULO 1. ESPECIFICACIONES GENERALES

1.1. INTRODUCCIÓN

Este Reglamento establece los requisitos mínimos para el proyecto de elementos estructurales de acero realizados con tubos con y sin costura, y de sus uniones, siendo complementario del **Reglamento CIRSOC 301-2005 Reglamento Argentino de Estructuras de Acero para Edificios**, del cual se han adaptado algunas especificaciones con el fin de mantener en general sus procedimientos operativos para las secciones tubulares rectangulares y cuadradas que tienen dos almas y particulares tolerancias de espesor de pared en los tubos con costura. Se incluyen especificaciones para las uniones directas de barras tubulares en reticulados.

Este Reglamento consta de Capítulos y Comentarios a los Capítulos. Los Capítulos son prescriptivos, mientras que los Comentarios ayudan a la comprensión de las prescripciones, presentando los antecedentes y los fundamentos de las mismas.

1.2. CAMPO DE VALIDEZ

Este Reglamento se aplica para el proyecto de elementos estructurales resistentes de acero realizados con tubos de uso estructural **con costura** y **sin costura**, de sección transversal circular (**CHS**) y rectangular (**RHS**) y de sus uniones, que forman parte de estructuras resistentes de acero de edificios destinados a viviendas, locales públicos, depósitos e industrias (incluso los que tengan carácter provisorio como andamios, cimbras, puntales, etc.).

También se aplica a elementos estructurales tubulares que formen parte de las estructuras de soporte de cañerías e instalaciones y de las estructuras resistentes de carteles, marquesinas y similares.

Los **tubos con costura** son aquellos conformados en frío y soldados por resistencia eléctrica con costura longitudinal que satisfacen las normas indicadas en el artículo **1.3.1.**

Los tubos de sección rectangular (**RHS**) incluyen los de sección transversal rectangular y cuadrada con esquinas redondeadas.

Todas las especificaciones del Reglamento CIRSOC 301-2005, son de aplicación excepto aquellas específicamente modificadas por este Reglamento.

Para el Proyecto de elementos estructurales tubulares sometidos a acciones sísmicas se aplicarán también las especificaciones de los **Reglamentos INPRES-CIRSOC 103-Parte I-1991 "Normas Argentinas para Construcciones Sismorresistentes"** (hasta tanto no esté vigente la versión 2010 de esta Parte I) e **INPRES-CIRSOC 103-2005 Reglamento Argentino para Construcciones Sismorresistentes, Parte IV "Construcciones de Acero"**.

Este Reglamento no es de aplicación a:

- tubos rigidizados ni a tubos de acero de uso no estructural.
- elementos estructurales de tubos sometidos a acciones que produzcan efectos de fatiga.
- tubos sometidos a presiones internas.
- elementos estructurales tubulares de secciones compuestas acero-hormigón. Para estas secciones serán de aplicación las especificaciones del **Reglamento CIRSOC 309-2011** **Reglamento Argentino de Estructuras Mixtas** (en preparación).

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

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

En general para cada Proyecto Estructural se deberán adoptar las especificaciones de materiales fijadas en la normas vigentes a la fecha de ejecución del mencionado Proyecto.

Las normas IRAM referidas a bulones, tuercas y arandelas, bulones de anclaje y barras roscadas, indicadas en el artículo 1.3.2., se encuentran en redacción al momento de la entrada en vigencia de este Reglamento. Por esta razón, y hasta tanto no estén disponibles se podrán utilizar las normas ASTM o ISO correspondientes.

Algunas normas IRAM-IAS referidas a metal de aporte y fundente para soldadura, indicadas en el artículo 1.3.3. se encuentran en redacción al momento de la entrada en vigencia de este Reglamento. Por esta razón, y hasta tanto estén disponibles se podrán utilizar las especificaciones AWS correspondientes.

1.3.1. Acero estructural

Las normas IRAM - IAS citadas en este Reglamento son las siguientes:

IRAM-IAS U500-218 Tubos de acero sin costura para uso estructural y aplicaciones mecánicas en general.

IRAM-IAS U 500-2592 Tubos de acero al carbono con costura para uso estructural.

1.3.2. Bulones, tuercas, arandelas y tornillos

Las normas IRAM citadas en este Reglamento son las siguientes:

IRAM 5451 Tuercas de aceros al carbono y aleadas para bulones en servicio bajo alta presión y altas temperaturas. (*)

IRAM 5452 Bulones y pernos de acero al carbono. F_u mínimo: 370 MPa -Tipo A 307. (*)

(*) En preparación

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

1.3.3. Material de aporte y fundente para soldadura

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

- IRAM-IAS U500-127** Soldadura por arco. Electrodo de baja aleación revestidos.
- IRAM-IAS U500-166** Soldadura. Alambres y varillas de acero al carbono para procesos de soldadura eléctrica con protección gaseosa.
- IRAM-IAS U500-232** Soldadura. Alambres y varillas de acero al carbono y de baja aleación para procesos de soldadura eléctrica con protección gaseosa. (*)
- IRAM-IAS U500-233** Soldadura. Alambres tubulares de acero al carbono. (*)
- IRAM-IAS U500-234** Soldadura. Alambres tubulares de acero de baja aleación. (*)
- IRAM-IAS U500-235** Soldadura. Alambres de acero al carbono y fundentes para soldadura por arco sumergido. (*)
- IRAM-IAS U500-236** Soldadura. Alambres de acero de baja aleación y fundentes para soldadura por arco sumergido. (*)
- IRAM-IAS U500-601** Soldadura por arco. Electrodo de acero al carbono revestidos.

(*) En preparación

1.3.4. Propiedades generales del acero

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

1.3.5. Características mecánicas de los tubos para la utilización de las especificaciones dadas en este Reglamento

- **Tubos con costura** (según Tabla 1 de la Norma IRAM-IAS U 500-2592:2004)

Tabla C.1. Características Mecánicas

Denominación del tubo*	Resistencia a la tracción mínima F_u (MPa)		Límite de fluencia mínimo F_y (MPa)			Alargamiento de rotura** mínimo $L_0 = 50 \text{ mm}$ (%)	
	sección circular	sección cuadrada y rectangular	sección circular		sección cuadrada y rectangular	sección circular	sección cuadrada y rectangular
			$D/t \leq 10$	$D/t > 10$			
TE-20	310	310	200	200	220	15	13
TE-22	320-470	320-470	225	215	237	22	20
TE-30	460-610	460-610	310	295	325	19	17
TE-36	500-650	500-650	373	355	390	19	17

* La denominación de estos tubos en sus dos últimos dígitos corresponde a la denominación adoptada en las normas IRAM-IAS U 500-42 e IRAM-IAS U 500-180, que definen la chapa base.

** Debido al envejecimiento natural que experimentan los aceros al carbono, los valores mínimos de alargamiento se garantizan con ensayos realizados inmediatamente después de fabricados los tubos.

- **Tubos sin costura** (según la norma IRAM-IAS U 500-218:2004)

Tabla 1. Características mecánicas

Denominación del tubo	Resistencia a la tracción mínima F_u (MPa)	Límite de fluencia mínimo F_y (MPa)	Alargamiento de rotura mínimo $L_0 = 50 \text{ mm}$ (%)
Grados			
I	310	205	25
II	350	240	24
III	400	290	23
IV	460	315	18

1.4. DIMENSIONES DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL

Para todos los cálculos de parámetros seccionales se utilizarán las **dimensiones nominales**, siempre que se satisfagan las tolerancias especificadas en las normas IRAM-IAS U 500-2592 e IRAM-IAS U 500-218.

1.5. ACCIONES Y COMBINACIÓN DE ACCIONES

Será de aplicación lo especificado en el Reglamento CIRSOC 301-2005 en el Capítulo **A**, Sección **A.4**.

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

- (a) evitar esfuerzos torsores o flexotorsores en elementos no proyectados especialmente para resistir dichos esfuerzos,
- (b) garantizar la estabilidad lateral de elementos planos no arriostrados transversalmente durante el montaje,
- (c) contemplar la posibilidad de inversión del signo de los esfuerzos de flexión, que pueden comprimir elementos que están traccionados en servicio,
- (d) evitar la aplicación de cargas concentradas en elementos no especialmente proyectados para tales acciones,
- (e) analizar la posibilidad de condiciones de apoyo diferentes a las de los estados de servicio,
- (f) considerar la posibilidad de efectos dinámicos durante el montaje,
- (g) considerar sobrecargas especiales de operarios actuando en las secuencias de armado y montaje.

Se deberá garantizar durante la ejecución que no existan estados de carga transitorios no previstos en el Proyecto Estructural, tales como el acopio de materiales sobre cubiertas y entrepisos.

1.6. BASES DE PROYECTO

Es de aplicación lo especificado en el Reglamento CIRSOC 301-2005, Capítulo **A**, Sección **A.5**.

1.7. ANÁLISIS ESTRUCTURAL Y ESTABILIDAD

Será de aplicación lo especificado en el Reglamento CIRSOC 301-2005, Capítulo **C**.

CAPÍTULO 2. REQUERIMIENTOS DEL PROYECTO

2.1. ÁREA NETA EFECTIVA PARA BARRAS TRACCIONADAS

Rigen las especificaciones de la Sección **B.3.** del Reglamento CIRSOC 301-2005, con las siguientes modificaciones y agregados, válidos sólo para los casos indicados:

- (1) El área neta efectiva para barras tubulares traccionadas A_e será determinada con la siguiente expresión:

$$A_e = A U \quad (2.1.1)$$

- (a) Para uniones soldadas continuas alrededor del perímetro del tubo:

$$A = A_g \quad U = 1$$

siendo:

A_g el área bruta del tubo, en cm^2 .

- (b) Para uniones soldadas con chapa de nudo concéntrica y tubo ranurado (ver la Figura 2.1.1.):

$$A = A_n$$

siendo:

A_n el área neta del tubo en la sección ubicada en el extremo de la chapa de nudo, en cm^2 .

$$A_n = A_g - t b_t \quad (2.1.1a)$$

t el espesor de la pared del tubo, en cm.

b_t el ancho total de material removido al ejecutar la ranura., en cm.

U el factor de retraso de corte.

$$U = 1 - (\bar{x} / L) \leq 0,9 \quad (2.1.2)$$

\bar{x} la distancia perpendicular desde el plano de la unión soldada hasta el centro de gravedad de la sección transversal del tubo tributario de la unión soldada (ver la Figura 2.1.2).

- para tubos circulares (**CHS**) con una única chapa de nudo concéntrica (ver la Figura 2.1.2(a)) la expresión será:

$$\bar{x} = \frac{D}{\pi} \quad (2.1.3)$$

- para tubos rectangulares (**RHS**) con una única chapa de nudo (ver la Figura 2.1.2(b)), la expresión será:

$$\bar{x} = \frac{B^2 + 2BH}{4(B+H)} \quad (2.1.4)$$

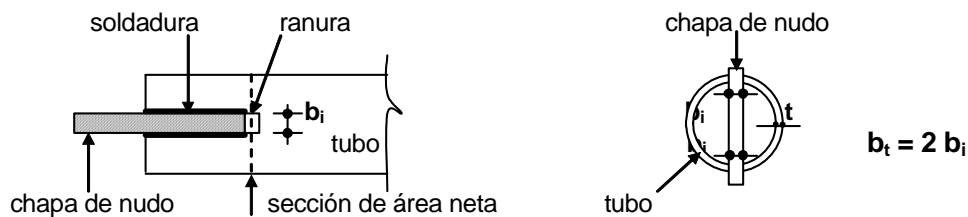


Figura 2.1.1. Área neta a través de la ranura en tubo con una chapa de nudo concéntrica.

- (c) Para uniones soldadas de tubos rectangulares (**RHS**) con un par de chapas de nudo laterales (ver la Figura 2.1.2(c)), la expresión será:

$$A = A_g$$

siendo:

A_g el área bruta del tubo, en cm^2 .

U determinado con la expresión (2.1.2.) donde \bar{x} se obtiene de la expresión (2.1.5)

$$\bar{x} = \frac{B^2}{4(B+H)} \quad (2.1.5)$$

En las expresiones (2.1.1.) a (2.1.5) la simbología representa:

- L** la longitud de la unión soldada en la dirección de la fuerza, en cm.
- D** el diámetro exterior del tubo circular, en cm.
- B** el ancho exterior total del tubo rectangular, en cm.
- H** la altura exterior total del tubo rectangular, en cm.

Este Reglamento permite utilizar mayores valores de U cuando ello se justifique mediante ensayos o criterios racionales.

Para otras configuraciones de unión extrema, U será determinado también mediante ensayos o criterios racionales.

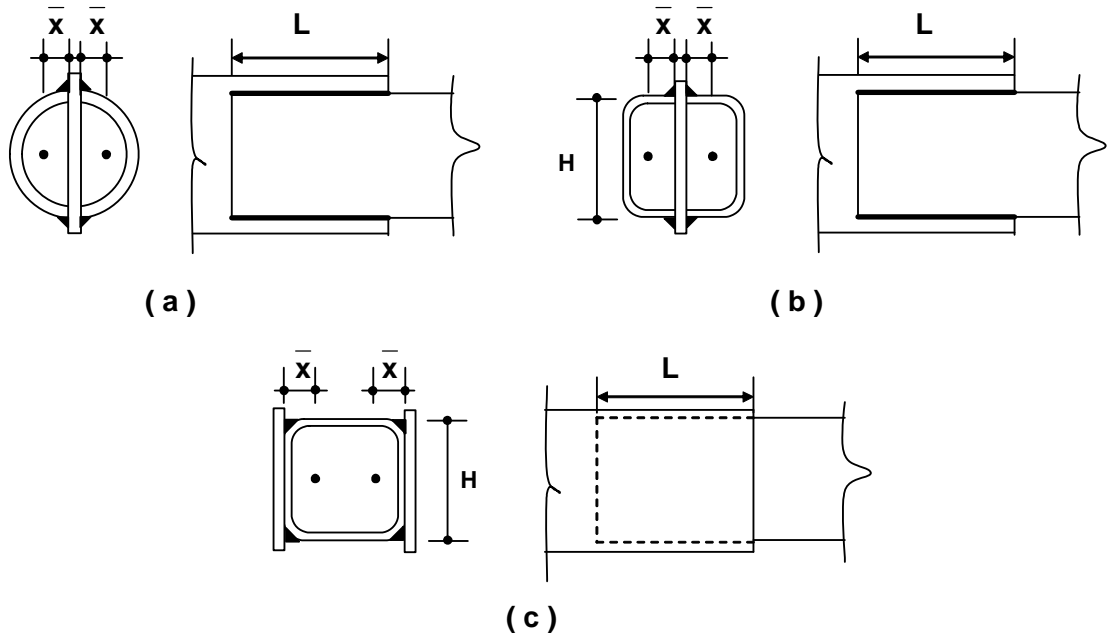


Figura 2.1.2. Determinación de \bar{x} .

- (d) Para la unión abulonada de alguna o todas las caras planas de un tubo rectangular (**RHS**), con un solo agujero o una sola hilera de agujeros perpendicular a la dirección de la fuerza, por cada cara por la que se transmite la fuerza, (ver la Figura 2.1.3(a)), la expresión será:

A = suma de las áreas netas A_{ni} de las caras por las que se trasmite la fuerza
 $A = \sum A_i$

Para la determinación del área neta A_{ni} según la Sección B.2. del Reglamento CIRSOC 301-2005, se considerará como área bruta, A_{gi} , de la cara i , la sección hasta la mitad de las curvas de esquina.

El valor de U se determinará de la siguiente forma:

- cuando se coloquen arandelas bajo la cabeza del bulón y bajo la tuerca a ambos lados de la cara considerada (bulones no pasantes):

$$U = 0,1 + 3 n_1 (d/h) \leq 1 \quad \text{ó} \quad U = 0,1 + 3 n_1 (d/b) \leq 1 \quad (2.1.6)$$

- para bulones pasantes con o sin arandelas, o para bulones no pasantes sin arandelas o con una sola bajo la cabeza del bulón o bajo la tuerca:

$$U = 2,5 n_1 (d/h) \leq 1 \quad \text{ó} \quad U = 2,5 n_1 (d/b) \leq 1 \quad (2.1.7)$$

siendo:

n_1 el número de agujeros en la línea perpendicular a la fuerza.

d el diámetro nominal del bulón, en cm.

b, h según el artículo 2.2.1.

- (2) Para chapas planas traccionadas con unión abulonada con un solo agujero o una sola hilera de agujeros perpendicular a la dirección de la fuerza, (ver la Figura 2.1.3(b)), la expresión será:

$$A_e = U A_n \quad (2.1.8)$$

siendo:

A_e el área neta efectiva de la chapa, en cm².

A_n el área neta de la chapa, en cm².

U su valor se determinará de la siguiente forma:

- cuando se coloquen arandelas bajo la cabeza del bulón y bajo la tuerca:

$$U = 0,1 + 3 n_1 (d / b_p) \leq 1 \quad (2.1.9)$$

- cuando no se colocan arandelas, o se coloca una sola bajo la cabeza del bulón o bajo la tuerca:

$$U = 2,5 n_1 (d / b_p) \leq 1 \quad (2.1.10)$$

siendo:

n_1 el número de agujeros en la línea perpendicular a la fuerza.

d el diámetro nominal del bulón, en cm.

b_p el ancho de la chapa medido en dirección perpendicular a la fuerza, en cm.

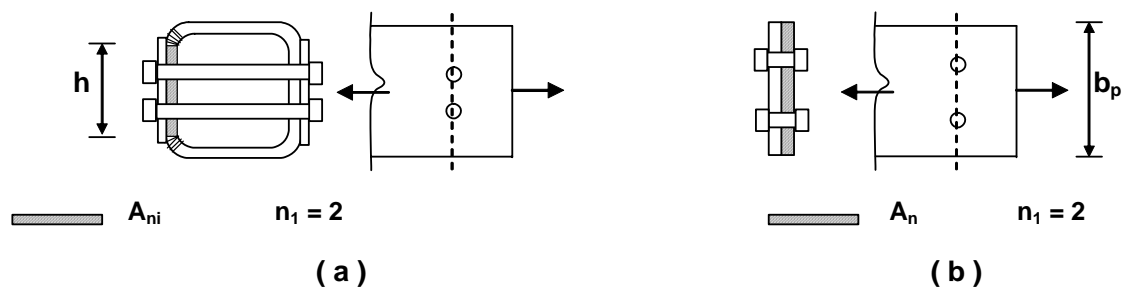


Figura 2.1.3. Área neta efectiva en uniones abulonadas.

2.2. PANDEO LOCAL

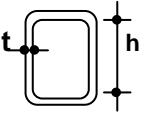
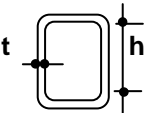
2.2.1. Clasificación de las secciones de acero

A los fines del pandeo local de la pared en compresión, los **tubos** se clasifican en: **compactos**, **no compactos** o con **elementos esbeltos**, según los límites de la relación de esbeltez de la pared λ_p y λ_r dados en la Tabla 2.2.1.

Tabla 2.2.1. Límites de relación de esbeltez para elementos comprimidos

Caso	Descripción del elemento	Elemento	Relación de esbeltez	Límites relación de esbeltez		
				λ_{pp}	λ_p	λ_r
1 a	Tubo circular (CHS) en compresión axial		D/t (a)	No aplicable	No aplicable	0,114 (E/F _y)
1 b	Tubo circular (CHS) en flexión		D/t (a)	0,045 (E/F _y)	0,071 (E/F _y)	0,31 (E/F _y)
2 a	Pared de tubo rectangular (RHS) sin costura con compresión uniforme	 en flexión	b/t ó h/t	$0,939 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1,12 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1,40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$
2 b	Pared de tubo rectangular (RHS) con costura con compresión uniforme	 en compresión axial	b/t ó h/t	$0,875 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1,05 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1,30 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$
3 a	Pared de tubo rectangular (RHS) sin costura como alma en flexión		h/t	$2,00 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$2,42 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$5,70 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$
3 b	Pared de tubo rectangular (RHS) con costura como alma en flexión		h/t	$1,90 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$2,26 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$5,30 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$

Tabla 2.2.1. (continuación)

Caso	Descripción Del elemento	Elemento	Relación de esbeltez	Límites relación de esbeltez		
				λ_{pp}	λ_p	λ_r
4 a	Pared de tubo rectangular (RHS) sin costura como alma bajo combinación de flexión y compresión	 <p>Sección total de alas menor o igual al doble de sección total de alas</p>	h/t	Para $(P_u/\phi_b P_y) \leq 0,125$	Para $(P_u/\phi_b P_y) \leq 0,125$	$5,7 \sqrt{\frac{E}{F_y} \left(1 - \frac{0,74 P_u}{\phi_b P_y} \right)}$
				$2,00 \sqrt{\frac{E}{F_y} \left(1 - \frac{1,85 P_u}{\phi_b P_y} \right)}$	$2,42 \sqrt{\frac{E}{F_y} \left(1 - \frac{2,75 P_u}{\phi_b P_y} \right)}$	
				Para $0,125 \leq \frac{P_u}{\phi_b P_y} \leq 0,33$	Para $0,125 \leq \frac{P_u}{\phi_b P_y} \leq 0,33$	
				$0,92 \sqrt{\frac{E}{F_y} \left(1,86 - \frac{P_u}{\phi_b P_y} \right)}$	$0,92 \sqrt{\frac{E}{F_y} \left(1,86 - \frac{P_u}{\phi_b P_y} \right)}$	
				Para $(P_u/\phi_b P_y) > 0,33$	Para $(P_u/\phi_b P_y) > 0,33$	
				$1,40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1,40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
4 b	Pared de tubo rectangular (RHS) con costura como alma bajo combinación de flexión y compresión	 <p>Sección total de alas menor o igual al doble de sección total de alas</p>	h/t	Para $(P_u/\phi_b P_y) \leq 0,125$	Para $(P_u/\phi_b P_y) \leq 0,125$	$5,3 \sqrt{\frac{E}{F_y} \left(1 - \frac{0,74 P_u}{\phi_b P_y} \right)}$
				$1,90 \sqrt{\frac{E}{F_y} \left(1 - \frac{1,76 P_u}{\phi_b P_y} \right)}$	$2,26 \sqrt{\frac{E}{F_y} \left(1 - \frac{2,75 P_u}{\phi_b P_y} \right)}$	
				Para $0,125 \leq \frac{P_u}{\phi_b P_y} \leq 0,33$	Para $0,125 \leq \frac{P_u}{\phi_b P_y} \leq 0,33$	
				$0,89 \sqrt{\frac{E}{F_y} \left(1,79 - \frac{P_u}{\phi_b P_y} \right)}$	$0,89 \sqrt{\frac{E}{F_y} \left(1,79 - \frac{P_u}{\phi_b P_y} \right)}$	
				Para $(P_u/\phi_b P_y) > 0,33$	Para $(P_u/\phi_b P_y) > 0,33$	
				$1,30 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1,30 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	

(a) D/t deberá ser menor que 0,45 (E / F_y)

Un tubo será **compacto** cuando la relación de esbeltez de la pared λ sea menor o igual que λ_p .

Si λ es mayor que λ_p pero es menor o igual que λ_r , el tubo será **no compacto**. Si λ es mayor que λ_r el tubo será **con elementos esbeltos**.

La **relación de esbeltez de la pared** del tubo λ se determinará de la siguiente forma:

(a) Para **tubos circulares (CHS)**:

$$\lambda = (D / t)$$

siendo:

D el diámetro exterior del tubo, en cm.

t el espesor de la pared del tubo, en cm.

Se deberá verificar que:

$$(D / t) \leq 0,45 (E / F_y) \quad (2.2.1)$$

siendo:

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

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

Los tubos circulares que no satisfacen la expresión **(2.2.1) quedan fuera del alcance de este Reglamento**.

(b) Para **alas de tubos rectangulares (RHS)**:

$$\lambda = (b / t)$$

siendo:

b la distancia libre entre almas menos dos veces el radio interno de esquina. Si el radio interno de esquina no es conocido se permite adoptar **$b = B - 3 t$** .

B el ancho total externo del tubo, en cm.

t el espesor de pared del tubo, en cm.

(c) Para **almas de tubos rectangulares (RHS)**:

$$\lambda = (h / t)$$

siendo:

h la distancia libre entre alas menos dos veces el radio interno de esquina. Si el radio interno de esquina no es conocido se permite adoptar **$h = H - 3 t$** .

H la altura total externa del tubo, en cm.

t el espesor de pared del tubo, en cm.

2.2.2. Análisis estructural mediante método plástico

En aquellas estructuras en que se permite el análisis estructural mediante el método plástico según las especificaciones del Reglamento CIRSOC 301-2005, Capítulo **C**, los tubos deberán satisfacer las especificaciones de la Sección **B.5.2.** del Reglamento CIRSOC 301-2005, Capítulo **B**. La relación de esbeltez de la pared límite λ_{pp} será obtenida de la Tabla **2.2.1.**

2.2.3. Elementos tubulares sometidos a acciones sísmicas

Para estos elementos se deberán cumplimentar también las especificaciones del Reglamento INPRES-CIRSOC 103, Parte IV-2005.

2.3. ESBELTECES LIMITES

En barras comprimidas la esbeltez $(k L) / r$ será menor o igual que **200**.

En barras traccionadas la esbeltez L / r será menor o igual que **300**.

siendo:

k el factor de longitud efectiva para barras comprimidas.

L la longitud real de la barra no arriostrada, en cm.

r el radio de giro de la sección, en cm.

En aquellas barras cuya dimensión sea determinada por una fuerza de tracción, pero que bajo otras combinaciones de cargas estén solicitadas por alguna fuerza de compresión, no será necesario cumplir la limitación de esbeltez establecida para barras comprimidas.

Para barras de arriostramiento en estructuras sometidas a acciones sísmicas serán de aplicación las especificaciones del Reglamento INPRES-CIRSOC 103, Parte IV-2005.

CAPÍTULO 3. BARRAS TRACCIONADAS

3.1. RESISTENCIA DE DISEÑO A TRACCIÓN

La resistencia de diseño de barras traccionadas, $\phi_t P_n$, será el menor valor obtenido de la consideración de los estados límites de :

(a) Fluencia en la sección bruta,

(b) Rotura en la sección neta.

(a) Para fluencia en la sección bruta:

$$\begin{aligned}\phi_t &= 0,90 \text{ para tubos } \mathbf{sin\ costura} \text{ y para tubos circulares } (\mathbf{CHS}) \text{ con } \mathbf{costura}, \\ \phi_t &= 0,85 \text{ para tubos } \mathbf{con\ costura} \text{ rectangulares y cuadrados } (\mathbf{RHS}) \\ P_n &= F_y A_g (10)^{-1} \end{aligned} \tag{3.1.1}$$

(b) Para rotura en la sección neta:

$$\begin{aligned}\phi_t &= 0,75 \text{ para tubos } \mathbf{sin\ costura} \text{ y para tubos circulares } (\mathbf{CHS}) \text{ con } \mathbf{costura}, \\ \phi_t &= 0,70 \text{ para tubos } \mathbf{con\ costura} \text{ rectangulares y cuadrados } (\mathbf{RHS}) \\ P_n &= F_u A_e (10)^{-1} \end{aligned} \tag{3.1.2}$$

siendo:

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

A_g el área bruta del tubo, en cm².

A_e el área neta efectiva del tubo, en cm².

F_y la tensión de fluencia especificada, en MPa.

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

CAPÍTULO 4. BARRAS COMPRIMIDAS

4.1. LONGITUD EFECTIVA Y LIMITACIÓN DE ESBELTECES

4.1.1. Factor de longitud efectiva y esbelteces límites

La esbeltez (kL/r) cumplirá con los límites especificados en el Capítulo 2, artículo 2.3.

El factor de longitud efectiva k para barras comprimidas será determinado según lo especificado en el Reglamento CIRSOC 301-2005, Capítulo C, Sección C.2. con el siguiente agregado para la Sección C.2.3.(4):

- En estructuras trianguladas con diagonales y montantes de tubos soldados alrededor de todo su perímetro a cordones continuos de tubos, el factor de longitud efectiva k , para el **pandeo en el plano** del reticulado, será mayor o igual que:

$k = 0,9$ para los cordones y para las diagonales extremas de vigas trapeciales

$k = 0,75$ para montantes y diagonales excepto diagonales extremas de vigas trapeciales.

4.1.2. Proyecto con utilización de análisis plástico

Será de aplicación lo especificado en el Reglamento CIRSOC 301-2005, Capítulo E, Sección E.1.2..

4.2. RESISTENCIA DE DISEÑO A LA COMPRESIÓN

La **resistencia de diseño** para pandeo flexional de barras axialmente comprimidas se determinará mediante la siguiente expresión:

$$\phi_c P_n$$

siendo:

$\phi_c = 0,85$ para tubos *sin costura* y para tubos circulares (*CHS*) *con costura*.

$\phi_c = 0,80$ para tubos *con costura* rectangulares y cuadrados (*RHS*).

$$P_n = F_{cr} A_g (10)^{-1} \tag{4.2.1}$$

P_n la resistencia nominal a pandeo flexional, en kN.

F_{cr} la tensión crítica, en MPa.

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

$$(a) \text{ Para: } \lambda_c \sqrt{Q} \leq 1,5 \quad F_{cr} = Q (0,658^{Q\lambda_c^2}) F_y \quad (4.2.2)$$

$$(b) \text{ Para: } \lambda_c \sqrt{Q} > 1,5 \quad F_{cr} = \left[\frac{0,877}{\lambda_c^2} \right] F_y \quad (4.2.3)$$

siendo:

F_y la tensión de fluencia especificada, en MPa.

A_g el área bruta del tubo, en cm^2 .

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

$$\lambda = \frac{kL}{\pi r} \sqrt{\frac{F_y}{E}} \quad (4.2.4)$$

k el factor de longitud efectiva.

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

L la longitud real de la barra no arriostrada correspondiente a la respectiva dirección de pandeo, en cm.

Q el factor de reducción por pandeo local.

El **factor de reducción** por pandeo local Q , se determinará con el valor de λ (relación de esbeltez de la pared del tubo) y de λ_r (esbeltez límite), de acuerdo con lo especificado en el Capítulo 2, artículo 2.2).

$$(a) \text{ Para } \lambda \leq \lambda_r \quad Q = 1$$

$$(b) \text{ Para } \lambda > \lambda_r$$

- **Para tubos circulares (CHS)** con $\lambda < 0,45 (E / F_y)$

$$Q = \frac{0,038 E}{F_y (D/t)} + \frac{2}{3} \quad (4.2.5)$$

siendo:

D el diámetro exterior del tubo, en cm.

t el espesor de pared del tubo, en cm.

- Para **tubos rectangulares (RHS)**

$$Q = \frac{\text{Área efectiva } (A_{ef})}{\text{Área bruta } (A_g)} \quad (4.2.6)$$

$$A_{ef} = A_g - 2 [(b - b_e) + (h - h_e)] t$$

b, h = según el artículo 2.2.1., en cm.

- Para **tubos rectangulares sin costura**

$$b_e = 1,91 t \sqrt{\frac{E}{f}} \left[1 - \frac{0,381}{(b/t)} \sqrt{\frac{E}{f}} \right] \leq b \quad (4.2.7a)$$

$$h_e = 1,91 t \sqrt{\frac{E}{f}} \left[1 - \frac{0,381}{(h/t)} \sqrt{\frac{E}{f}} \right] \leq h \quad (4.2.7b)$$

- Para **tubos rectangulares con costura**

$$b_e = 1,91 t \sqrt{\frac{E}{f}} \left[1 - \frac{0,415}{(b/t)} \sqrt{\frac{E}{f}} \right] \leq b \quad (4.2.7c)$$

$$h_e = 1,91 t \sqrt{\frac{E}{f}} \left[1 - \frac{0,415}{(h/t)} \sqrt{\frac{E}{f}} \right] \leq h \quad (4.2.7d)$$

siendo:

$f = \phi_c F_{cr}$ (MPa) (F_{cr} se obtiene de las expresiones (4.2.2) ó (4.2.3) según corresponda),

t el espesor de pared del tubo, en cm.

CAPÍTULO 5. VIGAS Y OTRAS BARRAS EN FLEXIÓN

5.1. RESISTENCIA DE DISEÑO A FLEXIÓN

La *resistencia de diseño a flexión* de un tubo será:

$$\phi_b M_n$$

siendo:

$\phi_b = 0,9$ para *tubos circulares* y para *tubos rectangulares sin costura*

$\phi_b = 0,85$ para *tubos rectangulares con costura*

M_n la resistencia nominal a la flexión, en kNm.

La resistencia nominal a la flexión M_n , será el menor valor obtenido para los siguientes estados límites:

- (a) Plastificación (artículo 5.1.1.)
- (b) Pandeo lateral-torsional (artículo 5.1.2.)
- (c) Pandeo local (artículo 5.1.3.)

5.1.1. Estado límite de plastificación. Resistencia nominal

La *resistencia nominal a flexión* para el estado límite de plastificación será:

$$M_n = M_p = F_y Z (10)^3 \leq 1,5 M_y \quad (5.1.1)$$

siendo:

M_p el momento plástico, en kNm.

M_y el momento elástico : momento para el cual alcanza la fluencia la fibra más alejada del eje neutro = $S F_y (10)^3$, en kNm.

Z el módulo plástico de la sección transversal con respecto al eje de flexión, en cm^3 .

S el módulo elástico de la sección transversal con respecto al eje de flexión, en cm^3 .

F_y la tensión de fluencia especificada, en MPa.

La condición para que se alcance el estado límite de plastificación es que el tubo sea **compacto** según lo especificado en el artículo 2.2.1..

5.1.2. Estado límite de pandeo lateral- torsional. Resistencia nominal

Este estado límite solamente será aplicable a tubos rectangulares no cuadrados sometidos a flexión alrededor del eje principal de mayor momento de inercia.

(I) La resistencia nominal a flexión M_n , para **cargas aplicadas en las almas o en las alas** del tubo se obtiene de la siguiente manera:

(a) Cuando $L_b \leq L_r$

$$M_n = C_b \left[M_p - (M_p - M_r) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_p \leq 1,5 M_y \quad (5.1.2)$$

siendo:

L_b la distancia entre puntos de arriostamiento contra el desplazamiento lateral del ala comprimida, o entre puntos de arriostamiento para impedir la torsión de la sección transversal, en cm.

L_p la longitud lateralmente no arriestrada límite definida en la página siguiente, en cm.

L_r la longitud lateralmente no arriestrada límite definida en la página siguiente, en cm.

M_r el momento límite para pandeo lateral-torsional definido en la página siguiente, en kNm.

En la expresión (5.1.2), C_b es el factor de modificación para diagramas de momento flexor no uniformes, cuando están arriostados los extremos del segmento de viga considerado, que se obtiene de la siguiente expresión:

$$C_b = \frac{12,5 M_{max}}{2,5 M_{max} + 3 M_A + 4 M_B + 3 M_C} \quad (5.1.3)$$

siendo:

$M_{m\acute{a}x}$ el valor absoluto del máximo momento flexor en el segmento no arriestrado, en kNm.

M_A el valor absoluto del momento flexor en la sección ubicada a un cuarto de la luz del segmento no arriestrado, en kNm.

M_B el valor absoluto del momento flexor en la sección ubicada en la mitad de la luz del segmento no arriestrado, en kNm.

M_C el valor absoluto del momento flexor en la sección ubicada a tres cuartos de la luz del segmento no arriestrado, en kNm.

Este Reglamento permite adoptar, conservadoramente, un valor $C_b = 1$ para todos los casos de diagramas de momento flexor. Las expresiones (5.1.4a), (5.1.4b) y (5.1.5a), (5.1.5b) están basadas en la hipótesis conservadora de considerar $C_b = 1$.

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

- La **longitud lateralmente no arriostrada límite**, L_p (cm), será determinada de la siguiente manera:

(1) Para cargas **aplicadas en el alma o en el ala inferior de la viga**:

$$L_p = \frac{1,3 (10^{-4}) r_y E}{M_p} \sqrt{J A_g} \quad (5.1.4a)$$

(2) Para cargas **aplicadas en el ala superior de la viga**:

$$L_p = \frac{1,2 (10^{-4}) r_y E}{M_p} \sqrt{J A_g} \quad (5.1.4b)$$

siendo:

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

J el módulo de torsión, en $\text{cm}^4 \cong \frac{2 t A_o^2}{(B+H-2 t)}$

A_o el área encerrada por la línea media del espesor de pared. Con radio externo de esquina = $2 t$ resulta $A_o = (B - t) (H - t) - 1,932 t^2$

B el ancho exterior total del tubo rectangular, en cm.

H la altura total exterior del tubo rectangular, en cm.

t el espesor de la pared del tubo, en cm.

r_y el radio de giro de la sección con respecto al eje principal de menor inercia, en cm.

M_p el momento plástico, en kNm.

- La **longitud lateralmente no arriostrada límite**, L_r (cm), y el correspondiente momento de pandeo lateral-torsional M_r (kNm), serán determinados de la siguiente manera:

(1) Para cargas **aplicadas en el alma o en el ala inferior de la viga**:

$$L_r = \frac{2 (10^{-3}) r_y E}{M_r} \sqrt{J A_g} \quad (5.1.5a)$$

$$M_r = F_y S_x (10^{-3}) \quad (5.1.6a)$$

(2) Para cargas **aplicadas en el ala superior de la viga**:

$$L_r = \frac{1,8 (10^{-3}) r_y E}{M_r} \sqrt{J A_g} \quad (5.1.5b)$$

$$M_r = F_y S_x (10^{-3}) \quad (5.1.6b)$$

(b) Cuando $L_b > L_r$

$$M_n = M_{cr} \leq M_p \leq 1,5 M_y \quad (5.1.7)$$

siendo:

M_{cr} el momento crítico elástico, en kNm, determinado de la siguiente manera:

(1) Para cargas **aplicadas en el alma o en el ala inferior de la viga**:

$$M_{cr} = \frac{2 (10)^{-3} E C_b}{L_b/r_y} \sqrt{J A_g} \quad (5.1.8a)$$

(2) Para cargas **aplicadas en el ala superior de la viga**:

$$M_{cr} = \frac{1,8 (10)^{-3} E C_b}{L_b/r_y} \sqrt{J A_g} \quad (5.1.8b)$$

(II) Para determinar la resistencia nominal a flexión cuando la **carga esté aplicada por encima del ala superior de la viga**, se deberá realizar un análisis elástico que considere la influencia de la distancia del punto de aplicación de la carga al baricentro de la sección.

5.1.3. Estado límite de pandeo local. Resistencia nominal

La resistencia nominal a flexión, M_n , para el estado límite de pandeo local será:

(a) Para **tubos circulares** con λ , λ_p y λ_r según el artículo 2.2.:

- Para $\lambda \leq \lambda_p$ $M_n = M_p = F_y Z (10)^3 \leq 1,5 M_y$ (5.1.9)

- Para $\lambda_p < \lambda \leq \lambda_r$ $M_n = \left(\frac{0,021 E}{D/t} \frac{E}{F_y} + 1 \right) F_y S (10)^{-3}$ (5.1.10)

- Para $\lambda_r < \lambda \leq 0,45 (E / F_y)$ $M_n = \frac{0,33 E}{D/t} S (10)^{-3}$ (5.1.11)

(b) Para **tubos rectangulares** con λ , λ_p y λ_r según el artículo 2.2.:

(1) Según la relación de esbeltez de pared del **ala**:

- Para $\lambda \leq \lambda_p$ $M_n = M_p = F_y Z (10)^3 \leq 1,5 M_y$ (5.1.12)

- Para $\lambda_p < \lambda \leq \lambda_r$ $M_n = \left[M_p - (M_p - M_r) \left(\frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \right) \right]$ (5.1.13)

siendo:

$$M_r = F_y S (10)^3 \quad (5.1.14)$$

S el módulo elástico resistente de la sección con respecto al eje de flexión, en cm^3 .

- Para $\lambda > \lambda_r$ $M_n = F_y S_{\text{eff}} (10)^3$ (5.1.15)

siendo:

S_{eff} el módulo elástico resistente de la sección efectiva, en cm^3 , determinado con el ancho efectivo del ala comprimida según se trate de:

- Para tubos rectangulares **sin costura**

$$b_e = 1,91 t \sqrt{\frac{E}{F_y}} \left[1 - \frac{0,381}{(b/t)} \sqrt{\frac{E}{F_y}} \right] \leq b \quad (5.1.16a)$$

- Para tubos rectangulares **con costura**

$$b_e = 1,91 t \sqrt{\frac{E}{F_y}} \left[1 - \frac{0,415}{(b/t)} \sqrt{\frac{E}{F_y}} \right] \leq b \quad (5.1.16b)$$

(2) Según la relación de esbeltez del alma ($\lambda_w = h / t$):

- Para $\lambda_w \leq \lambda_p$ $M_n = M_p = F_y Z (10)^3 \leq 1,5 M_y$ (5.1.12)

- Para $\lambda_p < \lambda_w \leq \lambda_r$ $M_n = \left[M_p - (M_p - M)_r \left(\frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \right) \right]$ (5.1.13)

siendo:

$$M_r = F_y S (10)^3 \quad (5.1.14)$$

S el módulo elástico resistente de la sección, en cm^3 .

Los tubos rectangulares de alma esbelta en flexión quedan fuera de los alcances de este Reglamento. Deberá ser: $\lambda_w \leq \lambda_r$ (Casos 3a y 3b, Tabla 2.2.1).

5.1.4. Proyecto por análisis plástico

Este Reglamento permite utilizar el análisis plástico con las condiciones especificadas en el Reglamento CIRSOC 301-2005, Sección **C.1.3.**, para el proyecto de barras con secciones compactas. Los límites de la relación de esbeltez de la pared serán obtenidos de la Tabla **2.2.1**. Para tubos rectangulares flexando alrededor del eje principal de mayor inercia, la longitud lateralmente no arriostrada, L_b , del ala comprimida, adyacente a las ubicaciones de las rótulas plásticas asociadas con el mecanismo de falla, será menor o igual que L_{pd} . El valor de L_{pd} (cm) será determinado con la siguiente expresión:

$$L_{pd} = \left[0,17 + 0,10 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) \right] \left(\frac{E}{F_y} \right) r_y \geq 0,10 \left(\frac{E}{F_y} \right) r_y \quad (5.1.17)$$

siendo:

F_y la tensión de fluencia especificada para el acero del ala comprimida, en MPa.

M_1 el menor momento flexor en valor absoluto en un extremo del segmento no arriostrado considerado, en kNm.

M_2 el mayor momento flexor en valor absoluto en un extremo del segmento no arriostrado considerado, en kNm.

r_y el radio de giro de la sección con respecto al eje principal de menor inercia, en cm.

M_1 / M_2 se adoptará positivo cuando los momentos produzcan doble curvatura y negativo cuando produzcan simple curvatura.

5.2. RESISTENCIA DE DISEÑO A CORTE

La resistencia de diseño a corte de un tubo no rigidizado será:

$$\phi_v V_n$$

siendo:

$\phi_v = 0,9$ para **tubos circulares** y para **tubos rectangulares sin costura**

$\phi_v = 0,85$ para **tubos rectangulares con costura**

V_n la resistencia nominal al corte, en kN.

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

(a) Para **tubos circulares**:

$$(1) \text{ Cuando } \frac{L}{D} \leq \frac{3,2(E/F_y)^2}{(D/t)^{2,5}} \quad (5.2.1)$$

siendo:

$$V_n = 0,3 F_y A_g (10)^{-1} \quad (5.2.2)$$

$$(2) \text{ Cuando } \frac{L}{D} > \frac{3,2(E/F_y)^2}{(D/t)^{2,5}} \quad (5.2.1a)$$

siendo:

$$V_n = 0,5 F_{vcr} A_g (10)^{-1} \quad (5.2.2a)$$

$$F_{vcr} \leq 0,6 F_y \text{ y mayor valor entre } \frac{1,23 E}{(L/D)^{0,5} (D/t)^{1,25}} \text{ y } \frac{0,6 E}{(D/t)^{1,5}}$$

A_g el área bruta del tubo circular, en cm^2 .

L la luz de la viga, en cm.

(b) Para **tubos rectangulares**:

$$V_n = F_n A_w (10)^{-1} \quad (5.2.3)$$

siendo:

A_w el área de almas $A_w = 2 H t$, en cm^2 (5.2.4)

F_n la tensión nominal a corte, en MPa, que se debe determinar de la siguiente manera.

(1) Para $\frac{h}{t} \leq 2,45 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$

$$F_n = 0,6 F_y \quad (5.2.5)$$

(2) Para $2,45 \sqrt{\frac{E}{F_y}} < \frac{h}{t} \leq 3,07 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$

$$F_n = \frac{0,6 F_y \left(2,45 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \right)}{(h/t)} \quad (5.2.6)$$

(3) Para $3,07 \sqrt{\frac{E}{F_y}} < \frac{h}{t} \leq 260$

$$F_n = \frac{4,52 E}{(h/t)^2} \quad (5.2.7)$$

CAPÍTULO 6. BARRAS SOMETIDAS A TORSIÓN

6.1. RESISTENCIA DE DISEÑO A TORSIÓN

La **resistencia de diseño** a torsión será:

$$\phi_T T_n$$

siendo:

$\phi_T = 0,9$ para **tubos circulares** y para **tubos rectangulares sin costura**

$\phi_T = 0,85$ para **tubos rectangulares con costura**

T_n la resistencia nominal a la torsión, en kNm.

La resistencia nominal a la torsión, T_n (kNm), se determinará de la siguiente manera:

$$T_n = F_{cr} C (10)^3 \quad (6.1.1)$$

siendo:

C la constante torsional del tubo, en cm^3 . (Ver el **Anexo II**)

F_{cr} la tensión crítica de corte por torsión, en MPa.

La **tensión crítica de corte**, F_{cr} , será determinada de la siguiente manera:

(a) Para tubos circulares:

F_{cr} será el mayor valor entre:

$$\frac{1,23 E}{(L/D)^{0,5} (D/t)^{1,25}} \text{ y } \frac{0,6 E}{(D/t)^{1,5}} \text{ con } F_{cr} \leq 0,6 F_y \quad (6.1.2)$$

siendo:

L la luz de la viga, en cm.

(b) Para tubos rectangulares:

$$(1) \text{ Para } \frac{h}{t} \leq 2,45 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad F_{cr} = 0,6 F_y \quad (6.1.3)$$

$$(2) \text{ Para } 2,45 \sqrt{\frac{E}{F_y}} < \frac{h}{t} \leq 3,07 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad F_{cr} = \frac{0,6 F_y (2,45 \sqrt{E/F_y})}{(h/t)} \quad (6.1.4)$$

$$(3) \text{ Para } 3,07 \sqrt{\frac{E}{F_y}} < \frac{h}{t} \leq 260 \quad F_{cr} = \frac{4,52 E}{(h/t)^2} \quad (6.1.5)$$

CAPÍTULO 7. BARRAS SOMETIDAS A SOLICITACIONES COMBINADAS Y TORSIÓN

7.1. BARRAS SOMETIDAS A FUERZA AXIL Y FLEXIÓN

La interacción entre flexión y fuerza axil estará limitada por las expresiones (7.1.1) y (7.1.2):

(a) Para $\frac{P_u}{\phi P_n} \geq 0,2$

$$\frac{P_u}{\phi P_n} + \frac{8}{9} \left[\frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}} \right] \leq 1,0 \quad (7.1.1)$$

(b) Para $\frac{P_u}{\phi P_n} < 0,2$

$$\frac{P_u}{2 \phi P_n} + \left[\frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}} \right] \leq 1,0 \quad (7.1.2)$$

siendo:

P_u la resistencia requerida a tracción o a compresión axil en la barra, en kN.

P_n la resistencia nominal a tracción axil determinada de acuerdo con lo especificado en el artículo 3.1. o resistencia nominal a compresión axil determinada según el artículo 4.2., en kN.

M_u la resistencia requerida a flexión de la barra, determinada de acuerdo con lo especificado en la Sección C.1. del Reglamento CIRSOC 301-2005, en kNm.

M_n la resistencia nominal a flexión determinada de acuerdo con lo especificado en el artículo 5.1., en kNm.

x el subíndice relativo al eje de flexión correspondiente al eje principal de mayor inercia, (eje fuerte).

y el subíndice relativo al eje de flexión correspondiente al eje principal de menor inercia, (eje débil).

$\phi = \phi_t$ el factor de resistencia para tracción, según el artículo 3.1.

$\phi = \phi_c$ el factor de resistencia para compresión, según el artículo 4.2.

ϕ_b el factor de resistencia para flexión, según el artículo 5.1.

Para la **flexión biaxial de tubos circulares**, que estén lateralmente no arriostrados a lo largo de su longitud y con condiciones de vínculo tales que el factor de longitud efectiva k , sea el mismo en cualquier dirección de flexión, se permite considerar para el dimensionado, el momento flexor resultante en una dirección:

$$M_{ur} = \sqrt{M_{ux}^2 + M_{uy}^2} \quad (7.1.3)$$

Alternativamente se permite usar las especificaciones del Apéndice **H**, Sección **H.3.(b)** del Reglamento CIRSOC 301-2005.

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

Cuando la resistencia torsional requerida sea significativa ($T_u / \phi_T T_n > 0,2$) la interacción de torsión, corte, flexión y/o fuerza axil será limitada por la expresión (7.2.1).

$$\left(\frac{P_u}{\phi P_n} + \frac{M_u}{\phi_b M_n} \right) + \left(\frac{V_u}{\phi_v V_n} + \frac{T_u}{\phi_T T_n} \right)^2 \leq 1 \quad (7.2.1)$$

siendo:

- P_u la resistencia requerida a tracción o a compresión axil en la barra, en kN.
- P_n la resistencia nominal a tracción axil determinada de acuerdo con lo especificado en el artículo 3.1. o resistencia nominal a compresión axil determinada según el artículo 4.2., en kN.
- M_u la resistencia requerida a flexión de la barra, determinada de acuerdo con lo especificado en la Sección C.1. del Reglamento CIRSOC 301-2005, en kNm.
- M_n el menor valor entre ($F_y S$) y la resistencia nominal a flexión determinada según el artículo 5.1., en kNm.
- S el módulo resistente elástico de la sección, en cm^3 .
- V_u la resistencia requerida a corte en la sección correspondiente a M_u , en kN.
- V_n la resistencia nominal a corte determinada de acuerdo con lo especificado en el artículo 5.2., en kN.
- T_u la resistencia requerida a torsión, en kNm.
- T_n la resistencia nominal a torsión determinada de acuerdo con lo especificado en el artículo 6.1., en kNm.

$\phi = \phi_t$ el factor de resistencia para tracción, según el artículo **3.1**.

$\phi = \phi_c$ el factor de resistencia para compresión, según el artículo **4.2**.

ϕ_b el factor de resistencia para flexión, según el artículo **5.1**.

ϕ_v el factor de resistencia para corte, según el artículo **5.2**.

ϕ_T el factor de resistencia para torsión, según el artículo **6.1**.

CAPÍTULO 8. FUERZAS CONCENTRADAS SOBRE TUBOS

La **resistencia de diseño**, ϕR_n , de tubos **no rigidizados**, en la ubicación de las fuerzas concentradas, será determinada por el criterio que resulte aplicable de los especificados en los artículos 8.1. a 8.3.

8.1. FUERZA CONCENTRADA DISTRIBUIDA TRANSVERSALMENTE (Ver la Figura 8.1.1)

Cuando una fuerza concentrada esté distribuida transversalmente al eje del tubo, la resistencia de diseño, ϕR_n (kN), será determinada según el siguiente procedimiento:

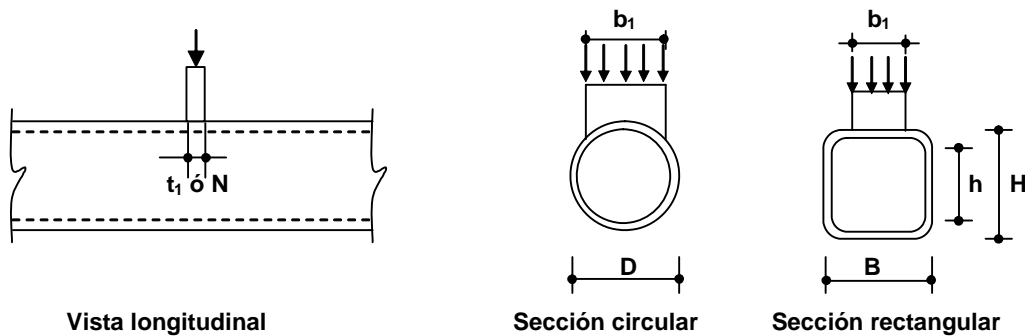


Figura 8.1.1. Fuerza distribuida transversalmente.

(a) **Para tubos circulares:**

$$\phi = 1 \quad R_n = \frac{0,5 F_y t^2}{1 - 0,81 (b_1 / D)} k_p \quad (8.1.1)$$

siendo:

b_1 el ancho de aplicación de la fuerza, en cm.

$k_p = 1$ para tracción en el tubo.

$= 1 - 0,3 (f / F_y) - 0,3 (f / F_y)^2 \leq 1$ para compresión en el tubo.

f el valor absoluto en la ubicación de la carga concentrada, de la máxima tensión de compresión en el tubo debida a la fuerza axial y a la flexión, en MPa.

(b) Para tubos rectangulares:

(1) General:

$$\phi = 1 \text{ (para tubos *sin costura*)}$$

$$\phi = 0,95 \text{ (para tubos *con costura*)}$$

$$R_n = \frac{F_y t}{(B/t)} b_1 \leq F_{y1} t_1 b_1 (10)^{-1} \quad (8.1.2)$$

siendo:

b_1 el ancho de la placa cargada., en cm.

t_1 el espesor de la placa cargada, en cm.

F_{y1} la tensión de fluencia especificada del acero de la placa cargada, en MPa.

(2) Cuando la fuerza esté distribuida en todo el ancho del tubo rectangular se deberá controlar: el estado límite de fluencia local del alma para fuerza de tracción y de compresión, y el estado límite de pandeo localizado del alma para fuerza de compresión.

(2.1) Para fluencia local del alma será:

$$\phi = 1 \text{ (para tubos *sin costura*)}$$

$$\phi = 0,95 \text{ (para tubos *con costura*)}$$

$$R_n = 2 (5 R + N) F_y t (10)^{-1} \quad (8.1.3)$$

(2.2) Para pandeo localizado del alma será:

$$\phi = 0,75 \text{ (para tubos *sin costura*)}$$

$$\phi = 0,70 \text{ (para tubos *con costura*)}$$

$$R_n = 0,16 t^2 [1 + 3 (N/h)] \sqrt{E F_y} \quad (8.1.4)$$

siendo:

R el radio de esquina exterior del tubo. Si no es conocido se puede adoptar $R = 1,5 t$, en cm.

N la longitud de apoyo de la fuerza medida a lo largo del tubo, en cm.

h el ancho plano de la pared lateral del tubo determinado según el artículo 2.2.1., en cm.

(3) Cuando en un tubo rectangular, la fuerza se distribuya en un ancho b_1 tal que:

$$0,85 B < b_1 < B - 2 t$$

la resistencia de diseño será:

$$\phi R_n \text{ (kN)}$$

con :

$$\phi = 1 \text{ (para tubos *sin costura*)}$$

$$\phi = 0,95 \text{ (para tubos *con costura*)}$$

$$R_n = 0,06 F_y t (2 t_1 + 2 b_{ep}) \quad (8.1.5)$$

$$b_{ep} = 10 b_1 / (B / t) \leq b_1$$

(4) Cuando dos fuerzas de compresión actúan conjuntamente sobre dos caras opuestas de un tubo rectangular, se deberá controlar el estado límite de pandeo por compresión del alma. La resistencia de diseño será:

$$\phi R_n \text{ (kN)}$$

con:

$$\phi = 0,9 \text{ (para tubos *sin costura*)}$$

$$\phi = 0,85 \text{ (para tubos *con costura*)}$$

$$R_n = \frac{4,8 t^3 \sqrt{F_y E}}{h} \quad (8.1.6)$$

8.2. FUERZA CONCENTRADA DISTRIBUIDA LONGITUDINALMENTE Y EN EL CENTRO DE LA CARA DEL TUBO (Ver la Figura 8.2.1.)

Cuando la fuerza concentrada se distribuya longitudinalmente a lo largo del eje del tubo, y se ubique en el centro de la cara del mismo, la resistencia de diseño, ϕR_n (kN), será determinada según el siguiente procedimiento:

(a) *Para tubos circulares:*

$$\phi = 1 \quad R_n = 0,5 F_y t^2 (1 + 0,25 N / D) k_p \quad (8.2.1)$$

siendo:

N la longitud de apoyo de la fuerza a lo largo del tubo, en cm.

$k_p = 1$ para tracción en el tubo.

$= 1 - 0,3 (f/F_y) - 0,3 (f/F_y)^2 \leq 1$ para compresión en el tubo.

f el valor absoluto, en la ubicación de la carga concentrada, de la máxima tensión de compresión en el tubo debida a la fuerza axial y a la flexión, en MPa.

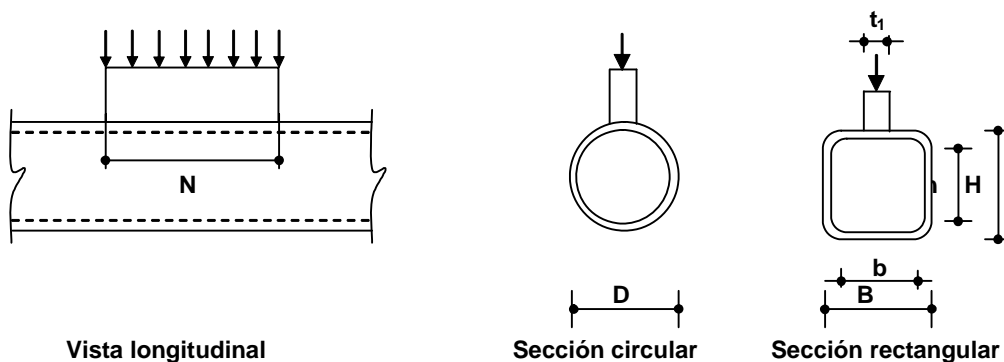


Figura 8.2.1. Fuerza distribuida longitudinalmente.

(b) Para tubos rectangulares:

$\phi = 1$ (para tubos *sin costura*)

$\phi = 0,95$ (para tubos *con costura*)

$$R_n = \frac{F_y t^2}{1 - (t_1/B)} \left[\frac{2N}{B} + 4\sqrt{1 - (t_1/B)} \right] k_p (10)^{-1} \quad (8.2.2)$$

siendo:

t_1 el espesor de la placa cargada, en cm.

8.3. FUERZA AXIL CONCENTRADA EN EL EXTREMO DE UN TUBO RECTANGULAR CON TAPA PLANA (Ver la Figura 8.3.1.)

Cuando actúe una fuerza concentrada en el extremo de un tubo, en la dirección de su eje y a través de una placa plana de tapa, la resistencia de diseño, ϕR_n (kN), deberá ser determinada para cada pared cargada de acuerdo con las siguientes expresiones:

- (a) El estado límite de fluencia local de la pared será controlado para fuerzas de tracción y de compresión. Para el estado límite de fluencia local de la pared se deberá considerar:

$$\phi = 1 \text{ (para tubos *sin costura*)}$$

$$\phi = 0,95 \text{ (para tubos *con costura*)}$$

$$R_n = (5 t_1 + N) F_y t (10)^{-1} \leq B F_y t (10)^{-1} \quad (8.3.1)$$

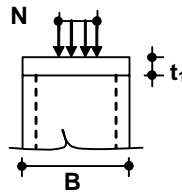


Figura 8.3.1. Fuerza en extremo de tubo rectangular.

- (b) El estado límite de pandeo localizado de la pared será controlado para fuerzas de compresión. Para el estado límite de pandeo localizado de la pared se deberá considerar:

$$\phi = 0,75 \text{ (para tubos *sin costura*)}$$

$$\phi = 0,70 \text{ (para tubos *con costura*)}$$

$$R_n = 0,08 t^2 \left[1 + 3 \left(\frac{N}{B/2} \right) \left(\frac{t}{t_1} \right)^{1,5} \right] \sqrt{E F_y (t_1 / t)} \quad (8.3.2)$$

siendo:

t_1 el espesor de la tapa plana, en cm.

N el ancho de apoyo de la fuerza a lo largo del ancho del tubo, en cm.

CAPÍTULO 9. UNIONES, JUNTAS Y MEDIOS DE UNIÓN

Se aplicarán las disposiciones generales del Reglamento CIRSOC 301-2005 indicadas en la Sección **J.1** (Secciones **J.1.1.** a Sección **J.1.11.**) y toda otra especificación contenida en el Capítulo **J** del mencionado Reglamento no específicamente modificada o ampliada por este Reglamento.

9.1. BULONES, BARRAS ROSCADAS Y OTROS PASADORES

Se aplicarán las especificaciones para bulones y barras roscadas de las Secciones **J.3.1.** a **J.3.11.** del Reglamento CIRSOC 301-2005, con las siguientes modificaciones y agregados.

9.1.1.(a). Bulones pasantes

Cuando la unión se realice con bulones que atraviesan completamente un tubo no rigidizado, los bulones de alta resistencia deberán ser colocados sólo con un ajuste sin juego (Reglamento CIRSOC 301-2005, Sección **J.3.1.**) y la unión será considerada como de tipo aplastamiento. La resistencia al aplastamiento para la pared cargada será:

$$\phi R_n$$

siendo:

$$\phi = 0,75$$

$$R_n = 1,8 F_y d t (10)^t \quad (9.1.1)$$

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

d el diámetro del bulón, en cm.

t el espesor de la pared del tubo, en cm.

9.1.1.(b). Uniones tipo de deslizamiento crítico

Para tubos con espesor de pared menor que **3,2 mm** (1/8 de pulgada) **no se usarán** uniones tipo de deslizamiento crítico.

9.1.1.(c). Tamaño de los agujeros

La Tabla **9.1.1.** se anexará a la Tabla **J.3.3.** del Reglamento CIRSOC 301-2005.

9.1.1.(d). Distancia mínima al borde

La distancia mínima a un borde de un elemento unido, desde el centro de un agujero normal, d_b , será **1,75 d** siendo d el diámetro del bulón.



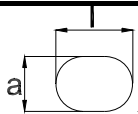
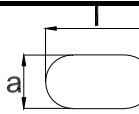
9.1.1.(e). Resistencia al aplastamiento de la chapa en los agujeros

(1) Para uniones abulonadas con espesor de pared del tubo o de la chapa unida, $t \geq 3,2$ mm, se aplicarán las especificaciones de la Sección **J.3.10.** del Reglamento CIRSOC 301-2005, con los siguientes factores de resistencia:

$\phi = 0,75$ para tubos *sin costura* y para tubos circulares (**CHS**) *con costura*,

$\phi = 0,70$ para tubos *con costura* rectangulares y cuadrados (**RHS**).

Tabla 9.1.1. Dimensión nominal de los agujeros

Diámetro de los bulones (mm)	Dimensiones de los agujeros (mm)			
	Normales (diámetro)	Holgados (diámetro)	Ovalado cortos (ancho x largo)	Ovalados largos (ancho x largo)
				
6	7	8	7 x 13	7 x 16
7	8	9	8 x 14	8 x 18
8	9	10	9 x 15	9 x 20
10	12	13	12 x 17	12 x 25
Diámetro en pulgadas	Dimensiones de los agujeros en pulgadas			
1/4	9/32	5/16	9/32 x 1/2	9/32 x 5/8
5/16	11/32	3/8	11/32 x 9/16	11/32 x 7/8
3/8	13/32	7/16	13/32 x 5/8	13/32 x 1
7/16	1/2	9/16	1/2 x 11/16	1/2 x 1 1/8

(2) Para uniones abulonadas con espesor de pared del tubo o de la chapa unida t tal que $0,61 \text{ mm} \leq t < 3,2 \text{ mm}$

la resistencia de diseño al aplastamiento de la chapa en los agujeros será:

$$R_d = \phi R_n$$

siendo:

$\phi = 0,75$ para tubos *sin costura* y para tubos circulares (**CHS**) *con costura*,

$\phi = 0,70$ para tubos *con costura* rectangulares y cuadrados (**RHS**)

La resistencia nominal R_n será determinada de la siguiente manera:

(2a) Cuando la deformación alrededor del agujero para cargas de servicio, no sea una consideración del Proyecto Estructural (deformación permitida):

$$R_n = \text{menor valor entre } \eta L_c t F_u (10^{-1}) \text{ y } C_d m_f d t F_u (10^{-1}) \quad (9.1.2a)$$

siendo:

$\eta = 1,5$ para un bulón en una unión con agujeros normales, holgados u ovalados cortos independientemente de la dirección de la fuerza, o con agujeros ovalados largos con eje mayor paralelo a la dirección de la fuerza.

$\eta = 1,0$ para un bulón en una unión con agujeros ovalados largos con eje mayor perpendicular a la dirección de la fuerza.

$C_d =$ coeficiente tal que: $1,8 \leq C_d = 4 - 0,1 (d/t) \leq 3$ (9.1.2b)

m_f el factor de modificación.

= **0,80** para ambas chapas en uniones de corte simple o para la chapa exterior en uniones de corte doble, cuando se colocan arandelas bajo la cabeza del bulón y bajo la tuerca.

= **0,6** para ambas chapas en uniones de corte simple o para la chapa exterior en uniones de corte doble, cuando no se colocan arandelas o se coloca solamente una bajo la cabeza del bulón o bajo la tuerca.

= **1,065** para la chapa interna en uniones de corte doble, con o sin arandelas.

F_u la resistencia de rotura a la tracción especificada de la chapa, en MPa.

d el diámetro del bulón, en cm.

t el espesor de la parte conectada crítica, en cm.

L_c la distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o el borde del material, en la línea de rotura considerada, en cm.

(2b) Cuando la deformación alrededor del agujero para cargas de servicio sea una consideración del Proyecto Estructural (deformación no permitida):

$R_n =$ menor valor entre $\eta L_c t F_u (10^{-1})$ y $(1,58 t + 1,33) d t F_u (10^{-1})$ (9.1.2c)

$\eta = 1,2$ para un bulón en una unión con agujeros normales, holgados u ovalados cortos independientemente de la dirección de la fuerza, o con agujeros ovalados largos con eje mayor paralelo a la dirección de la fuerza.

$\eta = 1,0$ para un bulón en una unión con agujeros ovalados largos, con eje mayor perpendicular a la dirección de la fuerza.

9.1.2. Pasadores especiales

La resistencia de diseño de pasadores especiales distintos de aquellos incluidos en la Tabla **J.3.2.** del Reglamento CIRSOC 301-2005 será determinada por ensayos Si los mismos están incluidos en el Reglamento CIRSOC 303-2009 *Reglamento Argentino de Elementos Estructurales de Acero de Sección Abierta Conformados en Frío*, se podrán aplicar sus especificaciones.

9.1.3. Pasadores traccionados

Cuando se unan a la pared de un tubo bulones u otros pasadores sometidos a fuerza de tracción, la resistencia de la pared del tubo será determinada por análisis racional, pudiendo aplicarse las especificaciones del Reglamento CIRSOC 303-2009, en forma directa o por analogía.

9.2. SOLDADURA

Las especificaciones del Capítulo **J**, Sección **J.2.** del Reglamento CIRSOC 301-2005 se aplicarán con las siguientes modificaciones y agregados.

9.2.1. Disposiciones generales

Las especificaciones del Reglamento CIRSOC 304-2007 *Reglamento Argentino para la Soldadura de Estructuras en Acero*, serán de aplicación para uniones soldadas donde al menos una de las chapas unidas tenga un espesor menor que **3,2 mm** y para uniones directas de tubos, con las modificaciones y agregados contenidos en los siguientes artículos (artículos **9.2.2.** a **9.2.5.**):

9.2.2. Soldaduras a tope de borde recto

En las soldaduras a tope de borde recto entre chapa y chapa de tubos se adoptarán precauciones especiales para garantizar la penetración proyectada. La resistencia de diseño será la determinada por el Reglamento CIRSOC 301-2005, Sección **J.2.4.** y Tabla **J.2.5.**

9.2.3. Soldaduras a tope acampanadas

Las soldaduras a tope acampanadas cubiertas por este Reglamento pueden ser realizadas en cualquier posición de soldado y comprenden algunas de las siguientes situaciones:

- (1) Chapa con chapa para soldaduras a tope acampanadas en V,
- (2) Chapa con chapa para soldaduras a tope acampanadas en bisel,
- (3) Chapa con chapa gruesa de un miembro de acero para soldaduras a tope acampanadas en bisel.

La **resistencia de diseño al corte**, ϕP_n , de la soldadura a tope acampanada se determinará de la siguiente forma:

- (a) Para soldadura a tope acampanada en bisel cargada transversalmente (ver la Figura 9.2.1.):

$$\phi = 0,50$$

$$P_n = 0,833 t L F_u (10)^{-1} \quad (9.2.1)$$

Este Reglamento **no permite** utilizar soldaduras a tope acampanadas en V cargadas transversalmente.

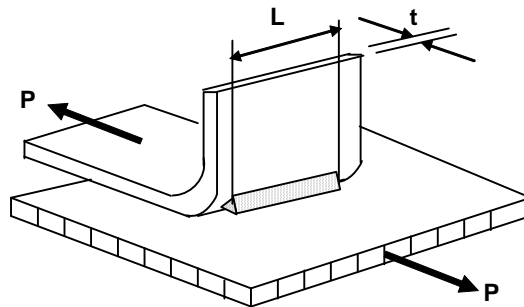


Figura 9.2.1. Soldadura a tope acampanada en bisel cargada transversalmente.

- (b) Para soldadura a tope acampanada cargada longitudinalmente (ver las Figuras 9.2.2. a 9.2.7.)

- (1) Para $t \leq t_w < 2 t$

$$\phi = 0,50$$

$$P_n = 0,75 t L F_u (10)^{-1} \quad (9.2.2)$$

- (2) Para $t_w \geq 2 t$

$$\phi = 0,50$$

$$P_n = 1,50 t L F_u (10)^{-1} \quad (9.2.3)$$

- (c) **Adicionalmente**, cuando $t \geq 3,2 \text{ mm}$, la **resistencia de diseño de una soldadura a tope acampanada**, determinada con las expresiones (9.2.1) a (9.2.3) será menor o igual que:

$$\phi_1 P_{n1}$$

siendo:

$$\phi_1 = 0,65$$

$$P_{n1} = 0,60 t_w L F_{EXX} (10)^{-1} \quad (9.2.4)$$

En las expresiones (9.2.1) a (9.2.4) la simbología utilizada es la siguiente:

P_n, P_{n1} la resistencia nominal de la soldadura, en kN.

L la longitud de la soldadura, en cm.

t_w • el espesor efectivo de garganta de la soldadura a tope acampanada, con el filete a ras con la superficie (ver las Figuras 9.2.4. y 9.2.5.), en cm.

Para soldaduras acampanadas en bisel $t_w = (5/16) R$

Para soldaduras acampanadas en V, $t_w = (1/2) R$. Si $R > 12,7 \text{ mm}$ se debe adoptar $t_w = (3/8) R$.

• el espesor efectivo de garganta de la soldadura a tope acampanada con el filete no enrasado con la superficie $t_w = \text{menor valor entre } 0,707 w_1 \text{ y } 0,707 w_2$ (ver las Figuras 9.2.6. y 9.2.7.), en cm.

Este Reglamento permite espesores efectivos de garganta mayores que los indicados siempre que el fabricante pueda garantizar, por la calificación del procedimiento, que tales espesores pueden ser obtenidos en forma permanente.

Para realizar la calificación se extraerán probetas cortando la sección en dirección perpendicular a su eje, en la mitad de la longitud y en los extremos.

Estas probetas se extraerán de manera que exista un número de combinaciones de distintos tamaños de material representativos del rango a usarse en la fabricación, o según sea requerido por el Proyectista Estructural.

R el radio de la superficie curva exterior, en cm.

w_1, w_2 el lado de la soldadura (ver las Figuras 9.2.6. y 9.2.7.), en cm.

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

F_{EXX} la resistencia mínima especificada del electrodo según clasificación, en MPa.

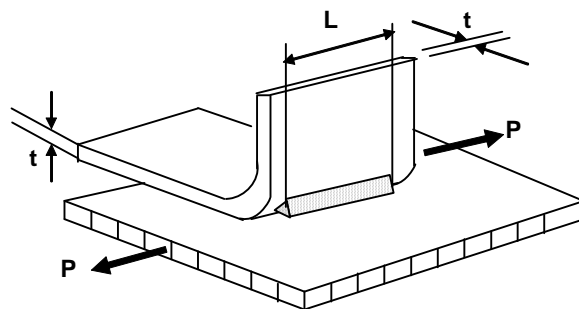


Figura 9.2.2. Soldadura a tope acampanada en bisel cargada longitudinalmente.

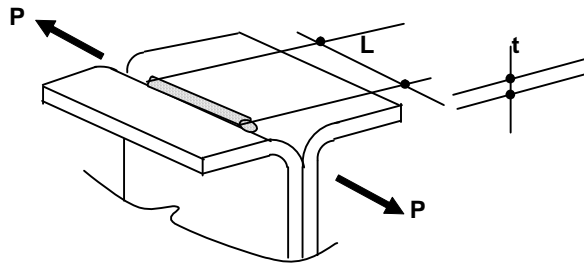


Figura 9.2.3. Soldadura a tope acampanada en V cargada longitudinalmente.

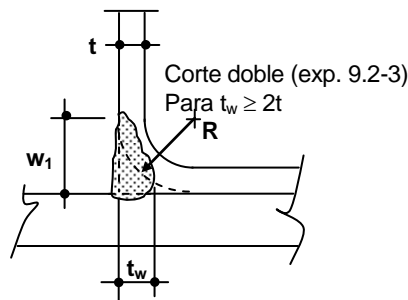


Figura 9.2.4. Soldadura a tope acampanada en bisel (Filete enrasado con superficie $w_1 = R$)

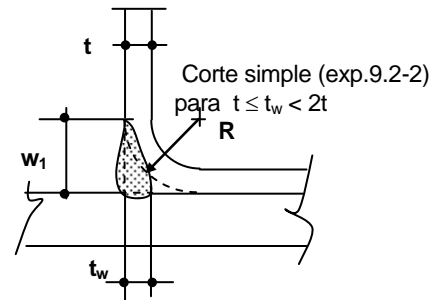


Figura 9.2.5. Soldadura a tope acampanada en bisel (Filete enrasado con superficie $w_1 = R$)

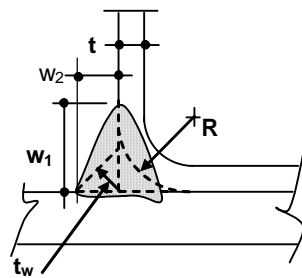


Figura 9.2.6. Soldadura a tope acampanada en bisel (Filete no enrasado con superficie $w_1 > R$)

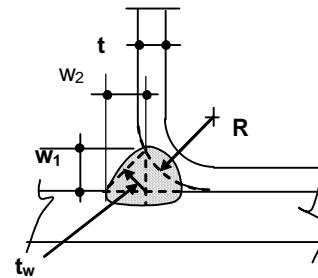


Figura 9.2.7. Soldadura a tope acampanada en bisel (Filete no enrasado con superficie $w_1 > R$)

9.2.4. Soldaduras de filete

Las soldaduras de filete cubiertas por este Reglamento pueden ser realizadas en cualquier posición de soldado y comprenden alguna de las siguientes situaciones:

- (1) Chapa con chapa,
- (2) Chapa con chapa gruesa de algún miembro de acero.

La resistencia de diseño al corte, ϕP_n , de la soldadura de filete se determinará de la siguiente forma:

(a) Para **carga longitudinal**:

(1) Para $(L/t) < 25$: $\phi = 0,55$

$$P_n = \left(1 - \frac{0,01 L}{t} \right) t L F_u (10)^{-1} \quad (9.2.5)$$

(2) Para $(L/t) \geq 25$: $\phi = 0,50$

$$P_n = 0,75 t L F_u (10)^{-1} \quad (9.2.6)$$

(b) Para **carga transversal**:

$\phi = 0,55$

$$P_n = t L F_u (10)^{-1} \quad (9.2.7)$$

siendo:

t el valor mas pequeño entre t_1 y t_2 (ver las Figuras 9.2.8. y 9.2.9.), en cm.

(c) **Adicionalmente**, cuando $t \geq 3,2 \text{ mm}$, la resistencia de diseño de una soldadura de filete determinada con las expresiones (9.2.5) a (9.2.7) será menor o igual que:

$$\phi_1 P_{n1}$$

siendo:

$$\phi_1 = 0,60$$

$$P_{n1} = 0,60 t_w L F_{EXX} (10)^{-1} \quad (9.2.8)$$

En las expresiones (9.2.5) a (9.2.8) la simbología es la siguiente:

P_n, P_{n1} la resistencia nominal del filete, en kN.

L la longitud del filete, en cm.

t_w el espesor efectivo de garganta de la soldadura de filete = $0,707 w_1$ ó $0,707 w_2$, el que sea menor, en cm.

Se puede adoptar un espesor de garganta efectivo mayor si el mismo puede demostrarse mediante medición, y si el filete es ejecutado con un procedimiento de soldado consistente con el valor adoptado.

w_1, w_2 el lado de la soldadura (ver las Figuras 9.2.8. y 9.2.9.), en cm.

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

F_{EXX} la resistencia mínima especificada del electrodo según clasificación, en MPa.

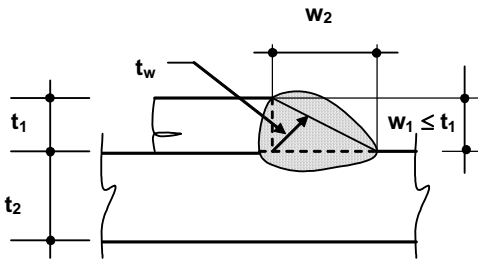


Figura 9.2.8. Soldadura de filete. Junta traslapada

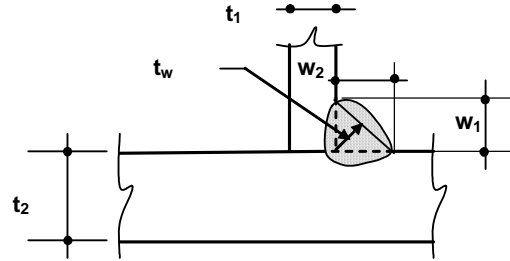


Figura 9.2.9. Soldadura de filete. Junta en Te.

9.2.5. Soldadura de uniones directas

En las **uniones directas**, la unión normalmente se deberá ejecutar alrededor de todo el perímetro del tubo con soldaduras a tope, o de filete, o una combinación de ambas. La resistencia de diseño de la unión soldada deberá ser mayor o igual que la resistencia de diseño de la barra que se une.

En el dimensionado de **uniones directas** entre tubos o uniones similares, se deberá considerar la no uniformidad en la transferencia de la fuerza a lo largo de la línea de soldadura debida a la diferencia de flexibilidad relativa de las paredes de los tubos. En todos los casos, la resistencia de las soldaduras será determinada con las especificaciones de la Sección **J.2.4.** del Reglamento CIRSOC 301-2005 y de los artículos **9.2.2.** y **9.2.4.** de este Reglamento, pero la longitud efectiva de la soldadura, L_e , tanto en las soldaduras a tope como en las de filete, será limitada de acuerdo con lo siguiente:

(a) En **uniones entre tubos rectangulares** en **T**, **Y** y **en cruz (X)**, tal como se definen en el artículo **9.4.**:

$$L_e = 2 H_b + B_b \quad \text{para } \theta \leq 50^\circ \quad (9.2.9)$$

$$L_e = 2 H_b \quad \text{para } \theta \geq 60^\circ \quad (9.2.10)$$

Para valores de θ entre 50° y 60° se interpolará linealmente.

(b) En **uniones entre tubos rectangulares** en **K con espaciamiento**, tal como se definen en el artículo **9.4.**:

$$L_e = 2 H_b + 2 B_b \quad \text{para } \theta \leq 50^\circ \quad (9.2.11)$$

$$L_e = 2 H_b + B_b \quad \text{para } \theta \geq 60^\circ \quad (9.2.12)$$

Para valores de θ entre 50° y 60° se interpolará linealmente.

(c) Cuando una placa transversal esté soldada a la cara del tubo:

$$L_e = 2 \frac{10 F_y t}{(B/t) F_{y1} t_1} b_1 \leq 2 b_1 \quad (9.2.13)$$

siendo:

- H_b el ancho de la pared de la barra de alma (montante o diagonal) que es paralela al eje del cordón, en cm.
- B_b el ancho de la pared de la barra de alma que es transversal al eje del cordón, en cm.
- θ el menor ángulo entre barra de alma y cordón, en grados sexagesimales.
- B el ancho de la pared del cordón a la que se une la placa, en cm.
- b_1 el ancho de la placa unida, en cm.
- t el espesor de la pared del cordón, en cm.
- t_1 el espesor de la placa unida, en cm.
- F_y la tensión de fluencia especificada del acero del tubo, en MPa.
- F_{y1} la tensión de fluencia especificada del acero de la placa, en MPa.

En la Figura 9.2.10. se grafican los símbolos arriba indicados para una unión Y.



Figura 9.2.10. Simbología para unión Y.

9.3. OTRAS ESPECIFICACIONES PARA UNIONES

Las especificaciones del Reglamento CIRSOC 301-2005 contenidas en las Secciones J.4. a J.10. del Capítulo J, se aplicarán con las siguientes modificaciones y agregados:

9.3.1. Resistencia a la rotura por corte

La resistencia de diseño a la rotura por corte a lo largo de una trayectoria adyacente al filete de soldadura en la pared del tubo será:

$$\phi R_n$$

siendo:

$$\phi = 0,70$$

$$R_n = 0,6 F_u t L (10)^{-1} \quad (9.3.1)$$

t el espesor de la pared del tubo, en cm.

L la longitud de la soldadura, en cm.

9.3.2. Resistencia a la rotura por tracción

La resistencia de diseño a la rotura por tracción a lo largo de una trayectoria adyacente al filete de soldadura en la pared del tubo será:

$$\phi R_n$$

siendo:

$$\phi = 0,70$$

$$R_n = F_u t L (10)^{-1} \quad (9.3.2)$$

t el espesor de la pared del tubo, en cm.

L la longitud de la soldadura, en cm.

9.3.3. Resistencia a la rotura por punzonado

Si una placa saliente y paralela al eje longitudinal del tubo está sometida a una fuerza paralela al eje del tubo pero excéntrica, o tiene una componente perpendicular a la pared del tubo, se debe cumplir:

$$\phi_t f t_p \leq 1,2 \phi_v F_u t \quad (9.3.3)$$

siendo:

$$\phi_v = 0,75$$

$$\phi_t = 0,90$$

f la máxima tensión en la placa actuando perpendicular a la pared del tubo, en MPa.

t_p el espesor de la placa, en cm.

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

t el espesor de la pared del tubo, en cm.

9.3.4. Uniones excéntricas

En elementos reticulados ejecutados con tubos, con uniones directas soldadas entre las barras del alma y los cordones:

- (a) La determinación de esfuerzos axiles en las barras se podrá realizar suponiendo que las barras están unidas por nudos articulados.
- (b) Los momentos flexores secundarios en los nudos provocados por la rigidez a flexión real de los mismos podrán ser despreciados siempre que:
 - La geometría del nudo esté dentro del campo de validez para cada tipo de nudo dado en el artículo **9.4**.
 - La relación entre la longitud de la barra y su altura en el plano de la viga sea mayor o igual que: **12** para los cordones y **24** para las barras del alma.
- (c) Para el dimensionado de los nudos se permite proyectar la unión sin considerar los momentos resultantes de las excentricidades en los mismos si ellas se encuentran dentro de los límites de aplicabilidad para cada tipo de nudo dados en el artículo **9.4**.
- (d) Los momentos flexores resultantes de las excentricidades en los nudos se pueden distribuir entre las barras concurrentes de acuerdo con su rigidez flexional. Cuando las excentricidades se encuentren dentro de los límites de aplicabilidad para cada tipo de nudo, dados en el artículo **9.4**., ellos deberán ser considerados para el dimensionado de los cordones comprimidos y su efecto podrá ser despreciado para las otras barras.

La consideración de los momentos flexores para el dimensionado del nudo y de las barras concurrentes se resume en la Tabla **9.3.1**.

Tabla 9.3.1. Consideración de momentos flexores en nudos y barras de un reticulado

Momentos debidos a: Elemento	Efectos secundarios por rigidez	Excentricidad nodal	Carga transversal en barras o momentos aplicados
Cordón comprimido	No, si se cumple (b)	Si	Si
Cordón traccionado u otras barras	No, si se cumple (b)	No, si se cumple (d)	Si
Nudo	No, si se cumple (b)	No, si se cumple (c)	Si

Quedan exceptuadas de lo permitido en los párrafos anteriores, las uniones sujetas a efectos de fatiga. Para las uniones sometidas a fatiga se aplicará lo especificado en el Reglamento CIRSOC 304-2007 *Reglamento Argentino para la Soldadura de Estructuras en Acero*.

9.4. UNIONES DIRECTAS DE TUBOS EN RETICULADOS

9.4.1. Especificaciones generales

- (a) Las uniones directas de tubos en reticulados son aquellas en que una o más barras de alma tubulares son directamente soldadas a un cordón tubular continuo que pasa a través de la unión.

En las uniones o **nudos planos**, los ejes de las barras de alma y el cordón deben estar en el mismo plano.

Un “**nudo multiplano**” es un nudo funcionando en una estructura espacial (nudo espacial).

- (b) Las uniones o **nudos planos** se clasifican de la siguiente manera: (ver la Figura 9.4.1.).

- (1) Cuando la fuerza axial de la barra de alma es equilibrada por la fuerza de corte en el cordón, la unión se designará de la siguiente forma:

- como **T** cuando la barra del alma sea perpendicular al cordón
- como **Y** en cualquier otro caso.

- (2) Cuando la fuerza axial de la barra del alma sea equilibrada por las fuerzas axiales de otras barras del alma ubicadas en el nudo del mismo lado, la unión se designará como **K**. Si una de las barras de alma resulta perpendicular al cordón, el nudo se designará **N**.

Se define un nudo **K** (o **N**) **con espaciamiento** cuando existe una distancia **g** entre los pies de las barras del alma adyacentes, medida a lo largo de la cara unida del cordón. Se define un nudo **K** (o **N**) **con recubrimiento** cuando una de las barras del alma se solapa sobre la otra en la dirección del cordón.

- (3) Cuando la fuerza axial de la barra del alma se transmite a través del cordón y es equilibrada por otra u otras barras del alma ubicadas en el lado opuesto del nudo, la unión se designará como **X** o “en cruz”.

Cuando las barras del alma transmitan parte de su fuerza en uniones **K** y parte de su fuerza en uniones **T**, **Y** o **X**, la resistencia de diseño del nudo será determinada por interpolación en la proporción que cada tipo de unión aporta al total.

- (c) Las resistencias de diseño de los nudos sometidos a carga estática especificadas en las Secciones siguientes se expresan como resistencias de diseño de las barras de alma a fuerza axial ($P_{dn} = \phi P_{nn}$) y a momento flexor ($M_{dn} = \phi M_{nn}$) según corresponda.

- (d) El acero de los tubos deberá cumplir las siguientes expresiones:

$$F_y \leq 355 \text{ MPa} \text{ y } F_y / F_u \leq 0,8$$

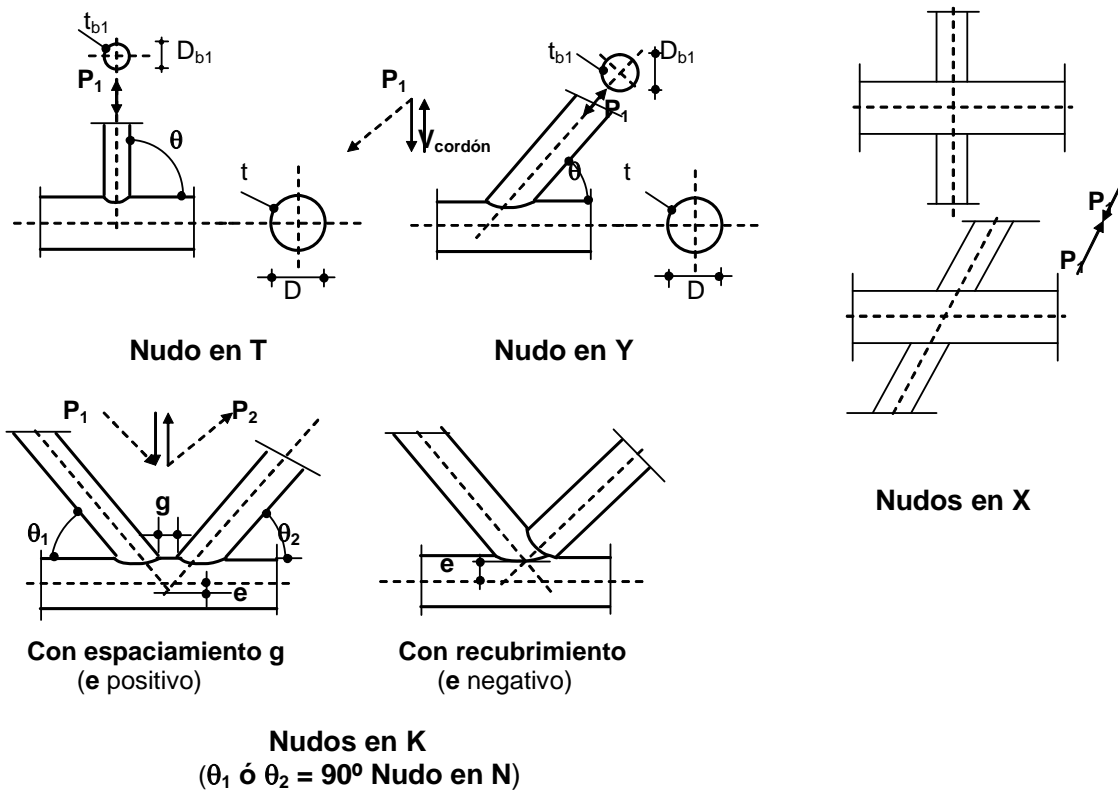


Figura 9.4.1. Tipos de nudos planos.

- (e) La relación de esbeltez de la pared de los tubos que se unen deberá cumplir con los límites establecidos en los respectivos campos de validez de las expresiones para obtener las resistencias de diseño.
- (f) El espesor nominal de las paredes de los tubos t deberá ser mayor o igual que **2,5 mm**.
- (g) Los ángulos θ_i entre el cordón y las barras de alma y los ángulos entre las barras de alma adyacentes deberán ser mayores o iguales que **30°**.
- (h) La excentricidad en el nudo e deberá ser:

$$-0,55 D \leq e \leq 0,25 D \quad \text{para tubos } \textit{circulares} \quad (9.4.1)$$

$$-0,55 H \leq e \leq 0,25 H \quad \text{para tubos } \textit{rectangulares} \quad (9.4.2)$$

siendo:

- e** la excentricidad del nudo, que será positiva cuando se mida hacia el exterior del reticulado y negativa cuando se mida hacia el interior del reticulad, en cm.
- D** el diámetro del cordón, en cm.
- H** la altura del cordón, en cm.

- (i) Las barras que confluyen en un nudo deben presentar sus extremos preparados de manera que no se produzca modificación de la forma de sus secciones transversales.

- (j) En los nudos **K con espaciamento** debe ser el espaciamento $g \geq t_{b1} + t_{b2}$ a fin de asegurar el espacio necesario para ejecutar correctamente las soldaduras, siendo t_{b1} y t_{b2} los espesores de las barras del alma.
- (k) En los nudos **K con recubrimiento**, el recubrimiento o solape debe ser el suficiente para asegurar que en la interconexión de las barras del alma y el cordón se produce una transferencia satisfactoria del esfuerzo cortante de una barra a otra. Esto queda satisfecho con los límites dados en las secciones siguientes para la relación de recubrimiento λ_{ov} .
- (l) Cuando se solapan barras de alma que tienen espesores diferentes, la barra de menor espesor debe recubrir a la de mayor espesor.
- (m) Cuando se solapan barras de alma de características mecánicas diferentes (por ejemplo F_y) la barra con límite elástico mas pequeño debe recubrir a la barra de límite elástico mas grande.

9.4.2. Nudos soldados entre tubos circulares

Las resistencias de diseño de nudo de la barra del alma para fuerza axil ($P_{dn} = \phi P_{nn}$)(kN) y/o para momento flexor ($M_{dn} = \phi M_{nn}$) (kNm) serán las menores de las respectivamente determinadas para los estados límites de plastificación del cordón, punzonamiento por esfuerzo cortante y colapso general según corresponda para cada tipo de nudo.

9.4.2.1. Definición de parámetros y símbolos

Para los nudos soldados entre tubos circulares se definen los siguientes parámetros y símbolos:

β la relación de ancho = (D_{bi} / D) .

γ la relación de esbeltez del cordón = $(D / 2t)$.

n_p la relación de pretensión del cordón = f_{op} / F_{yo} .

f_{op} $(10 P_{op} / A_{go}) + (10^3 M_o / S_o)$, en MPa.

P_{op} la menor resistencia requerida axil del cordón a ambos lados del nudo, en kN. Ver la Figura 9.4.2.

M_o el momento flexor requerido en el cordón, en kNm. Ver la Tabla 9.3.1.

A_{go} el área bruta del cordón, en cm^2 .

S_o el módulo resistente elástico del cordón, en cm^3 .

F_{yo} la tensión de fluencia especificada del acero del cordón, en MPa.

- D_{bi} el diámetro de la barra de alma i , en cm.
- D el diámetro del cordón, en cm.
- λ_{ov} la relación de recubrimiento = $(q/p) \times 100$, en % (Ver la Figura 9.4.3).
- p la proyección del diámetro D_{bi} de la barra de alma que recubre sobre la pared del cordón = $D_{bi} / \text{sen } \theta$, en cm.
- q el espaciado negativo: distancia entre bordes adyacentes de las barras de alma medida sobre el borde del cordón, en cm.
- e la excentricidad del nudo, en cm.
- g el espaciado en los nudos K y N , en cm.
- i el índice utilizado para designar las barras de alma. En general $i = 1$ designa barra comprimida; $i = 2$ designa barra traccionada.
- t el espesor de la pared del cordón, en cm.
- t_{bi} el espesor de la pared de la barra de alma i , en cm.
- θ_i el ángulo entre el cordón y la barra de alma i , o entre barras de alma adyacentes, en grados sexagesimales.
- $k_p, k_g, Q_\beta, Q_\gamma$ las funciones definidas en la Tabla 9.4.2.

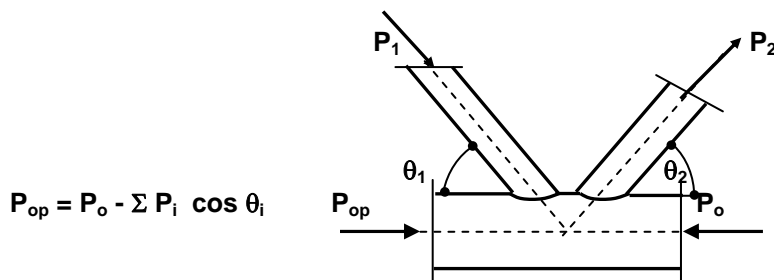


Figura 9.4.2. Esfuerzo axial P_{op} en el cordón.

$$\lambda_{ov} = (q / p) \times 100$$

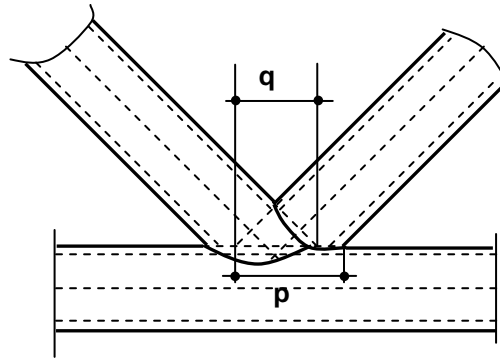


Figura 9.4.3. Definición de recubrimiento.

9.4.2.2. Resistencias de diseño y campo de validez

- (1) Las resistencias requeridas para las barras de alma deberán ser menores o iguales a las respectivas resistencias de diseño de nudo.
- (2) En **nudos planos** Tipos **T, Y, X, K (o N) con espaciamiento, K (o N) con recubrimiento**, las resistencias de diseño **axiales** de nudo serán determinadas con las expresiones de la Tabla 9.4.2.
- (3) Para **nudos planos** de configuraciones diferentes a las de los Tipos indicados en la Tabla 9.4.2., las resistencias de diseño serán determinadas por las expresiones dadas en la Tabla 9.4.3.
- (4) En **nudos planos** Tipos **T, Y, X, K (o N) con espaciamiento, K (o N) con recubrimiento**, las resistencias de diseño de nudo **a momento flexor** en el plano y fuera del plano serán determinadas con las ecuaciones de la Tabla 9.4.4.
- (5) Las expresiones dadas en las Tablas 9.4.2., 9.4.3. y 9.4.4. solamente serán de aplicación dentro del campo de validez dado en la Tabla 9.4.1.
- (6) La interacción entre fuerza axial y momento flexor en el nudo deberá ser verificada con la siguiente expresión de interacción:

$$\frac{P_{ui}}{P_{dni}} + \left(\frac{M_{uii}}{M_{dnii}} \right)^2 + \frac{M_{uoi}}{M_{dnoi}} \leq 1 \quad (9.4.3)$$

siendo:

P_{ui} la resistencia axial requerida de la barra i , en kN.

P_{dni} la resistencia de diseño axial de nudo de la barra i , en kN.

M_{uii} el momento flexor requerido en el plano de la barra i , en kNm.

M_{dnii} la resistencia de diseño de nudo a momento en el plano de la barra i , en kNm.

M_{uoi} el momento flexor requerido fuera del plano de la barra i , en kNm.

M_{dnoi} la resistencia de diseño de nudo a momento fuera del plano de la barra i , en kNm.

- (7) En **nudos multiplanos** se podrá obtener la resistencia de diseño de nudo como la menor de las resistencias de diseño de cada plano, multiplicada por los factores de corrección C_{mp} dados en la Tabla 9.4.5 que consideran la interacción entre los planos. Los factores son válidos únicamente para los casos indicados y cuando en cada plano se satisfacen las condiciones dadas en la Tabla 9.4.1.

Tabla 9.4.1. Campo de validez para fórmulas de uniones con tubos circulares

$0,2 \leq \frac{D_{bi}}{D} \leq 1,0 \quad (0,2 \leq \beta \leq 1)$
$5 \leq \frac{D_{bi}}{2 t_{bi}} \leq 25$
$5 \leq \gamma \leq 25$ $5 \leq \gamma \leq 20 \quad (\text{Para nudos tipo X})$
$\lambda_{ov} \geq 25 \%$
$g \geq t_{b1} + t_{b2}$
$30^\circ \leq \theta_i \leq 90^\circ$
$-0,55 D \leq e \leq 0,25 D$

Tabla 9.4.2. Resistencias de diseño axiles de nudo – uniones planas entre tubos circulares

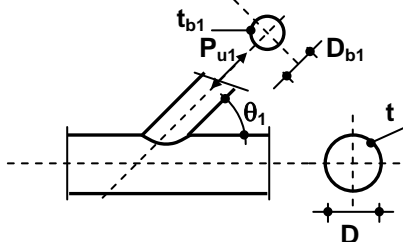
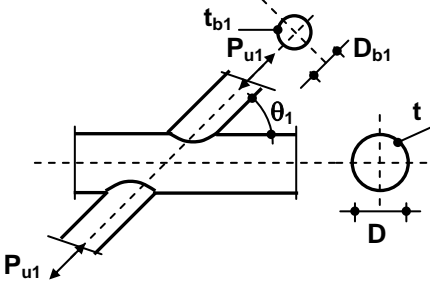
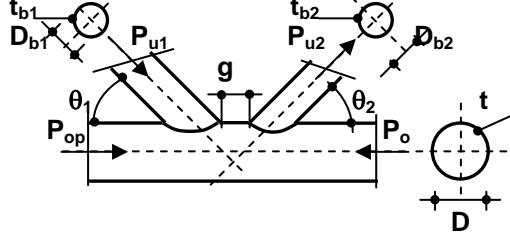
Tipo de nudo	Resistencia de diseño axial ($P_{dni} = \phi P_{nni}$) ($i = 1$ ó 2) (Estado límite)
Nudos en T e Y	
	<p>Plastificación del cordón</p> $P_{dn1} = \frac{F_{yo} t^2 (10)^{-1}}{\text{sen } \theta_1} (2,66 + 13,49 \beta^2) \gamma^{0,2} k_p$ <p>expresión (9.4.4)</p>
Nudo en X	
	<p>Plastificación del cordón</p> $P_{dn1} = \frac{F_{yo} t^2 (10)^{-1}}{\text{sen } \theta_1} \left[\frac{4,94}{1 - 0,81 \beta} \right] k_p$ <p>expresión (9.4.5)</p> <p>Colapso general</p> $P_{dn1} = \frac{F_{yo} t^2 (10)^{-1}}{\text{sen } \theta_1} (1,52 + 5,76 \beta) Q_\gamma Q_\beta$ <p>expresión (9.4.6)</p>
Nudos en K y N Con espaciamento y con recubrimiento	
	<p>Plastificación del cordón</p> $P_{dn1} = \frac{F_{yo} t^2 (10)^{-1}}{\text{sen } \theta_1} (1,71 + 9,69 \frac{D_{b1}}{D}) k_g k_p \quad (1)$ <p>expresión (9.4.7)</p> $P_{dn2} = \frac{\text{sen } \theta_1}{\text{sen } \theta_2} P_{dn1} \text{ ó expresión (9.4.7) para barra 2}$ <p>expresión (9.4.8)</p>
<p>Nudos en T, Y, X Nudos con espaciamento en K, N, KT Con $D_{bi} \leq D - 2 t$</p>	<p>Punzonamiento por esfuerzo cortante</p> $P_{dni} = 0,57 F_{yo} t (10)^{-1} \pi D_{bi} \left[\frac{1 + \text{sen } \theta_i}{2 \text{sen}^2 \theta_i} \right]$ <p>expresión (9.4.9)</p>
Funciones	
<p>$k_p = 1,0$ para f_{op} tracción ($n_p \leq 0$) $k_p = 1 - 0,3 n_p (1 + n_p)$ para f_{op} compresión ($n_p > 0$) expresión (9.4.10)</p>	<p>$k_g = \gamma^{0,2} \left[1 + \frac{0,024 \gamma^{1,2}}{e^{(0,5g/t-1,33)} + 1} \right]$ expresión (9.4.11) (En nudos con recubrimiento tomar g negativo $g = -q$)</p>
<p>$Q_\beta = 1$ Para $\beta \leq 0,6$ $Q_\beta = \frac{0,3}{\beta (1 - 0,833 \beta)}$ Para $\beta > 0,6$ expresión (9.4.12)</p>	<p>$Q_\gamma = 1,0$ para f_{op} tracción ($n_p \leq 0$) $Q_\gamma = 1 - 0,03 \gamma n_p^2$ para f_{op} compresión ($n_p > 0$)</p>
(1) Para nudos con recubrimiento sustituir (D_{b1}/D) por $(D_{b1} + D_{b2} / 2 D)$	

Tabla 9.4.3. Resistencias de diseño axiles de nudo para tipos particulares de nudos planos. Uniones entre tubos circulares

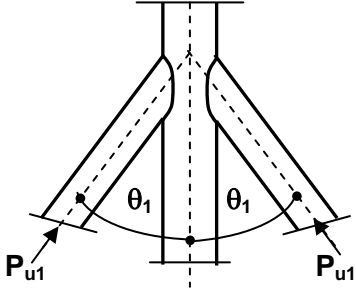
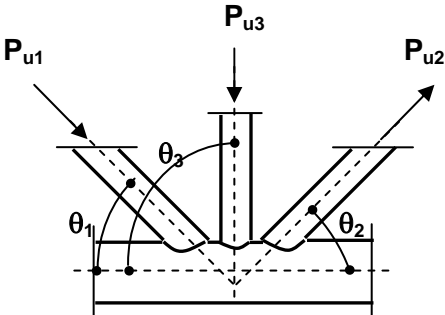
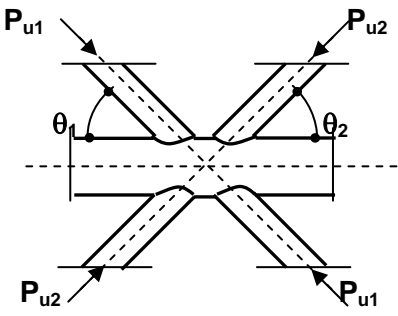
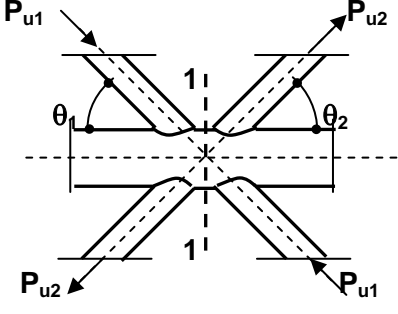
Tipo de nudo	Verificación de la Resistencia de Nudo
	$P_{u1} \leq P_{dn1}$ $P_{dn1} \text{ obtenido para el Nudo } X$ <p style="text-align: center;">expresión (9.4.13)</p>
	$P_{u1} \text{ sen } \theta_1 + P_{u3} \text{ sen } \theta_3 \leq P_{dn1} \text{ sen } \theta_1$ $P_{dn1} \text{ de nudo en } K$ <p style="text-align: center;">expresión (9.4.14.)</p> $P_{u2} \text{ sen } \theta_2 \leq P_{dn1} \text{ sen } \theta_1$ <p style="text-align: center;">expresión (9.4.15)</p> <p>Sustituir $\frac{D_{b1}}{D}$ por $\frac{D_{b1} + D_{b2} + D_{b3}}{3D}$ en la expresión (9.4.7) del nudo en K</p>
	$P_{u1} \text{ sen } \theta_1 + P_{u2} \text{ sen } \theta_2 \leq \text{Máx}(P_{dn1} \text{ sen } \theta_1; P_{dn2} \text{ sen } \theta_2)$ <p style="text-align: center;">P_{dn1} y P_{dn2} de nudo en X</p> <p style="text-align: center;">expresión (9.4.16)</p>
	$P_{u1} \leq P_{dn1} \text{ con } P_{dn1} \text{ de nudo en } K$ $P_{u2} \leq P_{dn2} \text{ con } P_{dn2} \text{ de Nudo en } K$ <p style="text-align: center;">expresión (9.4.17)</p> <p>Se deberá verificar en la sección 1-1 del cordón la resistencia plástica a corte (solamente en nudos con espaciamento)</p>

Tabla 9.4.4. Resistencias de diseño de nudo a momento – Uniones planas de tubos circulares

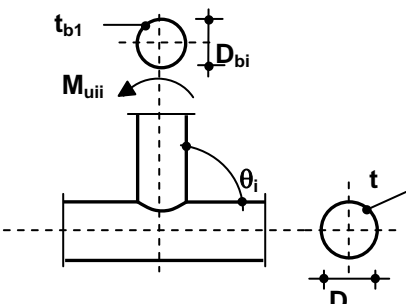
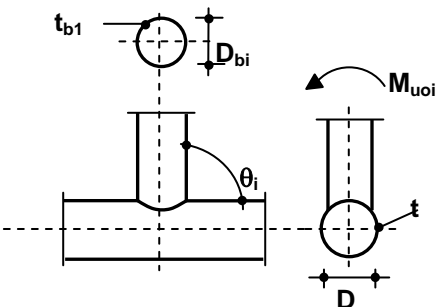
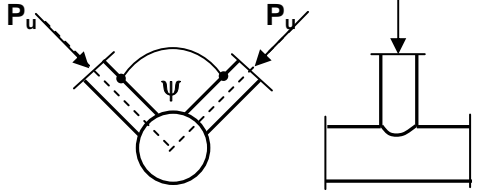
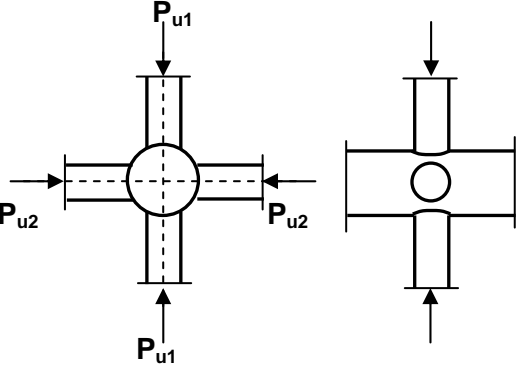
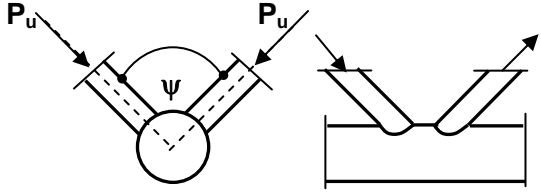
Tipo de nudo	Resistencia de diseño a momento flexor $M_{dnii} = \phi M_{nnii}$ (en el plano) (kNm) $M_{dnoi} = \phi M_{nnoi}$ (fuera del plano) (kNm) <i>(i = 1, 2)</i>
Nudos en T, Y, X (Momento en el plano)	
	$M_{dnii} = 4,60 F_{yo} t^2 \gamma^{0,5} \beta D_{bi} \frac{k_p}{\text{sen} \theta_i} (10)^{-3}$ expresión (9.4.18)
Nudos en T, Y, X, K y N (Momento fuera del plano)	
	$M_{dnoi} = F_{yo} t^2 D_{bi} \frac{2,56}{1 - 0,81 \beta} \frac{k_p}{\text{sen} \theta_i} (10)^{-3}$ expresión (9.4.19)
Todos los tipos (Caso general) Verificación de punzonamiento Para: $D_{bi} \leq D - 2 t$	Momento en el plano $M_{dnii} = 0,57 F_{yo} t D_{bi}^2 \frac{1 + 3 \text{sen} \theta_i}{4 \text{sen}^2 \theta_i} (10)^{-3}$ expresión (9.4.20) Momento fuera del plano $M_{dnoi} = 0,57 F_{yo} t D_{bi}^2 \frac{3 + \text{sen} \theta_i}{4 \text{sen}^2 \theta_i} (10)^{-3}$ expresión (9.4.21)
Campo de validez : según la Tabla 9.4.1. Funciones: según la Tabla 9.4.2.	

Tabla 9.4.5. Factores de corrección para nudos multiplanos. Uniones entre tubos circulares

Tipo de nudo	Factor de corrección C_{mp} respecto a nudo plano
<p>T - T</p> 	<p>Para $60^\circ \leq \psi \leq 90^\circ$</p> $C_{mp} = 1,0$
<p>X - X</p> 	$C_{mp} = 1 + 0,33 \frac{P_{u2}}{P_{u1}}$ <p>Se debe tener en cuenta el signo de P_{u2} y P_{u1}</p> $ P_{u2} \leq P_{u1} $
<p>K - K</p> 	<p>Para $60^\circ \leq \psi \leq 90^\circ$</p> $C_{mp} = 0,9$
<p>Campo de validez: según la Tabla 9.4.1.</p>	

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

Las resistencias de diseño de nudo de la barra del alma i para fuerza axial ($P_{dni} = \phi P_{nni}$) y/o para momento flexor ($M_{dni} = \phi M_{nni}$) serán las menores de las respectivamente determinadas para los estados límites de plastificación de la cara del cordón, punzonamiento por esfuerzo cortante, resistencia de la pared lateral del cordón, fluencia por corte del cordón y/o desigual distribución de fuerza, según corresponda para cada tipo de nudo.

9.4.3.1. Definición de parámetros y símbolos

Para los nudos soldados entre tubos rectangulares o cuadrados, se definen los siguientes parámetros y símbolos:

- β la relación de ancho ; relación entre el ancho de la barra de alma y el ancho del cordón = (B_{bi} / B) . Para nudos K y N con espaciamiento $\beta = (B_{b1} + B_{b2}) / 2B$.
- γ la relación de esbeltez del cordón = $(B / 2t)$.
- n_p la relación de pretensión del cordón = f_{op} / F_{yo} .
- f_{op} $(10 P_{op} / A_{go}) + (10^3 M_o / S_o)$, en MPa.
- P_{op} la menor resistencia requerida axial del cordón a ambos lados del nudo, (ver la Figura 9.4.2.), en kN.
- M_o el momento flexor requerido en el cordón, ver la Tabla 9.3.1., en kNm.
- A_{go} el área bruta del cordón, en cm^2 .
- S_o el módulo resistente elástico del cordón, en cm^3 .
- Z_{bi} el módulo plástico de la sección de la barra i respecto al eje de flexión, en cm^3 .
- F_{yo} la tensión de fluencia especificada del acero del cordón, en MPa.
- F_{yi} la tensión de fluencia especificada del acero de la barra de alma, en MPa.
- B el ancho del cordón, en cm.
- H la altura del cordón, en cm.
- B_{bi} el ancho de la barra de alma i , en cm.
- H_{bi} la altura de la barra del alma i , en cm.
- λ_{ov} la relación de recubrimiento = $(q/p) \times 100$, en %. Ver la Figura 9.4.3.
- p la proyección de la altura H_{bi} de la barra de alma que recubre sobre la pared del cordón = $H_{bi} / \text{sen } \theta$, en cm.

- q** el espaciamiento negativo: distancia entre bordes adyacentes de las barras de alma medida sobre el borde del cordón, en cm.
- e** la excentricidad del nudo, en cm.
- g** el espaciamiento en nudos **K** y **N**, en cm.
- i** el índice utilizado para designar las barras de alma. En general **i = 1** designa barra comprimida; **i = 2** designa barra traccionada.
- j** el índice utilizado para designar la barra recubierta en uniones con recubrimiento.
- t** el espesor de la pared del cordón, en cm.
- t_{bi}** el espesor de la pared de la barra de alma **i**, en cm.
- θ_i** el ángulo entre el cordón y la barra de alma **i**, o entre barras de alma adyacentes, en grados sexagesimales.
- Q_f, b_{ei}, b_{ep}** las funciones definidas en la Tabla **9.4.7**.
- b_{ei(ov)}** la función definida en Tabla **9.4.9** para la barra **i**, en cm.

9.4.3.2. Resistencias de diseño y campo de validez

- (1) Las resistencias requeridas para las barras de alma deberán ser menores o iguales a las respectivas resistencias de diseño de nudo.
- (2) En **nudos planos** entre barras de alma rectangulares, cuadradas o circulares y un cordón de sección rectangular de los Tipos **T, Y, X, K (o N) con espaciamiento, K (o N) con recubrimiento**, las resistencias de diseño **axiles** de nudo serán determinadas con las expresiones de la Tabla **9.4.7**.
- (3) En **nudos planos** entre barras de alma circulares o cuadradas y un cordón de sección cuadrada de los Tipos **T, Y, X, K (o N) con espaciamiento, K (o N) con recubrimiento**, las resistencias de diseño **axiles** de nudo serán determinadas con las expresiones de las Tablas **9.4.9** y **9.4.7**.
- (4) Para **nudos planos** de configuraciones diferentes a las de los Tipos indicados en la Tabla **9.4.7**., las resistencias de diseño serán determinadas por las expresiones dadas en la Tabla **9.4.10**.
- (5) En **nudos planos** Tipos **T, Y** y **X**, las resistencias de diseño de nudo a **momento flexor** en el plano y fuera del plano serán determinadas con las expresiones de la Tabla **9.4.11**.
- (6) Las expresiones dadas en las Tablas **9.4.7**., **9.4.10**. y **9.4.11**. solamente serán de aplicación dentro del campo de validez establecido en la Tabla **9.4.6**.

- (7) Las expresiones dadas en la Tablas **9.4.9.** solamente serán de aplicación dentro del campo de validez establecido en la Tabla **9.4.8.**
- (8) La interacción entre fuerza axial y momento flexor en el nudo deberá ser verificada con la siguiente expresión de interacción:

$$\frac{P_{ui}}{P_{dni}} + \frac{M_{uii}}{M_{dnii}} + \frac{M_{uoi}}{M_{dnoi}} \leq 1 \quad (9.4.22)$$

siendo:

- P_{ui} la resistencia axial requerida de la barra i , en kN.
- P_{dni} la resistencia de diseño de Nudo axial de la barra i , en kN.
- M_{uii} el momento flexor requerido en el plano de la barra i , en kNm.
- M_{dnii} la resistencia de diseño de Nudo a Momento en el plano de la barra i , en kNm.
- M_{uoi} el momento flexor requerido fuera del plano de la barra i , en kNm.
- M_{dnoi} la resistencia de diseño de Nudo a Momento fuera del plano de la barra i , en kNm.

- (9) En **nudos multiplanos** se podrá obtener la resistencia de diseño de nudo como la menor de las resistencias de diseño de cada plano multiplicada por los factores de corrección C_{mp} dados en la Tabla **9.4.12.**, para secciones rectangulares que consideran la interacción entre los planos. Los factores son válidos únicamente para los casos indicados y cuando en cada plano se satisfacen las condiciones dadas en la Tabla **9.4.6.**

Tabla 9.4.6. Campo de validez para fórmulas para nudos planos entre barras de alma de sección circular, cuadrada o rectangular y un cordón de sección rectangular o cuadrada

Tipo de nudo (a)	Parámetros del nudo (i = 1, 2 ; j = barra de alma recubierta)						
	B_{bi}/B H_{bi}/B	B_{bi}/t_{bi} Compresión	H_{bi}/t_{bi} Tracción	D_{bi}/t_{bi}	H_{bi}/B_{bi}	B/t H/t	Espaciamiento / Recubrimiento $B_{bi}/B_{bj} - t_{bi}/t_{bj}$ (b)
X, Y, T	$\geq 0,25$	$\leq 1,25 \sqrt{\frac{E}{F_{yi}}}$ ≤ 35	≤ 35	≤ 35	$0,5 \leq \frac{H_{bi}}{B_{bi}} \leq 2$	≤ 35	(c) $0,5(1-\beta) \leq \frac{g}{B} \leq 1,5(1-\beta)$ $g \geq t_{b1} + t_{b2}$
K, N Con espaciamiento	$\geq 0,1 + 0,01 \frac{B}{t}$ $\beta \geq 0,35$					≤ 35	
K, N Con recubrimiento	$\geq 0,25$	$\leq 1,1 \sqrt{\frac{E}{F_{yi}}}$	≤ 35	≤ 40	$25\% \leq \lambda_{ov} \leq 100\%$ $\frac{t_{bi}}{t_{bj}} \leq 1$ $\frac{B_{bi}}{B_{bj}} \geq 0,75$		
Barras de alma de sección circular	$0,4 \leq \frac{D_{bi}}{B} \leq 0,8$	$\leq 1,5 \sqrt{\frac{E}{F_{yi}}}$	≤ 50	Iguales limitaciones a las anteriores sustituyendo B_{bi} por D_{bi}			
(a) en todos los casos: $\theta \geq 30^\circ$; $F_{yi}, F_{yj} \leq 355 \text{ MPa}$; $F_{yi} (\text{ ó } F_{yj}) / F_{ui} \leq 0,80$							
(b) excentricidad - $0,55 \leq \frac{e}{H} \leq 0,25$							
(c) si $\frac{g}{B} > 1,5 (1-\beta)$ tratar como una unión en T o Y							

Tabla 9.4.7. Resistencia de diseño axil de uniones planas entre barras de alma de sección circular, cuadrada o rectangular y un cordón de sección rectangular o cuadrada

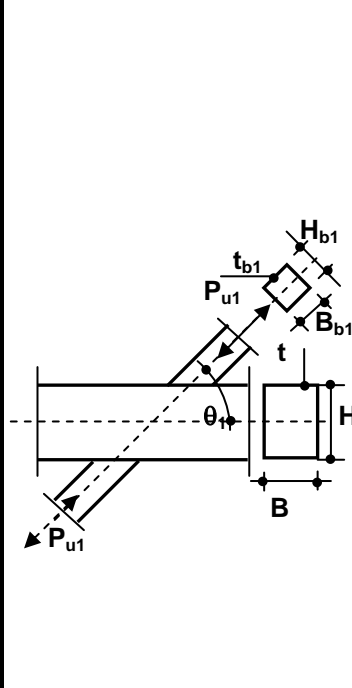
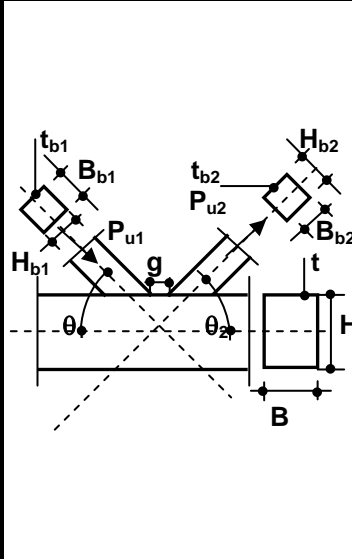
Tipo de nudo	Resistencia de diseño axil ($P_{dni} = \phi P_{nni}$)($i = 1$ ó 2) (Estado límite)	
Nudos en X, Y, T		
	<ul style="list-style-type: none"> $\beta \leq 0,85$ Base: Plastificación de la cara del cordón 	
	$P_{dni} = \frac{F_{yo} t^2 (10)^{-1}}{(1 - \beta) \text{sen } \theta_1} \left[\frac{2 H_{b1} / B}{\text{sen } \theta_1} + 4 (1 - \beta)^{0,5} \right] Q_f$ expresión (9.4.23)	
	<ul style="list-style-type: none"> $\beta = 1$ Base: Resistencia pared lateral del cordón 	<ul style="list-style-type: none"> Para
	$P_{dni} = \frac{F_d t (10)^{-1}}{\text{sen } \theta_1} \left[\frac{2 H_{b1}}{\text{sen } \theta_1} + 15 t \right]$ (exp.9.4.24) <p> barra de alma traccionada: $F_d = F_{yo}$ barra de alma comprimida: uniones Y, T $F_d = F_{cr}$ Unión X $F_d = 0,85 \text{sen } \theta_1 F_{cr}$ F_{cr} según art. 4.2., expresiones (4.2.2) ó (4.4.3) con: $Q = 1$ y $(kL/r) = 3,46(H/t - 4)(1/\text{sen } \theta_1)^{0,5}$ (exp.9.4.25) </p>	<ul style="list-style-type: none"> $0,85 < \beta \leq 1$ Interpolación lineal entre resistencia de diseño por plastificación de la pared del cordón y resistencia pared lateral
	<ul style="list-style-type: none"> $\beta > 0,85$ Base: desigual distribución de fuerza $P_{dni} = 0,95 F_{y1} t_{b1} (10)^{-1} (2 H_{b1} - 4 t_{b1} + 2 b_{ei})$ exp.(9.4.26)	
	<ul style="list-style-type: none"> $0,85 \leq \beta \leq 1 - (1/\gamma)$ Base: Punzonamiento $P_{dni} = 0,57 \frac{F_{yo} t (10)^{-1}}{\text{sen } \theta_1} \left[\frac{2 H_{b1}}{\text{sen } \theta_1} + 2 b_{ep} \right]$ exp.(9.4.27)	
Nudos en K y N con espaciamento		
	<ul style="list-style-type: none"> Base: Plastificación de la cara del cordón 	
	$P_{dni} = 0,89 \frac{F_{yo} t^2}{\text{sen } \theta_i} \left[\frac{B_{b1} + B_{b2} + H_{b1} + H_{b2}}{4 B} \right] \gamma^{0,5} Q_f$ exp.(9.4.28)	
	<ul style="list-style-type: none"> Base: Fluencia por corte del cordón 	$P_{dni} = 0,57 \frac{F_{yo} A_{vo} (10)^{-1}}{\text{sen } \theta_i}$ exp.(9.4.29)
	También en espaciamento $P_{dno}(\text{en esp.}) = 10^{-1} (A_{go} - A_{vo}) \cdot F_{yo} + 10^{-1} A_{vo} F_{yo} [1 - (V_{uo} / V_{dpo})^2]^{0,5}$	
	<ul style="list-style-type: none"> Base: desigual distribución de fuerza $P_{dni} = 0,95 F_{yi} t_{bi} (10)^{-1} (2 H_{bi} - 4 t_{bi} + B_{bi} + b_{ei})$ exp.(9.4.30)	
	<ul style="list-style-type: none"> $\beta \leq 1 - (1/\gamma)$ Base: Punzonamiento $P_{dni} = 0,57 \frac{F_{yo} t (10)^{-1}}{\text{sen } \theta_i} \left[\frac{2 H_{bi}}{\text{sen } \theta_i} + B_{bi} + b_{ep} \right]$ exp.(9.4.31)	
Nudos en K y N con recubrimiento		
Barras de alma de sección circular	Similar a uniones de tubos de sección cuadrada (Tabla 9.4-9) <ul style="list-style-type: none"> Reemplazar en fórmulas anteriores B_{bi} y H_{bi} por $\pi \cdot D_{bi} / 4$ Verificación suplementaria de esfuerzo de corte en el cordón si $(H/B) < 1$ además de la verificación por desigual dist. de fuerza 	

Tabla 9.4.7. (continuación)		
Funciones		
$Q_f = 1,0$ para f_{op} tracción ($n_p \leq 0$) para f_{op} compresión ($n_p > 0$) $Q_f = 1,3 - (0,4 n_p / \beta) \leq 1,0$	$A_{vo} = (2 H + \alpha B) t$ $V_{dpo} = 0,57 F_{yo} A_{vo} (10)^{-1}$ En el caso de una barra de alma de sección circular : $\alpha = 0$ V_{uo} = corte requerido en Cordón (kN)	$\alpha = \left[\frac{1}{1 + \frac{4g^2}{3t^2}} \right]^{0,5}$
$b_{ei} = \frac{10}{(B/t)} \frac{F_{yo} t}{F_{yi} t_{bi}} B_{bi}$ pero $b_{ei} \leq B_{bi}$	$b_{ep} = \frac{10}{(B/t)} B_{bi}$ pero $b_{ep} \leq B_{bi}$	

Tabla 9.4.8. Campo de validez para fórmulas para nudos planos entre barras de alma de sección circular o cuadrada y un cordón de sección cuadrada

Tipo de nudo (a)	Parámetros del nudo ($i = 1, 2 ; j =$ barra de alma recubierta)					
	B_{bi}/B	B_{bi}/t_{bi}	D_{bi}/t_{bi}	B/t	$(B_{b1} + B_{b2}) / 2 B_{bi}$	Espaciamiento / Recubrimiento (c)
		Compresión	Tracción		B_{bi}/B_{bj} t_{bi} / t_{bj}	
X, Y, T	$0,25 \leq \beta \leq 0,85$ (b)	$\leq 1,25 \sqrt{\frac{E}{F_{yi}}}$		$10 \leq \frac{B}{t} \leq 35$ (b)		
K, N Con espacia- miento	$\geq 0,1 + 0,01 \frac{B}{t}$ $\beta \geq 0,35$	≤ 35	≤ 35	$15 \leq \frac{B}{t} \leq 35$ (b)	$0,6 \leq \frac{B_{b1} + B_{b2}}{2 B_{bi}} \leq 1,3$ (b)	(d) $0,5(1-\beta) \leq \frac{g}{B} \leq 1,5(1-\beta)$ $g \geq t_{b1} + t_{b2}$
K, N Con recubri- miento	$\geq 0,25$	$\leq 1,1 \sqrt{\frac{E}{F_{yi}}}$		$\frac{B}{t} \leq 40$	$\frac{t_{bi}}{t_{bj}} \leq 1$ $\frac{B_{bi}}{B_{bj}} \geq 0,75$	$25\% \leq \lambda_{ov} \leq 100\%$
Barras de alma de sección circular	$0,4 \leq \frac{D_{bi}}{B} \leq 0,8$	$\leq 1,5 \sqrt{\frac{E}{F_{yi}}}$	$\frac{D_{b2}}{t_{b2}} \leq 50$	Iguales limitaciones a las anteriores sustituyendo B_{bi} por D_{bi}		

(a) en todos los casos: $\theta \geq 30^\circ$; $F_{yi}, F_{yj} \leq 355$ MPa ; $F_{yi} (\text{ ó } F_{yj}) / F_{ui} \leq 0,80$
(b) fuera de este campo de validez pueden gobernar otros criterios de rotura, tales como punzonamiento, plastificación de la pared lateral, desigual distribución de fuerza, fluencia por corte en el cordón o pandeo local. Si no se respetan estos límites particulares de validez, la unión puede todavía comprobarse como si tuviera un cordón rectangular utilizando las expresiones de la **Tabla 9.4.7.** siempre que se satisfagan los límites de la **Tabla 9.4.6.**,
(c) excentricidad $-0,55 \leq \frac{e}{H} \leq 0,25$
(d) si $\frac{g}{B} > 1,5 (1-\beta)$ tratar como una unión en T o Y

Tabla 9.4.9. Resistencia de diseño axil de uniones planas entre barras de alma de sección circular o cuadrada y un cordón de sección cuadrada (H = B)

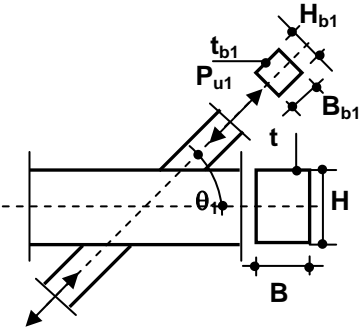
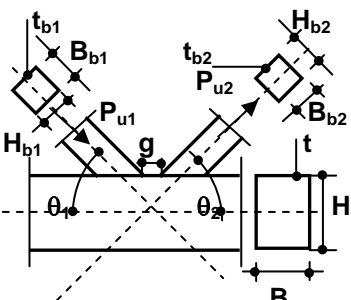
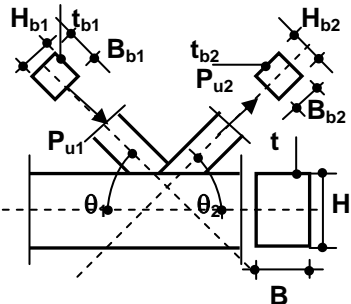
Tipo de nudo	Resistencia de diseño axil ($P_{dni} = \phi P_{nni}$)($i = 1 \text{ ó } 2$) (Estado límite)
<p>Nudos en X, Y, T</p> 	<ul style="list-style-type: none"> $\beta \leq 0,85$ Base: Plastificación de la cara del cordón $P_{dni} = \frac{F_{yo} t^2 (10)^{-1}}{(1 - \beta) \text{sen } \theta_1} \left[\frac{2 \beta}{\text{sen } \theta_1} + 4 (1 - \beta)^{0,5} \right] Q_f \quad \text{exp. (9.4.32)}$
<p>Nudos en K y N con espaciamento</p> 	<ul style="list-style-type: none"> $\beta \leq 1,0$ Base: Plastificación de la cara del cordón $P_{dni} = 0,89 \frac{F_{yo} t^2}{\text{sen } \theta_i} \left[\frac{B_{b1} + B_{b2}}{2 B} \right] \gamma^{0,5} Q_f \quad \text{exp. (9.4.33)}$
<p>Nudos en K y N con recubrimiento (a)</p> 	<ul style="list-style-type: none"> $25\% \leq \lambda_{ov} \leq 50\%$ Base: desigual distribución de fuerza $P_{dni} = 0,95 F_{yi} t_{bi} (10)^{-1} [(\lambda_{ov} / 50) (2 H_{bi} - 4 t_{bi}) + b_{ei} + b_{ei(ov)}] \quad \text{exp. (9.4.34)}$ <ul style="list-style-type: none"> $50\% \leq \lambda_{ov} \leq 80\%$ Base: desigual distribución de fuerza $P_{dni} = 0,95 F_{yi} t_{bi} (10)^{-1} (2 H_{bi} - 4 t_{bi} + b_{ei} + b_{ei(ov)}) \quad \text{exp. (9.4.35)}$ <ul style="list-style-type: none"> $\lambda_{ov} \geq 80\%$ Base: desigual distribución de fuerza $P_{dni} = 0,95 F_{yi} t_{bi} (10)^{-1} (2 H_{bi} - 4 t_{bi} + B_{bi} + b_{ei(ov)}) \quad \text{exp. (9.4.36)}$
<p>Barras de alma de sección circular</p>	<ul style="list-style-type: none"> Reemplazar en expresiones anteriores B_{bi} y H_{bi} por $\pi \cdot D_{bi} / 4$
Funciones	
$Q_f = 1,0$ para f_{op} tracción ($n_p \leq 0$) ; para f_{op} compresión ($n_p > 0$) $Q_f = 1,3 - (0,4 n_p / \beta) \leq 1,0$	
$b_{ei} = \frac{10}{(B/t)} \frac{F_{yo} t}{F_{yi} t_{bi}} B_{bi} \quad \text{pero } b_{ei} \leq B_{bi}$	$b_{ei(ov)} = \frac{10}{(B_{bj} / t_{bj})} \frac{F_{yj} t_{bj}}{F_{yi} t_{bi}} B_{bi} \quad \text{pero } b_{ei(ov)} \leq B_{bi}$
<p>(a) Se necesita verificar solamente la barra de alma que recubre. Sin embargo la eficiencia de la barra de alma recubierta (eficiencia = resistencia de diseño de nudo de la barra de alma dividida por resistencia plástica de la barra de alma) será menor o igual que la eficiencia de la barra de alma que recubre.</p>	

Tabla 9.4.10. Resistencias de diseño axiales de nudo para tipos particulares de nudos planos. Uniones entre tubos rectangulares

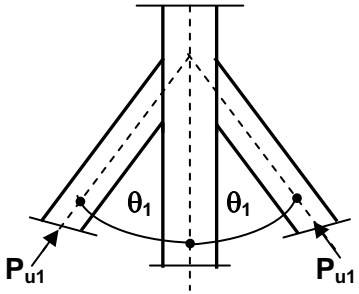
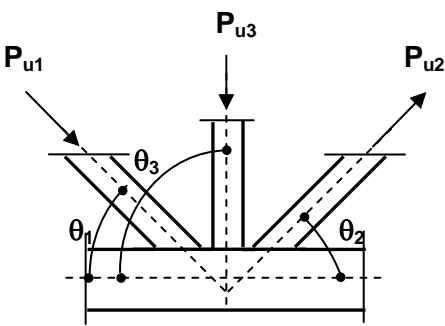
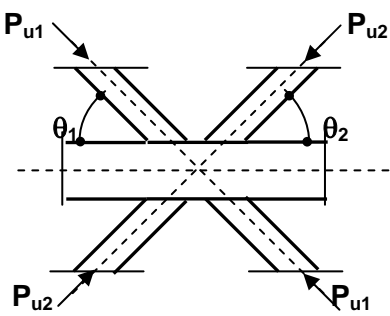
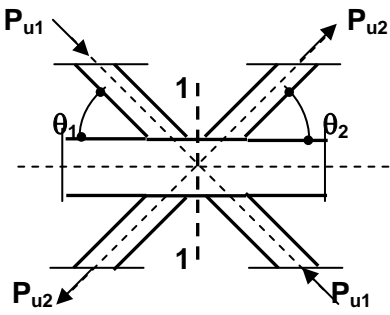
Tipo de nudo	Verificación de la Resistencia de Nudo
	$P_{u1} \leq P_{dn1}$ $P_{dn1} \text{ obtenido para el nudo X}$ exp. (9.4.37)
	$P_{u1} \text{ sen } \theta_1 + P_{u3} \text{ sen } \theta_3 \leq P_{dn1} \text{ sen } \theta_1$ exp. (9.4.38) $P_{dn1} \text{ de nudo en K}$ $P_{u2} \text{ sen } \theta_2 \leq P_{dn1} \text{ sen } \theta_1 \quad \text{exp. (9.4.39)}$ <p>Sustituir $\beta = \frac{B_{b1} + B_{b2} + H_{b1} + H_{b2}}{4 B}$ por</p> $\beta = \frac{B_{b1} + B_{b2} + B_{b3} + H_{b1} + H_{b2} + H_{b3}}{6 B}$ <p>en la expresión de resistencia de diseño del nudo en K</p>
	$P_{u1} \text{ sen } \theta_1 + P_{u2} \text{ sen } \theta_2 \leq \text{Máx}(P_{dn1} \text{ sen } \theta_1; P_{dn2} \text{ sen } \theta_2)$ exp. (9.4.40) $P_{dn1} \text{ y } P_{dn2} \text{ de nudo en X}$ <p>Sustituir β por $\frac{B_{b1} + B_{b2}}{2 B}$ y</p> $H_{b1} \text{ por } \frac{1}{2} \left[\frac{H_{b1}}{\text{sen } \theta_1} + \frac{H_{b2}}{\text{sen } \theta_2} \right]$ <p>en las expresiones de resistencia de diseño del nudo en X</p>
	$P_{u1} \leq P_{dn1} \quad \text{con } P_{dn1} \text{ de nudo en K}$ $P_{u2} \leq P_{dn2} \quad \text{con } P_{dn2} \text{ de nudo en K}$ exp. (9.4.41) <p>Se deberá verificar en la sección 1-1 del cordón la resistencia plástica a corte (solamente en nudos con espaciamiento)</p>

Tabla 9.4.11. Resistencias de diseño de nudo a momento. Uniones planas de barras de alma a un cordón de sección rectangular

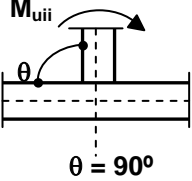
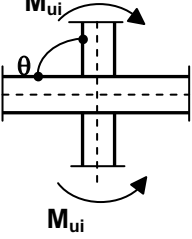
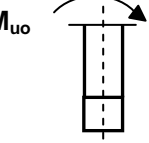
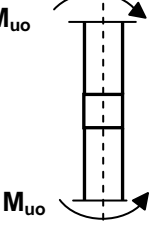
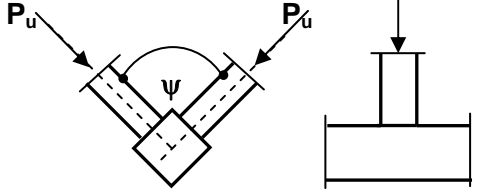
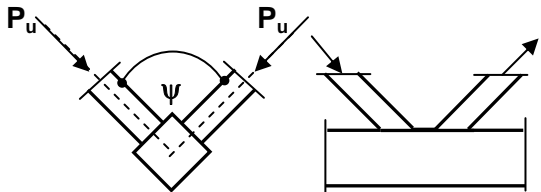
Tipo de Nudo	Resistencia de diseño a momento flexor (i = 1, 2) $M_{dnii} = \phi M_{nnii}$ (en el plano) $M_{dnoi} = \phi M_{nnoi}$ (fuera del plano)
Nudos en T, Y, X (Momento en el plano)	
<p>Nudo en T</p>  <p>$\theta = 90^\circ$</p> <p>Nudo en X</p>  <p>M_{ui}</p>	<ul style="list-style-type: none"> $\beta \leq 0,85$ Base: Plastificación de la cara del cordón $M_{dni1} = F_{yo} t^2 H_{b1} \left[\frac{1-\beta}{2 H_{b1} / B} + \frac{2}{\sqrt{1-\beta}} + \frac{H_{b1} / B}{(1-\beta)} \right] Q_f (10)^{-3}$ <p style="text-align: center;">exp.(9.4.42)</p> <ul style="list-style-type: none"> $0,85 < \beta \leq 1,0$ Base: Desigual distribución de fuerza $M_{dni1} = 0,95 F_{y1} \left[Z_{b1} - \left(1 - \frac{b_e}{B_{b1}} \right) B_{b1} t_{b1} (H_{b1} - t_{b1}) \right] (10)^{-3}$ <p style="text-align: center;">exp.(9.4.43)</p> <ul style="list-style-type: none"> $0,85 < \beta \leq 1,0$ Base: Resistencia pared lateral del cordón $M_{dni1} = 0,5 F_{cr} t (H_{b1} + 5 t)^2 (10)^{-3}$ <p style="text-align: right;">exp.(9.4.44)</p>
Nudos T y X (Momento fuera del plano)	
<p>$\theta = 90^\circ$</p>  <p>M_{uo}</p>  <p>M_{uo}</p>	<ul style="list-style-type: none"> $\beta \leq 0,85$ Base: Plastificación de la cara del cordón $M_{dno1} = F_{yo} t^2 \left[\frac{H_{b1} (1+\beta)}{2(1-\beta)} + \sqrt{\frac{2 B B_{b1} (1+\beta)}{(1-\beta)}} \right] Q_f (10)^{-3}$ <p style="text-align: center;">exp.(9.4.45)</p> <ul style="list-style-type: none"> $0,85 < \beta \leq 1,0$ Base: Desigual distribución de fuerza (1) $M_{dno1} = 0,95 F_{y1} [Z_{b1} - 0,5 t_{b1} (B_{b1} - b_{e1})^2] (10)^{-3} \quad (1) \quad \text{exp.(9.4.46)}$ <ul style="list-style-type: none"> $0,85 < \beta \leq 1,0$ Base: Resistencia pared lateral del cordón (1) $M_{dno1} = F_{cr} t (H_{b1} + 5 t) (B - t) (10)^{-3} \quad (1) \quad \text{exp.(9.4.47)}$
Funciones	
<p>$Q_f = 1,0$ para f_{op} tracción ($n_p \leq 0$)</p> <p>para f_{op} compresión ($n_p > 0$) $Q_f = 1,3 - (0,4 n_p / \beta) \leq 1,0$</p> <p>$n_p = f_{op} / f_{yo}$</p>	$b_{ei} = \frac{10}{(B/t)} \frac{F_{yo} t}{F_{yi} t_{bi}} B_{bi} \quad \text{pero } b_{ei} \leq B_{bi} \quad \text{exp.(9.4.48)}$ <p>$F_{cr} = F_{yo}$ para nudos en T bajo flexión en el plano $F_{cr} = 0,8 F_{yo}$ para nudos en X bajo flexión en el plano</p> <p>Para nudos bajo flexión fuera del plano F_{cr} obtenida del art. 4.2. expresiones (4.2.2) y (4.2.3) con $(kL/r) = 3,46 (H/t - 2)$ y $Q = 1$</p>
Campo de validez	
<p>$\theta_1 = 90^\circ$; $B_{b1} / t_{b1} \leq 1,1 \sqrt{E/F_{y1}}$; y restantes límites especificados en Tablas 9.4.6. y 9.4.8.</p>	
<p>(1) Para dimensionar sobre esta base debe impedirse la distorsión del cordón. La distorsión romboidal del cordón puede impedirse utilizando diafragmas de rigidez.</p>	

Tabla 9.4.12. Factores de corrección para nudos multiplanos. Uniones entre tubos rectangulares

Tipo de nudo	Factor de corrección C_{mp} respecto a nudo plano
<p>T - T X-X</p> 	<p>Para $60^\circ \leq \psi \leq 90^\circ$</p> <p>$C_{mp} = 0,9$</p>
<p>K - K</p> 	<p>Para $60^\circ \leq \psi \leq 90^\circ$</p> <p>$C_{mp} = 0,9$</p> <p>También en nudo K-K con espaciamiento comprobar:</p> $\left(\frac{P_{uo(en\ esp)}}{A_{go} F_{yo}} \right)^2 + \left(\frac{V_{uo}}{0,57 A_{go} F_{yo}} \right)^2 \leq 1,0$
<p>Campo de validez : según la Tabla 9.4.6. y la Tabla 9.4.8.</p>	

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

La resistencia de diseño de nudo de la barra del alma i para fuerza axial ($P_{dni} = \phi P_{nni}$) será la menor de las respectivamente determinadas para los estados límites de plastificación del alma del cordón, fluencia por corte del cordón y/o desigual distribución de fuerza según corresponda para cada tipo de nudo.

9.4.4.1. Definición de parámetros y símbolos

Además de los definidos para los nudos soldados entre tubos circulares, rectangulares o cuadrados en los artículos 9.4.2.1. y 9.4.3.1. se definen los siguientes parámetros y símbolos:

- B_o el ancho del ala del cordón doble Te, en cm.
- H_o la altura total del cordón doble Te, en cm.
- t_f el espesor del ala del perfil doble Te del cordón. Para alas de espesor variable se adoptará como espesor el correspondiente a la mitad de la distancia entre el borde libre del ala y la cara correspondiente del alma, en cm.
- t_w el espesor del alma del perfil doble Te del cordón, en cm.
- d_w la altura del alma del perfil doble Te del cordón, en cm.
- r el radio de acuerdo entre ala y alma del perfil doble Te del cordón, en cm.
- b_w la función definida en la Tabla **9.4.14.**, en cm.
- b_{eff} la función definida en la Tabla **9.4.14.**, en cm.
- $b_{ei(ov)}$ la función definida en la Tabla **9.4.14.** para la barra i , en cm.

9.4.4.2. Resistencias de diseño y campo de validez

- (1) Las resistencias requeridas para las barras de alma deberán ser menores o iguales que las respectivas resistencias de diseño de nudo.
- (2) En **nudos planos**, entre barras de alma rectangulares, cuadradas o circulares y un cordón de perfil doble Te, de los Tipos **T, Y, X, K (o N) con espaciamento, K (o N) con recubrimiento**, las resistencias de diseño **axiles** de nudo serán determinadas con las expresiones de la Tabla **9.4.14.**
- (3) Las expresiones dadas en la Tabla **9.4.14.** solamente son de aplicación dentro del campo de validez especificado en la Tabla **9.4.13.**

Tabla 9.4.13. Campo de validez para fórmulas para nudos planos entre barras de alma de sección rectangular, cuadrada o circular y un cordón de sección doble Te

Tipo de nudo	Parámetros del nudo (i = 1, 2 ; j = barra de alma recubierta)					
	H_{bi} / B_{bi}	B_{bj} / B_{bi}	d_w / t_w	B_o / t_f	$B_{bi} / t_{bi} , H_{bi} / t_{bi} , D_{bi} / t_{bi}$	
					Compresión	Tracción
Nudo en X	$0,5 \leq \frac{H_{bi}}{B_{bi}} \leq 2,0$	----	$\frac{d_w}{t_w} \leq 1,2 \sqrt{\frac{E}{F_{yo}}}$ y $d_w \leq 400 \text{ mm}$			
Nudo en T	$\frac{H_{bi}}{B_{bi}} = 1,0$	----	$\frac{d_w}{t_w} \leq 1,5 \sqrt{\frac{E}{F_{yo}}}$ y $d_w \leq 400 \text{ mm}$	$\frac{B_o}{t_f} \leq 1,1 \sqrt{\frac{E}{F_{yi}}}$	$\frac{H_{bi}}{t_{bi}} \leq 1,1 \sqrt{\frac{E}{F_{yi}}}$	$\frac{H_{bi}}{t_{bi}} \leq 35$
Nudo en Y						
Nudo en K con espaciamiento					$\frac{B_{bi}}{t_{bi}} \leq 1,1 \sqrt{\frac{E}{F_{yi}}}$	$\frac{B_{bi}}{t_{bi}} \leq 35$
Nudo en N con Espaciamiento					$\frac{D_{bi}}{t_{bi}} \leq 1,1 \sqrt{\frac{E}{F_{yi}}}$	$\frac{D_{bi}}{t_{bi}} \leq 50$
Nudo en K con recubrimiento	$0,5 \leq \frac{H_{bi}}{B_{bi}} \leq 2,0$	$\frac{B_{bj}}{B_{bi}} \geq 0,75$	$d_w \leq 400 \text{ mm}$			
Nudo en N con recubrimiento						

Tabla 9.4.14. Resistencia de diseño axil en uniones planas entre barras de alma de sección rectangular, cuadrada o circular y un cordón de sección doble Te

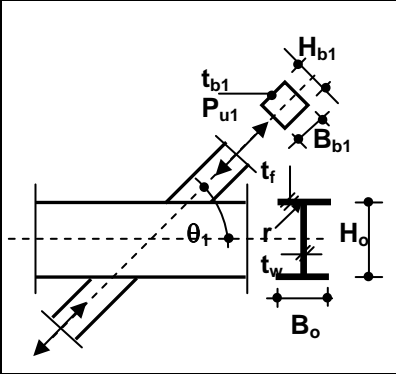
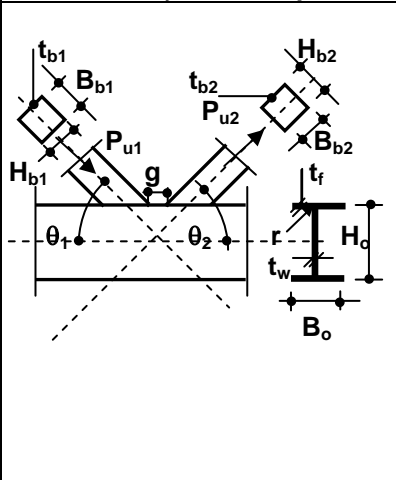
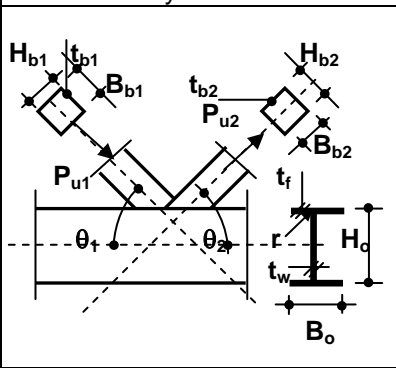
Tipo de nudo	Resistencia de diseño axil ($P_{dni} = \phi P_{nni}$) ($i = 1 \text{ ó } 2$; $j =$ barra de alma recubierta) (Estado límite)	
Nudos en X, Y y T		
	<ul style="list-style-type: none"> Base: Plastificación del alma del cordón 	
	$P_{dni} = \frac{F_{yo} t_w b_w (10)^{-1}}{\text{Sen } \theta_1} \quad \text{exp. (9.4.49)}$	
	<ul style="list-style-type: none"> Base: Desigual distribución de fuerza 	
	$P_{dni} = 1,9 F_{y1} t_{b1} b_{eff} (10)^{-1} \quad \text{exp. (9.4.50)}$	
Nudos en K y N con espaciamiento		
	<ul style="list-style-type: none"> Base: Plastificación del alma del cordón 	
	$P_{dni} = \frac{F_{yo} t_w b_w (10)^{-1}}{\text{Sen } \theta_i} \quad \text{Exp. (9.4.51)}$	No es necesaria la comprobación de desigual distribución de fuerza si:
	<ul style="list-style-type: none"> Base: Desigual distribución de fuerza $P_{dni} = 1,9 F_{yi} t_{bi} b_{eff} (10)^{-1} \quad \text{Exp. (9.4.52)}$	$g/t_f \leq 20 - 20 \beta$ $\beta = 1,0 - 0,03 \gamma$ y $0,75 \leq D_{b1} / D_{b2} \leq 1,33$ ó $0,75 \leq B_{b1} / B_{b2} \leq 1,33$
	<ul style="list-style-type: none"> Base: Fluencia por corte del cordón 	
	$P_{dni} = 0,57 \frac{F_{yo} A_{vo} (10)^{-1}}{\text{Sen } \theta_i} \quad \text{exp. (9.4.53)}$	
	También en espaciamiento $P_{dno} = 10^{-1} (A_{go} - A_{vo}) F_{yo} + 10^{-1} A_{vo} F_{yo} [1 - (V_{uo} / V_{dpo})^2]^{0,5}$	
Nudos en K y N con recubrimiento (a)		
	<ul style="list-style-type: none"> Base: Desigual distribución de fuerza $25\% \leq \lambda_{ov} < 50\%$ 	
	$P_{dni} = 0,95 F_{yi} t_{b1} (10)^{-1} [(\lambda_{ov} / 50) (2 H_{bi} - 4 t_{bi}) + b_{eff} + b_{ei(ov)}] \quad \text{Exp. (9.4.54)}$	
	<ul style="list-style-type: none"> Base: Desigual distribución de fuerza $50\% \leq \lambda_{ov} < 80\%$ 	
	$P_{dni} = 0,95 F_{yi} t_{b1} (10)^{-1} (2 H_{bi} - 4 t_{bi} + b_{eff} + b_{ei(ov)}) \quad \text{exp. (9.4.55)}$	
	<ul style="list-style-type: none"> Base: Desigual distribución de fuerza $\lambda_{ov} \geq 80\%$ 	
	$P_{dni} = 0,95 F_{yi} t_{b1} (10)^{-1} (2 H_{bi} - 4 t_{bi} + B_{bi} + b_{ei(ov)}) \quad \text{exp. (9.4.56)}$	
Barras de alma de sección circular:		
<ul style="list-style-type: none"> Reemplazar en expresiones anteriores B_{bi} y H_{bi} por $\pi D_{bi} / 4$ 		
Funciones		
rectangular $b_w = (H_{bi} / \text{sen } \theta_i) + 5 (t_f + r)$ $b_w \leq 2 t_{bi} + 10 (t_f + r)$ circular $b_w = (D_{bi} / \text{sen } \theta_i) + 5 (t_f + r)$ $b_w \leq 2 t_{bi} + 10 (t_f + r)$	$A_v = A_{vo} - (2 - \alpha) B_o t_f (10)^{-1} + (t_w + 2 r) t_f (10)^{-1}$ $V_{dpo} = 0,57 F_{yo} A_{vo} (10)^{-1}$ V_{uo} = Corte requerido en cordón, en kN $\alpha = \left(\frac{1}{1 + (4 g^2 / 3 t_f^2)} \right)^{0,5}$ Para barra circular $\alpha = 0$	

Tabla 9.4.14. (continuación)

Funciones	
$b_{eff} = t_w + 2 r + 7 (F_{yo}/F_{yi}) t_f$ pero $b_{eff} \leq B_{bi}$	$b_{ei(ov)} = \frac{10}{(B_{bj} / t_{bj}) F_{yi} t_{bi}} B_{bi}$ pero $b_{ei(ov)} \leq B_{bi}$
(a) Se necesita verificar solamente la barra de alma que recubre. Sin embargo la eficiencia de la barra de alma recubierta (eficiencia = resistencia de diseño de nudo de la barra de alma dividida por resistencia plástica de la barra de alma) será menor o igual que la eficiencia de la barra de alma que recubre.	

9.4.5. Uniones soldadas con placas de refuerzo

Los nudos planos de reticulados con barras de alma de sección rectangular, cuadrada o circular y cordones de sección rectangular o cuadrada, se podrán reforzar con placas de refuerzo soldadas al cordón según las siguientes especificaciones.

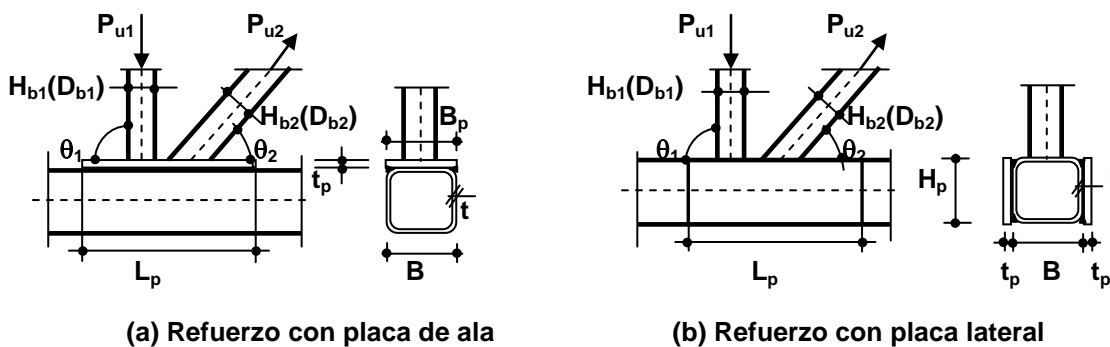


Figura 9.4.4. Nudo N soldado con refuerzo de placas.

9.4.5.1. Refuerzo con placa de ala en nudos K y N con espaciamiento

Cuando la resistencia de diseño en base a la plastificación de la cara del cordón sea crítica y sea necesario aumentar la resistencia de diseño del nudo se podrá colocar una **placa de refuerzo de ala**, según se indica en la Figura 9.4.4.(a), que cumpla las siguientes condiciones:

- $B_p = B$
 $t_p \geq 2 t_{b2}$

siendo:

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

- La resistencia de diseño del nudo en base a la plastificación del cordón se determinará con las expresiones (9.4.28), Tabla 9.4.7. y (9.4.33.), Tabla 9.4.9. según corresponda, adoptando:

$$B = B_p \quad t = t_p \quad \gamma = B_p / 2t_p \quad \beta = (B_{b1} + B_{b2}) / 2 B_p \quad F_{yo} = F_{yp}$$

siendo:

B_p el ancho de la placa de refuerzo, en cm.

t_p el espesor de la placa de refuerzo, en cm.

F_{yp} la tensión de fluencia especificada del acero de la placa de refuerzo, en MPa.

- La placa de refuerzo tendrá un longitud L_p tal que:

$$L_p \geq 1,5 \left(\frac{H_{b1}}{\text{sen } \theta_1} + g + \frac{H_{b2}}{\text{sen } \theta_2} \right) \quad (9.4.57)$$

- La placa de refuerzo se deberá soldar al cordón con soldadura completa todo alrededor. El filete transversal deberá tener una altura $d_w \geq 1,4 t_{bi}$ siendo t_{bi} el espesor de la barra de alma adyacente.
- El espaciamiento g deberá permitir la soldadura de las barras de alma a la placa independientemente:

$$g \geq t_{b1} + t_{b2} + t_p [(1 / \text{tg } \theta_1) + (1 / \text{tg } \theta_2)] \quad (9.4.58)$$

9.4.5.2. Refuerzo con placa lateral en nudos K y N con espaciamiento

Cuando la resistencia de diseño en base a la fluencia por corte del cordón sea crítica y sea necesario aumentar la resistencia de diseño del nudo se podrá colocar un par de **placas laterales de refuerzo**, según se indica en la Figura 9.4.4.(b), que cumplan con las siguientes condiciones:

- $H_p = H$
- La resistencia de diseño del nudo en base a la fluencia por corte del cordón se determinará con la expresión (9.4.29), Tabla 9.4.7. adoptando:

$$A_{vo} = 2 H (t + t_p) \quad (9.4.59)$$

siendo:

H_p la altura de la placa lateral de refuerzo, en cm.

t_p el espesor de la placa lateral de refuerzo, en cm.

- Las placas de refuerzo laterales tendrán una longitud L_p tal que:

$$L_p \geq 1,5 \left(\frac{H_{b1}}{\text{sen}\theta_1} + g + \frac{H_{b2}}{\text{sen}\theta_2} \right) \quad (9.4.60)$$

- La placa de refuerzo se deberá soldar al cordón con soldadura completa todo alrededor.

9.4.5.3. Placas de refuerzo en nudos en K con recubrimiento (ver la Figura 9.4.5.)

A fin de evitar el recubrimiento parcial de una barra de alma por otra en una unión en **K**, se podrá soldar cada barra de relleno a una placa de refuerzo tal como se muestra en las Figuras 9.4.5.(a) y 9.4.5.(b). Para estas uniones se deberá verificar:

$$t_p \geq 2 t_{b1} + 2 t_{b2}$$

Este Reglamento **no permite** la unión soldada directa de las barras de alma según se muestra en la Figura 9.4.5.(c).

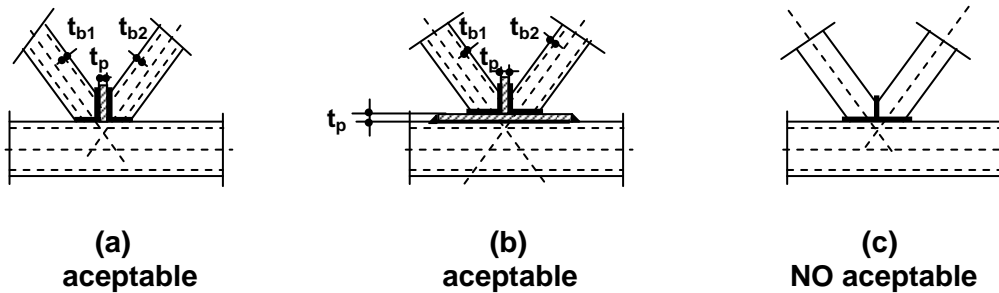


Figura 9.4.5. Uniones en K con recubrimiento aceptables y no aceptables.

9.4.5.4. Refuerzo con placa de ala en nudos T, Y y X

Cuando la resistencia de diseño en base a la plastificación de la cara del cordón sea crítica y sea necesario aumentar la resistencia de diseño del nudo se podrá colocar una **placa de refuerzo de ala** en forma similar a lo indicado para el nudo **N** con espaciamiento, (ver la Figura 9.4.4.(a)), que cumpla las siguientes condiciones:

(A) Para barra de alma **traccionada**:

- Deberá ser $B_p = B$
- La resistencia de diseño del nudo en base a la plastificación del cordón se determinará con la expresión:

$$P_{dn1} = \frac{F_{yp} t_p^2 (10)^{-1}}{(1 - \beta_p) \text{sen}\theta_1} \left[\frac{2 H_{b1} / B_p}{\text{sen}\theta_1} + 4 (1 - \beta_p)^{0,5} \right] \quad \text{para } \beta_p \leq 0,85 \quad (9.4.61)$$

siendo:

B_p el ancho de la placa de refuerzo, en cm.

t_p el espesor de la placa de refuerzo, en cm.

F_{yp} la tensión de fluencia especificada del acero de la placa de refuerzo, en MPa.

$$\beta_p = (B_{b1} / B_p)$$

- La placa de refuerzo tendrá una longitud mínima L_p tal que:

$$L_p \geq \left(\frac{H_{b1}}{\text{sen } \theta_1} \right) + \sqrt{B_p (B_p - B_{b1})} \quad (9.4.62)$$

- La placa de refuerzo se deberá soldar al cordón con soldadura completa todo alrededor. El filete transversal deberá tener una altura d_w mayor o igual que el espesor t_{bi} de la barra de alma .

(B) Para barra de alma **comprimida** con $\beta_p \leq 0,85$:

- Deberá ser:

B_p el ancho de la parte plana de la cara del cordón = $B - 2 R$

$$t_p = 4 t_{b1} - t$$

$$L_p = 2 B / \text{sen } \theta_1$$

siendo:

R el radio externo del tubo, en cm.

- El estado límite de **resistencia de la pared lateral del cordón** se deberá verificar según la Tabla 9.4.7., expresiones (9.4.24) y (9.4.25).
- La placa de refuerzo se deberá soldar al cordón con soldadura completa todo alrededor. El filete transversal deberá tener una altura d_w mayor o igual que el espesor t_{bi} de la barra de alma .

9.4.5.5. Refuerzo con placa lateral en nudos T, Y y X

Cuando la resistencia de diseño en base a la resistencia de la pared lateral del cordón sea crítica y sea necesario aumentar la resistencia de diseño del nudo, se podrá colocar un par de **placas laterales de refuerzo** en forma similar a lo indicado para el nudo **N** con espaciamiento, ver la Figura 9.4.4.(b), que cumplan con las siguientes condiciones:

- $H_p = H$
- La resistencia de diseño de nudo en base a la resistencia de pared lateral del cordón se determinará con la expresión (9.4.24), Tabla 9.4.7. adoptando:

$$t = (t + t_p) \quad (9.4.63)$$

siendo:

H_p la altura de la placa lateral de refuerzo, en cm.

t_p el espesor de la placa lateral de refuerzo, en cm.

- Las placas de refuerzo laterales tendrán una longitud L_p tal que:

$$L_p \geq 1,5 \left(\frac{H_{b1}}{\text{sen } \theta_1} \right) \quad (9.4.64)$$

- La placa de refuerzo se deberá soldar al cordón con soldadura completa todo alrededor.

9.5. UNIONES CON BRIDAS ABULONADAS Y SOMETIDAS A TRACCIÓN

Las uniones abulonadas sometidas a tracción de tubos con bridas soldadas a los mismos, cumplirán las siguientes especificaciones.

- (1) La brida será soldada al tubo todo alrededor según las especificaciones del artículo 9.2.
- (2) Se utilizarán bulones de alta resistencia pretensados según lo indicado en la Sección J.3.1. del Reglamento CIRSOC 301-2005.
- (3) Las uniones se proyectarán según lo especificado en las secciones siguientes.

9.5.1. Tubos de sección circular con bridas circulares (ver la Figura 9.5.1.)

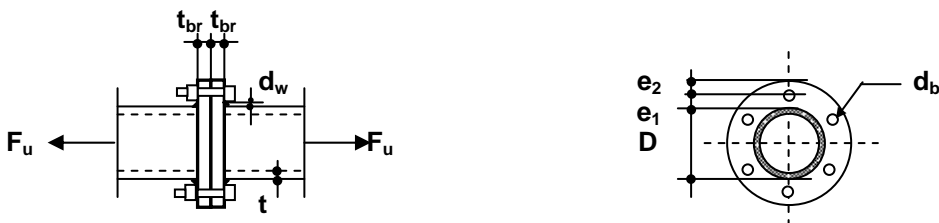


Figura 9.5.1. Uniones de tubos de sección circular con bridas.

- El espesor de la brida t_{br} deberá ser:

$$t_{br} \geq \sqrt{\frac{20 F_u}{F_{ybr} \pi f_3}} \quad (9.5.1)$$

- La cantidad de bulones n se determinará con la siguiente expresión:

$$n \geq \frac{F_u \left[1 - \frac{1}{f_3} + \frac{1}{f_3 I_n(r_1/r_2)} \right]}{0,67 R_{dbt}} \quad (9.5.2)$$

siendo:

- F_u la fuerza de tracción requerida a transmitir por la unión, en kN.
- F_{ybr} la tensión de fluencia especificada del acero de la brida, en MPa.
- f_3 el parámetro adimensional obtenido de la Figura 9.5.2.
- R_{dbt} la resistencia de diseño a tracción del bulón de diámetro d_b según la Sección J.3.6., del Reglamento CIRSOC 301-2005, en kN.
- $r_1 = (D/2) + 2 e_1$, en cm.
- $r_2 = (D/2) + e_1$, en cm.
- e_1 la distancia entre borde del tubo y centro de agujero del bulón, en cm.
 $\geq 1,75 d_b$
 $\geq d_w + 0,5 \text{ cm} + \text{diámetro de tuerca}/2$
- d_b el diámetro del bulón, en cm.
- d_w el lado de la soldadura de filete de unión del tubo y la brida, en cm.
- e_2 la distancia entre el centro del agujero y el borde de la brida, en cm.
 $= e_1$

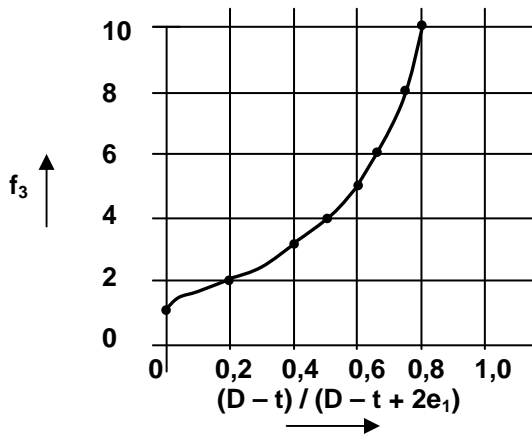


Figura 9.5.2. Parámetro f_3 para utilizar en expresiones (9.5.1) y (9.5.2).

9.5.2. Tubos de sección rectangular con brida rectangular

9.5.2.1. Brida abulonada en dos lados opuestos

El espesor de la brida t_{br} y la cantidad de bulones n de un diámetro d_b , se deberá dimensionar considerando el efecto palanca sobre el bulón y adoptando como línea de articulación plástica de la brida el borde interno de la pared del tubo. El procedimiento siguiente satisface las condiciones antedichas, ver la Figura 9.5.3.

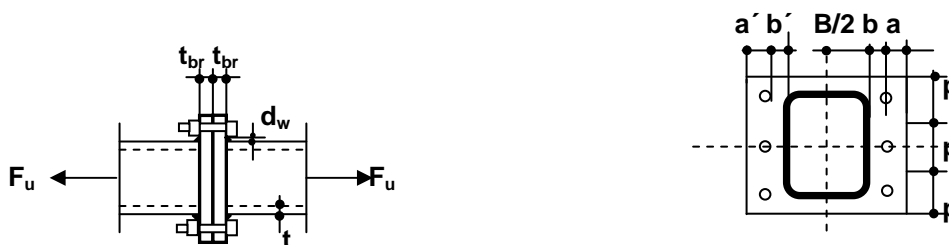


Figura 9.5.3. Brida abulonada en dos lados opuestos. Tubo rectangular.

- Se adopta: p tal que $3 d_b \leq p \leq 5 d_b$
 $a \geq 1,75 d_b$
 $b \geq d_w + 0,5 \text{ cm} + \text{diámetro de tuerca}/2$
 resulta: $b' = b - (d_b/2) + t$ (9.5.3)

siendo:

d_b el diámetro del bulón, en cm.

a la distancia desde centro de agujero a borde de brida, en cm.

b la distancia desde centro de agujero a borde externo de tubo, en cm.

b' la distancia desde centro de agujero a la cara interna de la pared del tubo, en cm.

t el espesor de pared del tubo, en cm.

p el paso de bulones, en cm.

d_w el lado de la soldadura de filete de unión del tubo y la brida, en cm.

- Se obtiene δ (relación entre el área neta en la línea de bulones y el área bruta junto a la cara del tubo) de la siguiente expresión:

$$\delta = 1 - (d_b' / p) \quad (9.5.4)$$

siendo:

d_b' el diámetro nominal del agujero del bulón (ver la Tabla J.3.3. del Reglamento CIRSOC 301-2005) – 2 mm .

- Se elige un espesor de brida t_{br} tal que:

$$[10 K F_{u1} / (1 + \delta)]^{0,5} \leq t_{br} \leq (10 K F_{u1})^{0,5} \quad (9.5.5)$$

siendo:

F_{u1} la resistencia requerida por bulón = F_u / n , en kN.

F_u la resistencia requerida de la unión, en kN.

n el número de bulones de la unión.

$$K = 4 b' / (0,9 F_{ybr} p) \quad (1/\text{MPa}) \quad (9.5.6)$$

F_{ybr} la tensión de fluencia especificada del acero de la brida, en MPa.

- Se obtiene la relación α'

$$\alpha' = [(10 K R_{dbt} / t_{br}^2) - 1] [(a_e + d_b/2) / \delta (a_e + b + t)] \geq 0 \quad (9.5.7)$$

siendo:

a_e el menor valor de a ó $1,25 b$

R_{dbt} la resistencia de diseño a tracción del bulón de diámetro d_b según la Sección J.3.6., del Reglamento CIRSOC 301-2005, en kN.

- La resistencia de diseño de la unión R_d se obtiene por medio de la siguiente expresión:

$$R_d = t_{br}^2 (1 + \delta \alpha') n / (10 K) \quad (9.5.8)$$

- Deberá ser: $R_d \geq F_u$ (9.5.9)

Si no se cumple la expresión (9.5.8) se deberá redimensionar la unión, modificando t_{br} o el número de bulones n .

- Se verifica la resistencia del bulón

La fuerza de tracción requerida en el bulón incluido el efecto palanca T_{u1} (kN) será:

$$T_{u1} = F_{u1} \{ 1 + (b' / a_e') [\delta \alpha / (1 + \delta \alpha)] \} \quad (9.5.10)$$

siendo:

$$a_e' = a_e + d_b / 2$$

$$\alpha = [(10 K F_{u1} / t_{br}^2) - 1] (1/\delta) \quad (9.5.11)$$

Deberá ser $T_{u1} \leq R_{dbt}$

9.5.2.2. Brida abulonada en cuatro lados (ver la Figura 9.5.4.)

El dimensionado de estas uniones se deberá basar en **ensayos que determinen fehacientemente** la posición de las líneas de rotura y del efecto palanca sobre los bulones.



Figura 9.5.4. Brida abulonada en cuatro lados.

9.6. BARRAS DE ALMA DE SECCIÓN CIRCULAR CON EXTREMOS APLASTADOS

Cuando se aplasten los extremos de las barras de alma de sección circular la pendiente desde el tubo hasta la parte plana será menor que el **25 %**. Ver la Figura 9.6.1.

Para poder realizar el aplastamiento, el tubo deberá cumplir con la relación:

$$(D / t) \leq 25$$

Además el aplastamiento deberá ser simétrico o sea que el eje longitudinal de la parte plana deberá coincidir con el eje longitudinal de la barra.

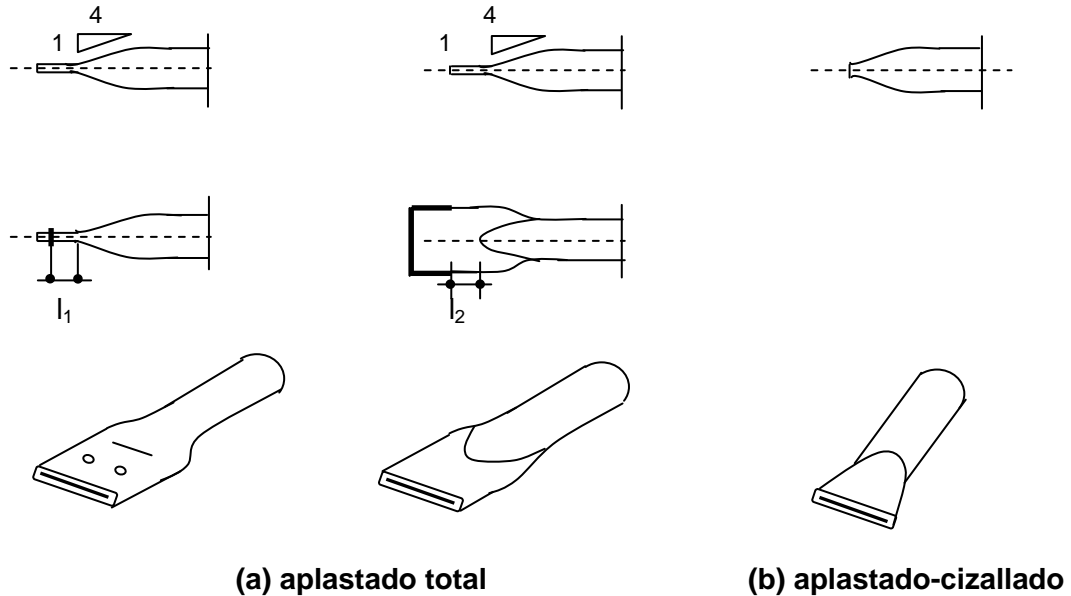


Figura 9.6.1. Barras de sección circular con extremos aplastados.

El factor de longitud efectiva k para barras de alma con extremos aplastados comprimidas será $k=1$.

Si la esbeltez de la barra de alma con extremos aplastados verifica que: $(k L/r) \leq 40$ la tensión crítica de pandeo flexional, obtenida del artículo 4.2., se reducirá en un 10% .

Si las barras de alma de sección circular con extremos aplastados se **unen a chapas de nudo con bulones** se verificará la unión con las especificaciones del artículo 9.1..

Si la barra de alma está **traccionada** se verificará la parte plana según el artículo 3.1.. El área neta efectiva se obtendrá con las especificaciones del artículo 2.1..

Si la barra de alma está **comprimida**, la distancia l_1 entre el eje del primer bulón y el inicio de la parte plana de la barra aplastada, deberá ser:

$$l_1 \leq D / 3,5 \quad \text{para } D \geq 12,7 \text{ cm} \quad \text{y también } l_1 \geq 1,5 d_b$$

$$l_1 \leq D / 2,5 \quad \text{para } D < 12,7 \text{ cm} \quad \text{y también } l_1 \geq 1,5 d_b$$

siendo:

d_b el diámetro del bulón, en cm.

D el diámetro del tubo, en cm.

Si las barras de alma de sección circular con extremos aplastados se **unen a chapas de nudo con soldadura** se deberá verificar la unión con las especificaciones del artículo **9.2.**

Si la barra de alma está **comprimida**, la distancia l_2 entre el extremo de la soldadura y el inicio de la parte plana de la barra aplastada, deberá ser:

$$l_2 \leq D / 4,5 \quad \text{para } D \geq 12,7 \text{ cm}$$

$$l_2 \leq D / 3,5 \quad \text{para } D < 12,7 \text{ cm}$$

Para **uniones directas soldadas** de barras de alma de sección circular con extremos aplastados o aplastados-cizallados a cordones tubulares **la resistencia de diseño de nudo se obtendrá por ensayos** debidamente certificados. Se deberán además verificar los cordones tubulares con la acción de las fuerzas concentradas según las especificaciones aplicables del Capítulo **8**.

CAPÍTULO 10. FABRICACIÓN DE ESTRUCTURAS TUBULARES

Las siguientes especificaciones son complementarias de las establecidas en el Capítulo **M** del Reglamento CIRSOC 301-2005, las que serán de aplicación para la fabricación, montaje y control de calidad de las estructuras realizadas con tubos.

- (1) Cuando se pueda acumular agua dentro de un tubo, ya sea durante la construcción o en la estructura en servicio, el tubo se deberá sellar en sus extremos, provisto de un agujero de drenaje en su base, o protegido mediante otro medio adecuado.
- (2) El tubo se deberá limpiar con un solvente adecuado si se lo pinta de acuerdo con lo especificado en la Sección **M.3.1.** del Reglamento CIRSOC 301-2005.
- (3) El tubo se deberá limpiar con un solvente adecuado en las ubicaciones de las soldaduras.

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

En este Anexo se presentan las expresiones contenidas en este Reglamento expresadas en función del **módulo de elasticidad longitudinal del acero E**, con su expresión resultante de reemplazar dicho módulo por su valor **E = 200000 MPa**. Se presentan con la misma numeración entre paréntesis pero con un asterisco: (*)

CAPÍTULO 2.

Tabla (2.2.1)* Límites de la relación de esbeltez para elementos comprimidos

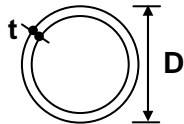
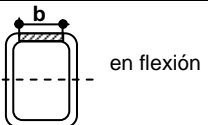
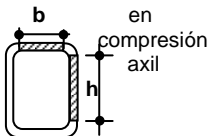
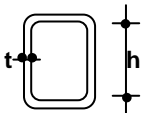
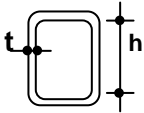
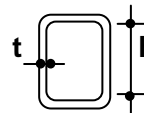
Caso	Descripción del elemento	Elemento	Relación de esbeltez	Límites relación de esbeltez		
				λ_{pp}	λ_p	λ_r
1 a	Tubo circular (CHS) en compresión axil		D/t (a)	No aplicable	No aplicable	22800 / F_y
1 b	Tubo circular (CHS) en flexión		D/t (a)	9000 / F_y	14000 / F_y	62000 / F_y
2 a	Pared de tubo rectangular(RHS) sin costura con compresión uniforme	 en flexión	b/t ó h/t	420 / $\sqrt{F_y}$	500 / $\sqrt{F_y}$	625 / $\sqrt{F_y}$
2 b	Pared de tubo rectangular(RHS) con costura con compresión uniforme	 en compresión axil	b/t ó h/t	390 / $\sqrt{F_y}$	470 / $\sqrt{F_y}$	580 / $\sqrt{F_y}$
3 a	Pared de tubo rectangular(RHS) sin costura como alma en flexión		h/t	900 / $\sqrt{F_y}$	1090 / $\sqrt{F_y}$	2550 / $\sqrt{F_y}$
3 b	Pared de tubo rectangular(RHS) con costura como alma en flexión		h/t	850 / $\sqrt{F_y}$	1010 / $\sqrt{F_y}$	2370 / $\sqrt{F_y}$

Tabla 2.2.1. (continuación)

Caso	Descripción del elemento	Elemento	Relación de esbeltez	Límites relación de esbeltez		
				λ_{pp}	λ_p	λ_r
4 a	Pared de tubo rectangular(RHS) sin costura como alma bajo combinación de flexión y compresión	 Sección total de alas menor o igual al doble de sección total de alas	h/t	Para $(P_u/\phi_b P_y) \leq 0,125$ $\frac{900}{\sqrt{F_y}} \left(1 - \frac{1,65 P_u}{\phi_b P_y} \right)$ Para $0,125 \leq \frac{P_u}{\phi_b P_y} \leq 0,33$ $\frac{410}{\sqrt{F_y}} \left(1,86 - \frac{P_u}{\phi_b P_y} \right)$ Para $(P_u/\phi_b P_y) > 0,33$ $625 / \sqrt{F_y}$	Para $(P_u/\phi_b P_y) \leq 0,125$ $\frac{1090}{\sqrt{F_y}} \left(1 - \frac{2,75 P_u}{\phi_b P_y} \right)$ Para $0,125 \leq \frac{P_u}{\phi_b P_y} \leq 0,33$ $\frac{410}{\sqrt{F_y}} \left(1,86 - \frac{P_u}{\phi_b P_y} \right)$ Para $(P_u/\phi_b P_y) > 0,33$ $625 / \sqrt{F_y}$	$\frac{2550}{\sqrt{F_y}} \left(1 - \frac{0,74 P_u}{\phi_b P_y} \right)$
4 b	Pared de tubo rectangular(RHS) con costura como alma bajo combinación de flexión y compresión	 Sección total de alas menor o igual al doble de sección total de alas	h/t	Para $(P_u/\phi_b P_y) \leq 0,125$ $\frac{850}{\sqrt{F_y}} \left(1 - \frac{1,75 P_u}{\phi_b P_y} \right)$ Para $0,125 \leq \frac{P_u}{\phi_b P_y} \leq 0,33$ $\frac{400}{\sqrt{F_y}} \left(1,79 - \frac{P_u}{\phi_b P_y} \right)$ Para $(P_u/\phi_b P_y) > 0,33$ $580 / \sqrt{F_y}$	Para $(P_u/\phi_b P_y) \leq 0,125$ $\frac{1010}{\sqrt{F_y}} \left(1 - \frac{2,75 P_u}{\phi_b P_y} \right)$ Para $0,125 \leq \frac{P_u}{\phi_b P_y} \leq 0,33$ $\frac{400}{\sqrt{F_y}} \left(1,79 - \frac{P_u}{\phi_b P_y} \right)$ Para $(P_u/\phi_b P_y) > 0,33$ $580 / \sqrt{F_y}$	$\frac{2370}{\sqrt{F_y}} \left(1 - \frac{0,74 P_u}{\phi_b P_y} \right)$

(a) D/t deberá ser menor que 0,45 (E / F_y)

(2.2.1)* $(D/t) \leq 90000 / F_y$

CAPÍTULO 4

(4.2.5)*
$$Q = \frac{7600}{F_y (D/t)} + \frac{2}{3}$$

(4.2.7a)*
$$b_e = \frac{855 t}{\sqrt{f}} \left[1 - \frac{170}{(b/t)\sqrt{f}} \right] \leq b$$

$$(4.2.7b)^* \quad h_e = \frac{855 t}{\sqrt{f}} \left[1 - \frac{170}{(h/t)\sqrt{f}} \right] \leq h$$

$$(4.2.7c)^* \quad b_e = \frac{855 t}{\sqrt{f}} \left[1 - \frac{185}{(b/t)\sqrt{f}} \right] \leq b$$

$$(4.2.7d)^* \quad h_e = \frac{855 t}{\sqrt{f}} \left[1 - \frac{185}{(h/t)\sqrt{f}} \right] \leq h$$

CAPÍTULO 5

$$(5.1.4a)^* \quad L_p = \frac{26 r_y}{M_p} \sqrt{J A_g}$$

$$(5.1.4b)^* \quad L_p = \frac{24 r_y}{M_p} \sqrt{J A_g}$$

$$(5.1.5a)^* \quad L_r = \frac{400 r_y}{M_r} \sqrt{J A_g}$$

$$(5.1.5b)^* \quad L_r = \frac{360 r_y}{M_r} \sqrt{J A_g}$$

$$(5.1.8a)^* \quad M_{cr} = \frac{400 C_b}{L_b/r_y} \sqrt{J A_g}$$

$$(5.1.8b)^* \quad M_{cr} = \frac{360 C_b}{L_b/r_y} \sqrt{J A_g}$$

$$(5.1.10)^* \quad \text{Para } \lambda_p < \lambda \leq \lambda_r \quad M_n = \left(\frac{4200}{D/t} \frac{1}{F_y} + 1 \right) F_y S (10)^{-3}$$

$$(5.1.11)^* \quad \text{Para } \lambda_r < \lambda \leq 90000 / F_y \quad M_n = \frac{66}{D/t} S$$

$$(5.1.16a)^* \quad b_e = \frac{855 t}{\sqrt{F_y}} \left[1 - \frac{170}{(b/t)\sqrt{F_y}} \right] \leq b$$

$$(5.1.16b)^* \quad b_e = \frac{855 t}{\sqrt{F_y}} \left[1 - \frac{185}{(b/t)\sqrt{F_y}} \right] \leq b$$

$$(5.1.17)^* \quad L_{pd} = \left[34000 + 20000 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) \right] \left(\frac{r_y}{F_y} \right) \geq 20000 \left(\frac{r_y}{F_y} \right)$$

$$(5.2.1)^* \quad \frac{L}{D} \leq \frac{1,28 (10)^{11}}{F_y^2 (D/t)^{2,5}} \quad \text{y} \quad \lambda \leq \lambda_r \quad (\text{en flexión; Caso 1 b, Tabla 2.2.1})$$

$$(5.2.1a)^* \quad \frac{L}{D} > \frac{1,28 (10)^{11}}{F_y^2 (D/t)^{2,5}} \quad \text{y} \quad \lambda \leq \lambda_r \quad (\text{en flexión; Caso 1 b, Tabla 2.2.1})$$

$$(5.2.2a)^* \quad V_n = 0,5 F_{vcr} A_g (10)^{-1}$$

$$F_{vcr} \leq 0,6 F_y \text{ y mayor valor de } \frac{2,46 (10)^5}{(L/D)^{0,5} (D/t)^{1,25}} \quad \text{y} \quad \frac{1,2 (10)^5}{(D/t)^{1,5}}$$

$$(5.2.5)^* \quad \text{Para } \frac{h}{t} \leq 1100 / \sqrt{F_y} \quad F_n = 0,6 F_y$$

$$(5.2.6)^* \quad \text{Para } 1100 / \sqrt{F_y} < \frac{h}{t} \leq 1375 / \sqrt{F_y} \quad F_n = \frac{660 \sqrt{F_y}}{(h/t)}$$

$$(5.2.7) \quad \text{Para } 1375 / \sqrt{F_y} < \frac{h}{t} \leq 260 \quad F_n = \frac{9,04 (10)^5}{(h/t)^2}$$

CAPÍTULO 6

$$(6.1.3)^* \quad \text{Para } \frac{h}{t} \leq 1100 / \sqrt{F_y} \quad F_{cr} = 0,6 F_y$$

$$(6.1.4)^* \quad \text{Para } 1100 / \sqrt{F_y} < \frac{h}{t} \leq 1375 / \sqrt{F_y} \quad F_{cr} = \frac{660 \sqrt{F_y}}{(h/t)}$$

$$(6.1.5)^* \quad \text{Para } 1375 / \sqrt{F_y} < \frac{h}{t} \leq 260 \quad F_{cr} = \frac{9,04 (10)^5}{(h/t)^2}$$

CAPÍTULO 8

$$(8.1.4)^* \quad R_n = 71,6 t^2 [1 + 3(N/h)] \sqrt{F_y}$$

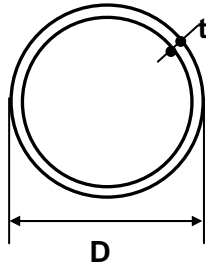
$$(8.1.6)^* \quad R_n = \frac{2148 t^3 \sqrt{F_y}}{h}$$

$$(8.3.2)^* \quad R_n = 35,8 t^2 \left[1 + 3 \left(\frac{N}{B/2} \right) \left(\frac{t}{t_1} \right)^{1,5} \right] \sqrt{F_y (t_1/t)}$$

ANEXO II. PARÁMETROS GEOMÉTRICOS Y MECÁNICOS

En este Anexo se presentan expresiones para obtener los parámetros geométricos y mecánicos de las secciones tubulares utilizadas en este Reglamento. Algunas son exactas ($=$) y otras suficientemente aproximadas (\cong).

SECCION CIRCULAR



$$A_g = \pi (D - t) t$$

$$I = (\pi/64) [D^4 - (D - 2t)^4] = 0,049087 [D^4 - (D - 2t)^4]$$

$$r = (1/4) \sqrt{D^2 + (D - 2t)^2} = 0,25 \sqrt{D^2 + (D - 2t)^2}$$

$$Z = (1/6) [D^3 - (D - 2t)^3] = 0,1667 [D^3 - (D - 2t)^3]$$

$$S = (\pi/32) \frac{[D^4 - (D - 2t)^4]}{D} = 0,098175 \frac{[D^4 - (D - 2t)^4]}{D}$$

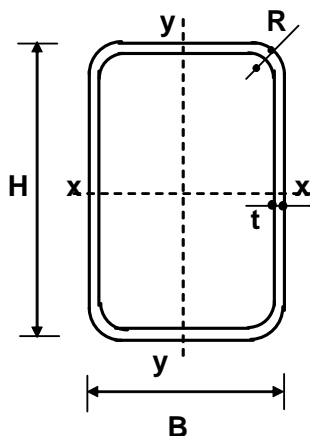
$$J = (\pi/32) [D^4 - (D - 2t)^4] = 0,098175 [D^4 - (D - 2t)^4]$$

$$C = (\pi/16) \frac{[D^4 - (D - 2t)^4]}{D} = 0,19635 \frac{[D^4 - (D - 2t)^4]}{D}$$

Para $(D/t) \geq 20$

$$C \cong (\pi/2) (D - t)^2 t \cong 1,57 (D - t)^2 t$$

SECCIÓN RECTANGULAR



R = radio externo ; *mínimo* = 1,5 t ; *máximo* = 3 t

$$A_g \begin{cases} R = 1,5 t & A_g = 2 t (H + B - 2,8584 t) \\ R = 2,0 t & A_g = 2 t (H + B - 3,2876 t) \\ R = 3,0 t & A_g = 2 t (H + B - 4,1460 t) \end{cases}$$

$$I_x = \begin{cases} R = 1,5 t & I_x \cong \left[\frac{(H-t)^3}{6} + \frac{(B-t)(H-t)^2}{2} - 0,44(H-t)^2 t \right] t \\ R = 2,0 t & I_x \cong \left[\frac{(H-t)^3}{6} + \frac{(B-t)(H-t)^2}{2} - 0,66(H-t)^2 t \right] t \\ R = 3,0 t & I_x \cong \left[\frac{(H-t)^3}{6} + \frac{(B-t)(H-t)^2}{2} - 1,10(H-t)^2 t \right] t \end{cases}$$

I_y = intercambiar B y H en expresiones de I_x

$$r_x = \sqrt{I_x / A_g}$$

$$r_y = \sqrt{I_y / A_g}$$

$$S_x = 2 I_x / H$$

$$S_y = 2 I_y / B$$

$$Z_x = \begin{cases} R = 1,5 t & Z_x \cong t \left[\frac{(H-t)^2}{2} + (B-t)(H-t) - 0,86 (H-t) t \right] \\ R = 2,0 t & Z_x \cong t \left[\frac{(H-t)^2}{2} + (B-t)(H-t) - 1,29 (H-t) t \right] \\ R = 3,0 t & Z_x \cong t \left[\frac{(H-t)^2}{2} + (B-t)(H-t) - 2,15 (H-t) t \right] \end{cases}$$

$Z_y =$ intercambiar B y H en expresiones de Z_x

$$A_o = \begin{cases} R = 1,5 t & A_o = (B-t)(H-t) - 0,8548 t^2 \\ R = 2,0 t & A_o = (B-t)(H-t) - 1,932 t^2 \\ R = 3,0 t & A_o = (B-t)(H-t) - 5,365 t^2 \end{cases}$$

$$J \cong \frac{2 t A_o^2}{(B+H-2 t)}$$

$$C = \begin{cases} R = 1,5 t & C = 2 t (B-t)(H-t) - 1,7096 t^3 \\ R = 2,0 t & C = 2 t (B-t)(H-t) - 3,863 t^3 \\ R = 3,0 t & C = 2 t (B-t)(H-t) - 10,73 t^3 \end{cases}$$

SECCIÓN CUADRADA

Expresiones de sección rectangular con $H = B$

INTI

INSTITUTO NACIONAL DE
TECNOLOGÍA INDUSTRIAL



CIRSOC

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