Anejo 26

Proyecto de estructuras de acero. Uniones

Contenido

1 INTRODUCCIÓN 1383

1.1 ALCANCE 1383
1.2 NORMAS DE REFERENCIA 1383
1.4 TÉRMINOS Y DEFINICIONES 1383
1.4.1 Componente básico (de una unión) 1383
1.4.2 Conexión 1383
1.4.3 Elemento conectado 1383
1.4.4 Unión 1383
1.4.5 Configuración de la unión 1383
1.4.6 Capacidad de giro 1383
1.4.7 Rigidez al giro 1383
1.4.8 Propiedades estructurales (de una unión) 1383
1.4.9 Unión plana 1384
1.5 NOTACIÓN 1384

2. BASES DE CÁLCULO 1390

2.1 SUPUESTOS 1390
2.2 REQUISITOS GENERALES 1391
2.3 CARGAS Y MOMENTOS APLICADOS 1391
2.4 RESISTENCIA DE LAS UNIONES 1391
2.5 HIPÓTESIS DE CÁLCULO 1391
2.6 UNIONES CARGADAS A CORTANTE SOMETIDAS A IMPACTO, VIBRACIÓN Y/O CARGA REVERSIBLE 1392
2.7 EXCENTRICIDAD EN LAS INTERSECCIONES 1392

3 CONEXIONES CON TORNILLOS O BULONES 1393

3.1 TORNILLOS, TUERCAS Y ARANDELAS 1393
3.1.1 Generalidades 1393
3.1.2 Tornillos pretensados 1393
3.2 ROBLONES 1393
3.3 PERNOS DE ANCLAJE 1393
3.4 CATEGORÍAS DE UNIONES CON TORNILLOS 1393
3.4.1 Uniones a cortante 1393
3.4.2 Uniones en tracción 1394
3.5 DISPOSICIÓN DE LOS TALADROS PARA LOS TORNILLOS 1395
3.6 RESISTENCIA DE CÁLCULO DE LOS ELEMENTOS INDIVIDUALES DE UNIÓN 1397
3.6.1 Tornillos 1397
3.6.2 Tornillos inyectados 1400
3.6.2.1 Generalidades 1400
3.6.2.2 Resistencia de cálculo 1400
3.7 GRUPOS DE ELEMENTOS DE UNIÓN 1401
3.8 UNIONES LARGAS 1401
3.9 RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO CON LAS UNIONES 8.8 Ó 10.9 1402
3.9.1 Resistencia de cálculo al deslizamiento 1402
3.9.2 Tracción y cortante combinados 1403
3.9.3 Uniones híbridas 1404
3.10 DEDUCCIONES POR LOS TALADROS DE LOS ELEMENTOS DE UNIÓN 1404

3.10.1 Generalidades 1404
3.10.2 Cálculo de la resistencia a desgarro 1404
3.10.3 Angulares conectados por un ala y otros elementos en tracción unidos de forma asimétrica 1405
3.10.4 Angulares de soporte 1406
3.11 FUERZAS DE PALANCA 1406
3.12 DISTRIBUCIÓN DE ESFUERZOS ENTRE ELEMENTOS DE UNIÓN EN ESTADO LÍMITE ÚLTIMO 1406
3.13 UNIONES CON BULONES 1407
3.13.1 Generalidades 1407
3.13.2 Cálculo de los bulones 1407
4 UNIONES SOLDADAS 1409
4.1 GENERALIDADES 1409
4.2 MATERIALES DE APORTACIÓN 1409
4.3 GEOMETRÍA Y DIMENSIONES 1409
4.3.1 Tipo de soldadura 1409
4.3.2 Soldaduras en ángulo 1409
4.3.3 Soldaduras de ojal (o en ranura) 1411
4.3.4 Soldaduras a tope 1411
4.3.5 Soldaduras de tapón (o botón) 1411
4.3.6 Soldaduras en chaflán 1412
4.4 SOLDADURAS CON RELLENOS 1412
4.5 RESISTENCIA DE CÁLCULO DE UNA SOLDADURA EN ÁNGULO 1412
4.5.1 Longitud de las soldaduras 1412
4.5.2 Espesor eficaz de garganta de la soldadura 1412
4.5.3 Resistencia de cálculo de las soldaduras en ángulo 1413
4.5.3.1 Generalidades 1413
4.5.3.2 Método direccional 1413
4.5.3.3 Método simplificado para la resistencia de cálculo de una soldadura en ángulo 1415
4.6 RESISTENCIA DE CÁLCULO DE SOLDADURAS DE OJAL (O EN RANURA) 1415
4.7 RESISTENCIA DE CÁLCULO DE LAS SOLDADURAS A TOPE 1415
4.7.1 Soldaduras a tope con penetración completa 1415
4.7.2 Soldaduras a tope con penetración parcial 1415
4.7.3 Soldaduras a tope en T 1415
4.8 RESISTENCIA DE CÁLCULO DE LAS SOLDADURAS DE TAPÓN (O BOTÓN) 1416
4.9 DISTRIBUCIÓN DE ESFUERZOS 1416
4.10 UNIONES DE ALAS NO RIGIDIZADAS 1417
4.11 UNIONES LARGAS 1418
4.12 SOLDADURAS A TOPE CON PENETRACIÓN PARCIAL A UN ÚNICO LADO O EN ÁNGULO CARGADAS EXCÉNTRICAMENTE 1419
4.13 ANGULARES CONECTADOS POR UN LADO 1419
4.14 SOLDADURA EN ZONAS CONFORMADAS EN FRÍO 1419
5 ANÁLISIS, CLASIFICACIÓN Y MODELIZACIÓN 1420
5.1 ANÁLISIS GLOBAL 1420
5.1.1 Generalidades 1420
5.1.2 Análisis elástico global 1421
5.1.3 Análisis global rígido-plástico 1422
5.1.4 Análisis global elasto-plástico 1422
5.1.5 Análisis global de las vigas en celosía 1423

5.2 CLASIFICACIÓN DE UNIONES 1424
5.2.1 Generalidades 1424
5.2.2 Clasificación según la rigidez 1425
5.2.2.1 Generalidades 1425
5.2.2.2 Uniones nominalmente articuladas 1425
5.2.2.3 Uniones rígidas 1425
5.2.2.4 Uniones semi-rígidas 1425
5.2.2.5 Límites de clasificación 1425
5.2.3 Clasificación en función de la resistencia 1426
5.2.3.1 Generalidades 1426
5.2.3.2 Uniones nominalmente articuladas 1427
5.2.3.3 Uniones rígidas con capacidad para transmitir la resistencia última de los elementos unidos 1427
5.2.3.4 Uniones de resistencia parcial 1427
5.3 MODELIZACIÓN DE LA UNIÓN ENTRE VIGA-PILAR 1427

6 UNIONES ESTRUCTURALES ENTRE SECCIONES EN H O EN I 1430

6.1 GENERALIDADES 1430
6.1.1 Bases 1430
6.1.2 Propiedades estructurales 1430
6.1.2.1 Curva característica momento de cálculo-giro 1430
6.1.2.2 Momento resistente de cálculo 1431
6.1.2.3 Rigidez al giro 1431
6.1.2.4 Capacidad de giro 1431
6.1.3 Componentes básicos de una unión 1432
6.2 RESISTENCIA DE CÁLCULO 1435
6.2.1 Esfuerzos 1435
6.2.2 Cortantes 1435
6.2.3 Momentos flectores 1436
6.2.4 Sección en T equivalente a tracción 1437
6.2.4.1 Generalidades 1437
6.2.4.2 Filas de tornillos individuales, grupos de tornillos y grupos de filas de tornillos 1439
6.2.4.3 Refuerzos 1439
6.2.5 Sección en T equivalente comprimido 1440
6.2.6 Resistencia de cálculo de los componentes básicos 1441
6.2.6.1 Panel del alma de un pilar a cortante 1441
6.2.6.2 Alma de un pilar en compresión transversal 1443
6.2.6.3 Alma de un pilar a tracción transversal 1446
6.2.6.4 Alas de un pilar sometidas a flexión transversal 1447
6.2.6.4.1 Ala sin rigidizar de un pilar, unión atornillada 1447
6.2.6.4.2 Ala rigidizada de un pilar, unión con chapas frontales atornilladas o con angulares de empalme en las alas 1448
6.2.6.4.3 Ala sin rigidizar de un pilar, unión soldada 1449
6.2.6.5 Chapas frontales sometidas a flexión 1449
6.2.6.6 Angulares de empalme de alas sometida a flexión 1451
6.2.6.7 Ala y alma de una viga comprimidas 1452
6.2.6.8 Alma de una viga traccionada 1453
6.2.6.9 Hormigón sometido a compresión incluyendo el mortero 1453
6.2.6.10 Placa base a flexión sometida a compresión 1453
6.2.6.11 Placa base en flexión sometida a tracción. 1453
6.2.6.12 Perno de anclaje traccionado 1453
6.2.7 Momento resistente de las uniones viga-pilar y empalmes 1454
6.2.7.1 Generalidades 1454

6.2.7.2 Uniones viga-pilar atornilladas con conexiones de chapas frontal atornilladas ... 1457
6.2.8 Resistencia de cálculo de bases de pilares con placas base ... 1459
6.2.8.1 Generalidades ... 1459
6.2.8.2 Bases de pilares sometidas únicamente a axiles ... 1460
6.2.8.3 Bases de pilares sometidas a axiles y a momentos flectores ... 1461
6.3 RIGIDEZ AL GIRO ... 1462
6.3.1 Modelo básico ... 1462
6.3.2 Coeficientes de rigidez para componentes básicos de la unión ... 1465
6.3.3 Conexiones con chapas frontales con dos o más filas de tornillos en tracción ... 1466
6.3.3.1 Método general ... 1466
6.3.3.2 Método simplificado para chapas frontales de mayor tamaño que el perfil y con dos filas de tornillos a tracción ... 1467
6.3.4 Base de pilares ... 1468
6.4 CAPACIDAD DE GIRO ... 1469
6.4.1 Generalidades ... 1469
6.4.2 Uniones atornilladas ... 1469
6.4.3 Uniones soldadas ... 1469

7 UNIONES EN PERFILES TUBULARES ... 1470

7.1 GENERALIDADES ... 1470
7.1.1 Alcance ... 1470
7.1.2 Campo de aplicación ... 1470
7.2 CÁLCULO ... 1472
7.2.1 Generalidades ... 1472
7.2.2 Modos de fallo para uniones de perfiles tubulares ... 1472
7.3 SOLDADURAS ... 1477
7.3.1 Resistencia de cálculo ... 1477
7.4 UNIONES SOLDADAS ENTRE ELEMENTOS DE PTC ... 1477
7.4.1 Generalidades ... 1477
7.4.2 Uniones planas ... 1478
7.4.3 Uniones espaciales ... 1484
7.5 UNIONES SOLDADAS ENTRE ELEMENTOS DE ARRIOSTRAMIENTO DE PTC O PTR Y CORDONES DE PTR ... 1485
7.5.1 Generalidades ... 1485
7.5.2 Uniones planas ... 1486
7.5.2.1 Uniones sin reforzar ... 1486
7.5.2.2 Uniones reforzadas ... 1492
7.5.3 Uniones espaciales ... 1498
7.6 UNIONES SOLDADAS ENTRE ELEMENTOS DE ARRIOSTRAMIENTO CON PTC O PTR Y CORDONES CON PERFILES EN I O H ... 1499
7.7 UNIONES SOLDADAS ENTRE ELEMENTOS DE ARRIOSTRAMIENTO DE PTC O PTR Y CORDONES DE PERFILES DE SECCIÓN EN U ... 1502

1 Introducción

1.1 Alcance

(1) Este Anejo 26 describe los métodos de cálculo de las uniones sometidas a cargas predominantemente estáticas, realizadas con aceros tipo S235, S275, S355 y S460.

NOTA: La numeración de los apartados de este Anejo en ocasiones no es consecutiva, a semejanza de la estructura de la correspondiente norma de Eurocódigo.

1.2 Normas de referencia

Las normas citadas en este anejo deben utilizarse en la versión indicada en el Anejo 1 del Código Estructural.

1.4 Términos y definiciones

(1) Son de aplicación los siguientes términos y definiciones:

1.4.1 Componente básico (de una unión)

Parte de una unión que contribuye a una o más de sus propiedades estructurales.

1.4.2 Conexión

Punto en el que se encuentran dos o más elementos. Para el cálculo, es el conjunto de todos los componentes básicos necesarios para representar el comportamiento durante la transferencia de todos los esfuerzos correspondientes en la conexión.

1.4.3 Elemento conectado

Cualquier elemento que se une a un elemento o un componente de un soporte.

1.4.4 Unión

Zona en la que se conectan dos o más elementos. Para el cálculo, es el conjunto de todos los componentes básicos necesarios para representar el comportamiento durante la transferencia de todos los esfuerzos correspondientes entre los elementos conectados. Una unión viga–pilar está compuesta por un alma y otra conexión (configuración de unión a un único lado) o dos conexiones (configuración de unión a ambos lados), véase la figura A26.1.1.

1.4.5 Configuración de la unión

Tipo o disposición de la unión o uniones en una zona en la que intersectan los ejes de dos o más elementos interconectados, véase la figura A26.1.2.

1.4.6 Capacidad de giro

Ángulo a través del cual la unión puede rotar, para un nivel de resistencia dado, sin que se produzca el fallo.

1.4.7 Rigidez al giro

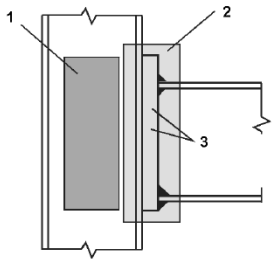
Momento necesario para producir la rotación unitaria en la unión.

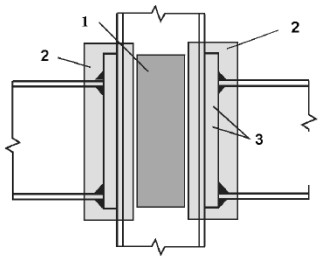
1.4.8 Propiedades estructurales (de una unión)

Resistencia a los esfuerzos en los elementos conectados, rigidez al giro y capacidad de giro.

1.4.9 Unión plana

En una estructura en celosía, una unión plana une elementos que están situados en un mismo plano.





Unión=alma a cortante + conexión

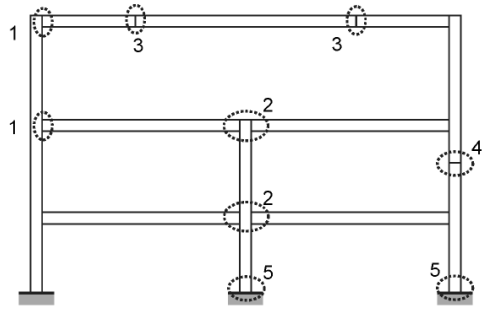
Unión izquierda=alma a cortante + conexión izquierda

Unión derecha=alma a cortante + conexión derecha

a) Configuración de unión a un único lado b) Configuración de unión a ambos lados

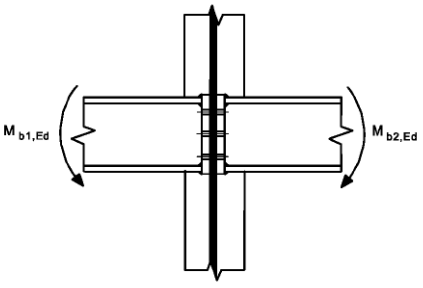
1 Alma a cortante
2 Conexión
3 Componentes (por ejemplo, tornillos, chapa frontal)

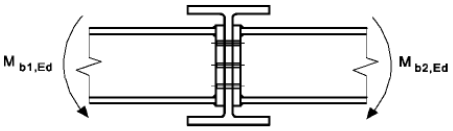
Figura A26.1.1 Elementos de una configuración de unión de viga–pilar



1 Configuración de una unión viga-pilar a un solo lado.
2 Configuración de una unión viga-pilar a ambos lados.
3 Empalme entre vigas.
4 Empalme entre pilares.
5 Apoyo de pilar.

a) Configuraciones de uniones en los ejes principales





Configuración de una unión viga-pilar a ambos lados Configuración de una unión viga-viga a ambos lados

b) Configuraciones de uniones en los ejes secundarios (para utilizar solo con momentos equilibrados $M_{b1,Ed} = M_{b2,Ed}$)

Figura A26.1.2 Configuraciones de uniones

1.5 Notación

(1) En este anejo se emplea la siguiente notación:

d diámetro nominal del tornillo, diámetro de un bulón o diámetro de un pasador o elemento de sujeción

d_0 diámetro del taladro de un tornillo, roblón o bulón

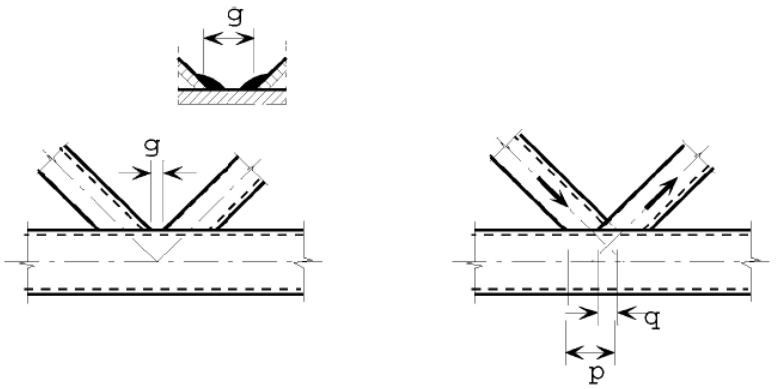
$d_{o,t}$	tamaño del taladro de la cara de tracción, generalmente el diámetro de dicho taladro, pero deberá emplearse la longitud de la ranura para taladros alargados perpendiculares a la cara de tracción
$d_{o,v}$	tamaño del taladro de la cara de cortante, generalmente el diámetro de dicho taladro, pero deberá emplearse la longitud de la ranura para taladros alargados paralelos a la cara de cortante
d_c	canto libre del alma del pilar
d_m	media de las distancias entre los vértices y entre las caras planas de la cabeza del tornillo o de la tuerca, la que sea menor
$f_{H,Rd}$	valor de cálculo de la presión de Herzt
f_{ur}	resistencia a tracción última especifica del roblón
e_1	distancia desde el centro de un taladro del pasador o elemento de sujeción al extremo adyacente de cualquier elemento, medido en la dirección de transmisión de la carga, véase la figura A26.3.1
e_2	distancia desde el centro de un taladro del pasador o elemento de sujeción al borde adyacente de cualquier elemento, medido en ángulo recto respecto a la dirección de la transferencia de la carga, véase la figura A26.3.1
e_3	distancia desde el eje de un taladro alargado al extremo o borde adyacente de cualquier elemento, véase la figura A26.3.1
e_4	distancia desde el centro del radio de un taladro alargado al extremo o al borde adyacente de cualquier elemento, véase la figura A26.3.1
ℓ_{eff}	longitud eficaz de la soldadura en ángulo
n	número de superficies de rozamiento o número de taladros para los pasadores o elementos de fijación en la cara de cortante
p_1	espacio entre centros de pasadores o elementos de fijación en una fila en la dirección de la transferencia de la carga, véase la figura A26.3.1
$p_{1,0}$	espacio entre los centros de los pasadores o elementos de fijación en una fila exterior en la dirección de la transferencia de la carga, véase la figura A26.3.1
$p_{1,i}$	espacio entre los centros de los pasadores o elementos de fijación en una fila interior en la dirección de la transferencia de la carga, véase la figura A26.3.1
p_2	espacio medido perpendicularmente a la dirección de la transferencia de la carga entre las líneas adyacentes de los pasadores o elementos de fijación, véase la figura A26.3.1
r	número de la fila de tornillos.
NOTA:	En una conexión atornillada con más de una fila de tornillos en tracción, las filas de tornillos se numeran a partir de la fila más alejada al centro de compresión.
s_s	longitud del apoyo rígido
t_a	espesor del angular de empalme
t_{fc}	espesor del ala del pilar
t_p	espesor de la chapa bajo el tornillo o la tuerca
t_w	espesor del alma o del cubrejuntas
t_{wc}	espesor del alma del pilar

A	área de la sección bruta del tornillo
A_0	área del taladro para el roblón
A_{vc}	área de cortante del pilar, véase el Anejo 22
A_s	área traccionada del tornillo o del perno de anclaje
$A_{v,eff}$	área eficaz de cortante
$B_{p,Rd}$	valor de cálculo de la resistencia a punzonamiento de la cabeza del tornillo y de la tuerca
E	módulo de elasticidad
$F_{p,Cd}$	valor de cálculo de la fuerza de pretensado
$F_{t,Ed}$	valor de cálculo de la tracción por tornillo en estado límite último
$F_{t,Rd}$	valor de cálculo de la resistencia a tracción por tornillo
$F_{T,Rd}$	resistencia a tracción del ala de una sección en T equivalente
$F_{v,Rd}$	valor de cálculo de la resistencia a cortante por tornillo
$F_{b,Rd}$	valor de cálculo de la capacidad resistente por tornillo
$F_{s,Rd,ser}$	valor de cálculo de la resistencia al deslizamiento por tornillo en estado límite de servicio
$F_{s,Rd}$	valor de cálculo de la resistencia al deslizamiento por tornillo en estado límite último
$F_{v,Ed,ser}$	valor de cálculo del cortante por tornillo en estado límite de servicio
$F_{v,Ed}$	valor de cálculo del cortante de por tornillo en estado límite último
$M_{j,Rd}$	valor de cálculo del momento resistente de una unión
S_j	rigidez al giro de una unión
$S_{j,ini}$	rigidez inicial al giro de una unión
$V_{wp,Rd}$	cortante plástico resistente del alma de un pilar
z	brazo mecánico
μ	coeficiente de rozamiento
ϕ	giro de la unión.

(2) En el apartado 7 se emplean las siguientes abreviaturas estandarizadas para secciones huecas:

PTC	para “perfiles tubulares circulares”
PTR	para “perfiles tubulares rectangulares”, incluidas en este contexto las secciones huecas cuadradas.

espaciamiento g ratio de solape $\lambda_{ov} = (q/p)\ x\ 100\%$



(a) Definición de espaciamiento (b) Definición de solape

Figura A26.1.3 Uniones con espaciamiento y con solape

(3) En el apartado 7 se emplean las siguientes notaciones:

A_i área de la sección transversal de un elemento estructural i $(i = 0, 1, 2 \text{ ó } 3)$

A_v área de cortante del cordón

$A_{v,eff}$ área eficaz a cortante del cordón

L longitud del elemento estructural

$M_{ip,i,Rd}$ valor de cálculo de la resistencia de la unión, expresado en términos del esfuerzo flector en el elemento i $(i = 0, 1, 2 \text{ ó } 3)$ en el plano de la unión

$M_{ip,i,Ed}$ valor de cálculo del esfuerzo flector en el elemento i $(i = 0, 1, 2 \text{ ó } 3)$ en el plano de la unión

$M_{op,i,Rd}$ valor de cálculo de la resistencia de la unión, expresado en términos del esfuerzo en el elemento i $(i = 0, 1, 2 \text{ ó } 3)$ en el plano exterior de la unión

$M_{op,i,Ed}$ valor de cálculo del esfuerzo flector en el elemento i $(i = 0, 1, \ 2 \text{ ó } 3)$ en el plano exterior de la unión

$N_{i,Rd}$ valor de cálculo de la resistencia de la unión, expresada en términos de esfuerzo axil en el elemento estructural i $(i = 0, 1\ , 2 \text{ ó } 3)$

$N_{i,Ed}$ valor de cálculo del esfuerzo axil en el elemento estructural i $(i = 0, 1, \ 2 \text{ ó } 3)$

$W_{e\ell,i}$ módulo resistente elástico de la sección del elemento estructural i $(i = 0, 1, 2 \text{ ó } 3)$

$W_{p\ell,i}$ módulo resistente plástico de la sección del elemento estructural i $(i = 0, 1, 2 \text{ ó } 3)$

b_i ancho global fuera del plano de un elemento con PTR i $(i = 0, 1, 2 \text{ ó } 3)$

b_{eff} ancho eficaz de la conexión entre el elemento de arriostramiento y el cordón

$b_{e,ov}$ ancho eficaz para una conexión entre el elemento de arriostramiento que se superpone y el elemento de arriostramiento superpuesto

$b_{e,p}$ ancho eficaz a punzonamiento

b_p ancho de una chapa

b_w ancho eficaz del alma del cordón

d_i	diámetro global de un elemento con PTC i $(i = 0, 1, 2 \text{ ó } 3)$
d_w	canto del alma de un cordón con sección en I o en H
e	excentricidad de la unión
f_b	resistencia a pandeo de la pared de la cara del cordón
f_{yi}	límite elástico del elemento estructural i $(i = 0, 1, 2 \text{ ó } 3)$
f_{y0}	límite elástico del cordón
g	espaciamiento entre los elementos de arriostramiento en una unión en K o en N (valores negativos de g, representan un solape q); el espaciamiento g se mide a lo largo de la cara conectada del cordón, entre las aristas de los elementos de arriostramiento adyacentes, véase la figura A26.1.3(a)
h_i	canto global dentro del plano de la sección transversal del elemento estructural i $(i = 0, 1, 2 \text{ ó } 3)$
h_z	distancia entre los centros de gravedad de los anchos eficaces de una viga de sección rectangular conectada a un pilar en I o en H
k	coeficiente definido en la tabla correspondiente, con subíndice g, m, n o p
ℓ	longitud de pandeo de un elemento estructural
p	longitud del área de contacto proyectada por el elemento de arriostramiento que solapa, sobre la cara del cordón, en ausencia del elemento de arriostramiento solapado, véase la figura A26.1.3(b)
q	longitud de solape, medida en la cara del cordón, entre los elementos de arriostramiento de una unión en K o en N, véase la figura A26.1.3(b)
r	radio de la arista de una sección en I o en H o el radio de la esquina de una sección hueca rectangular
t_f	espesor del ala de una sección en I o en H
t_i	espesor de la pared del elemento estructural i $(i = 0, 1, 2 \text{ ó } 3)$
t_p	espesor de una chapa
t_w	espesor del alma de una sección en I o en H
α	coeficiente definido en la tabla correspondiente
θ_i	ángulo comprendido entre el elemento de arriostramiento i y el cordón $(i = 0, 1, 2 \text{ ó } 3)$
ƙ	coeficiente definido cuando proceda
μ	coeficiente definido en la tabla correspondiente
φ	ángulo entre los planos de una unión espacial.

(4) Los subíndices empleados en el apartado 7 se definen como sigue:

i	subíndice empleado para designar un elemento de una unión, $i = 0$ se refiere a un cordón e $i = 1, 2 \, o \, 3$ a los elementos de arriostramiento. En uniones con dos elementos de arriostramiento, $i = 1$ normalmente se refiere al elemento comprimido e $i = 2$, al elemento traccionado, véase la figura A26.1.4(b). Para un único elemento de arriostramiento, $i = 1$ si está sometido a compresión o a tracción, véase la figura A26.1.4(a)

$i\ y\ j$ subíndices empleados en uniones solapadas, i se refiere al elemento de arriostramiento que solapa y j, al montante solapado, véase la figura A26.1.4(c).

(5) Las relaciones tensionales empleadas en el apartado 7 se definen como sigue:

n relación $(\sigma_{0,Ed}/f_{y0})/\gamma_{M5}$ (empleado para cordones con PTR)

n_p relación $(\sigma_{p,Ed}/f_{y0})/\gamma_{M5}$ (empleado para cordones con PTC)

$\sigma_{0,Ed}$ máxima tensión de compresión del cordón en una unión

$\sigma_{p,Ed}$ valor de $\sigma_{0,Ed}$, excluyendo la tensión debida a los componentes paralelos al eje del cordón de los axiles en los elementos de arriostramiento de la unión, véase la figura A26.1.4.

(6) Las relaciones geométricas empleadas en el apartado 7 se definen como sigue:

β relación entre el diámetro principal o el ancho de los elementos de arriostramiento, para el cual el cordón:

- En uniones en T, Y y en X:
  $\frac{d_1}{d_0}$; $\frac{d_1}{b_0}$ o $\frac{b_1}{b_0}$
- En uniones en K o en N:
  $\frac{d_1+d_2}{2d_0}$; $\frac{d_1+d_2}{2b_0}$ o $\frac{b_1+b_2+h_1+h_2}{4b_0}$
- En uniones en KT:
  $\frac{d_1+d_2+d_3}{3d_0}$; $\frac{d_1+d_2+d_3}{3b_0}$ ó $\frac{b_1+b_2+b_3+h_1+h_2+h_3}{6b_0}$

β_p relación b_i/b_p

γ relación del ancho del cordón o el diámetro del mismo con el doble del espesor de su pared:

$\frac{d_0}{2t_0}$; $\frac{b_0}{2t_0}$ o $\frac{b_0}{2t_f}$

η relación entre el canto del elemento de arriostramiento con el diámetro o ancho del cordón.

$\frac{h_i}{d_0}$ o $\frac{h_1}{b_0}$

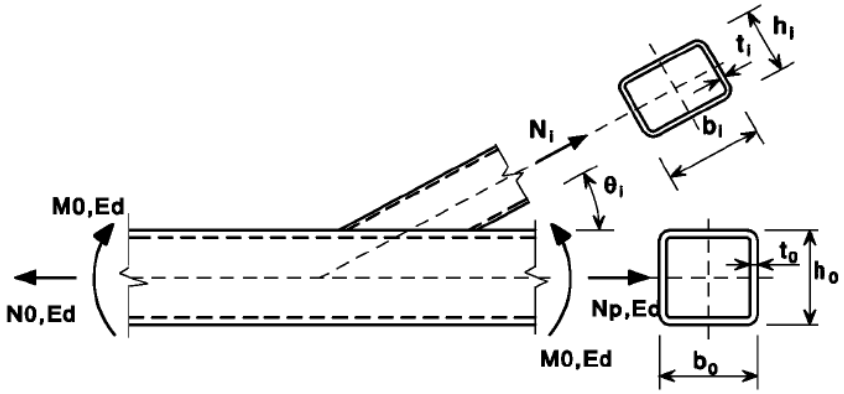
η_p relación h_i/b_p;

λ_{ov} relación de solape, expresada como porcentaje $\lambda_{ov} = (q/p)\ x\ 100\ \%$ como se muestra en la figura A26.1.3(b)

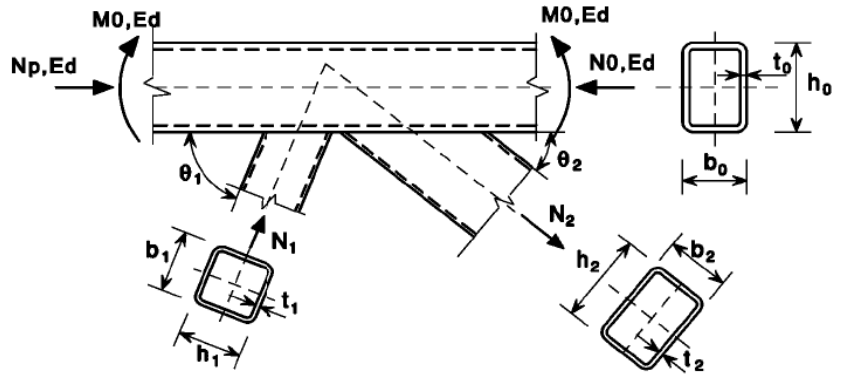
$\lambda_{ov,lim}$ solape o recubrimiento para el que el cortante entre la diagonal y la cara del cordón puede ser crítico.

(7) Cuando se empleen otras notaciones, se especificarán en las cláusulas apropiadas.

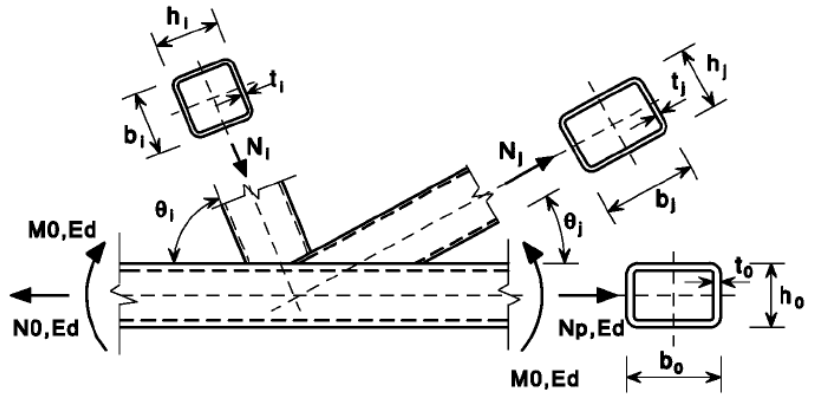
NOTA: Las notaciones para secciones circulares se definen en la tabla A26.7.2.



a) Unión con un único elemento de arriostramiento



b) Unión de dos elementos de arriostramiento con holgura



c) Unión de dos elementos de arriostramiento con solape

Figura A26.1.4 Dimensiones y otros parámetros en una unión de una viga de sección hueca

2. Bases de cálculo

2.1 Supuestos

(1) Los métodos de cálculo recogidos en este anejo suponen que el procedimiento de construcción es como se especifica en el Capítulo 21 del Código Estructural y que los materiales constructivos y productos empleados están de acuerdo con el Capítulo 18.

2.2 Requisitos generales

(1) Todas las uniones deben tener una resistencia de cálculo, tal que la estructura sea capaz de cumplir todos los requisitos básicos de cálculo dados por este anejo y por el Anejo 22.

(2) Los coeficientes parciales de seguridad γ_M para las uniones se dan en la tabla A26. 2.1.

Tabla A26.2.1 Coeficientes parciales de seguridad para las uniones

Resistencia de los elementos y las secciones transversales	γ_{M0} ; γ_{M1} ; γ_{M2} (véase el Anejo 22)
Resistencia de los tornillos	γ_{M2}=1,25
Resistencia de bulones	
Resistencia de soldaduras	
Resistencia de chapas	
Resistencia a deslizamiento - en estado limite ultimo (Categoría C) - en estado límite de servicio (Categoría B)	 γ_{M3}=1,25 $\gamma_{M3,ser}$=1,10
Resistencia de un tornillo de inyección	γ_{M4}=1,00
Resistencia de uniones en vigas en celosía de perfiles tubulares	γ_{M5}=1,00
Resistencia de bulones en estado límite de servicio	$\gamma_{M6,ser}$=1,00
Precarga de tornillos de alta resistencia	γ_{M7}=1,10
Resistencia del hormigón	γ_c (véase el Anejo 19)

(3) Las uniones sometidas a fatiga deberán cumplir también los principios descritos según el Anejo 27.

2.3 Cargas y momentos aplicados

(1) Las cargas y momentos aplicados en uniones en estado límite último deberán determinarse de acuerdo con el Anejo 22.

2.4 Resistencia de las uniones

(1) La resistencia de una unión deberá determinarse en base a las resistencias de sus componentes básicos.

(2) En el cálculo de las uniones podrá emplearse un análisis elástico lineal o elasto–plástico.

(3) Cuando se empleen elementos de fijación con distintas rigideces para soportar los cortantes, los elementos de fijación con las mayores rigideces deberán calcularse para soportar la carga de cálculo. Una excepción a este método de cálculo se da en el apartado 3.9.3.

2.5 Hipótesis de cálculo

(1) Las uniones deberán proyectarse en base a una hipótesis realista de la distribución de los esfuerzos. Deberán emplearse las siguientes hipótesis para determinar la distribución de esfuerzos:

a) los esfuerzos supuestos en el análisis están en equilibrio con las fuerzas y momentos aplicados en las uniones,

b) cada elemento en la unión es capaz de resistir los esfuerzos,

c) las deformaciones que implica esta distribución no superarán la capacidad de deformación de los elementos de fijación o de las soldaduras ni la de las partes conectadas,

d) la distribución de esfuerzos supuesta deberá ser realista con respecto a la rigidez relativa de la unión,

e) las deformaciones supuestas en cualquier modelo de cálculo basado en un análisis elasto-plástico, se basan en rotaciones de sólido rígido y/o deformaciones planas que sean físicamente posibles, y

f) cualquier modelo empleado cumple con la comprobación de los resultados de ensayos (véase el Anejo 18).

(2) Las reglas de aplicación recogidas en este apartado cumplen en el apartado 2.5(1).

2.6 Uniones cargadas a cortante sometidas a impacto, vibración y/o carga reversible

(1) Cuando una unión cargada a cortante está sometida a impacto o a vibraciones significativas, deberá emplearse uno de los siguientes métodos de unión:

- soldadura,
- tornillos con dispositivos de bloqueo,
- tornillos pretensados,
- pernos por inyección,
- otros tipos de tornillos que previenen eficazmente los movimientos de las partes conectadas.

(2) Cuando no sea aceptable que se produzca deslizamiento en una unión (porque esté sometida a la acción de cortantes con cambios de signo o por alguna otra razón), deberán emplearse tornillos pretensados en conexiones de Categoría B o C (véase el apartado 3.4), tornillos calibrados (véase el apartado 3.6.1) o soldaduras.

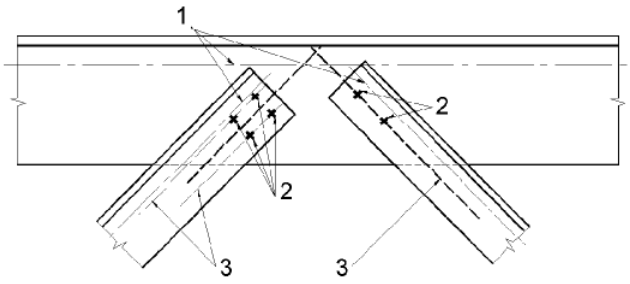
(3) Para acciones de viento y/o los refuerzos empleados para la estabilidad, pueden emplearse los tornillos de las conexiones de Categoría A (véase el apartado 3.4).

2.7 Excentricidad en las intersecciones

(1) Cuando haya una excentricidad en una intersección, las uniones y los elementos estructurales deberán dimensionarse para los momentos y fuerzas resultantes, excepto en los tipos concretos de estructuras para los que se ha demostrado que no es necesario, véase el apartado 5.1.5.

(2) En el caso de uniones con angulares o con secciones en T unidas por una o dos líneas de tornillos, deberá tenerse en cuenta cualquier posible excentricidad de acuerdo con el apartado 2.7(1). Las excentricidades, dentro y fuera del plano, deberán determinarse considerando las posiciones relativas del eje baricéntrico del elemento y de la línea de tornillos en el plano de la conexión (véase la figura A26.2.1). Para un único angular traccionado y conectado por tornillos en uno de sus lados, puede emplearse el método de cálculo simplificado definido en el apartado 3.10.3.

NOTA: El efecto de la excentricidad sobre angulares empleados como elementos del alma en compresión, se definen de acuerdo con el Anejo 22, Apéndice BB 1.2.



1 Ejes baricéntricos.
2 Elementos de fijación.
3 Líneas de tornillos.

Figura A26.2.1 Líneas de tornillos

3 Conexiones con tornillos o bulones

3.1 Tornillos, tuercas y arandelas

3.1.1 Generalidades

(1) Todos los tornillos, tuercas y arandelas deberán cumplir con el Capítulo 18 del Código Estructural.

(2) Las reglas dadas en este anejo son válidas para las clases de tornillos descritos en el Artículo 85 del Código Estructural.

(3) El límite elástico f_{yb} y la resistencia última a tracción f_{ub} para los tornillos se dan en la tabla 85.2.a del Código Estructural. Estos valores deberán adoptarse como valores característicos en los cálculos de proyecto.

3.1.2 Tornillos pretensados

(1) Únicamente pueden emplearse como tornillos pretensados los tornillos de clases 8.8 y 10.9 conformes con los requisitos recogidos en el Capítulo 18 del Código Estructural para tornillos estructurales de alta resistencia para pretensado con apriete controlado de acuerdo con los requisitos definidos en el Capítulo 21 del Código Estructural.

3.2 Roblones

(1) El Código Estructural no contempla los roblones por desuso.

3.3 Pernos de anclaje

(1) Los siguientes materiales pueden emplearse como pernos de anclaje:

- Calidades de aceros conforme al Capítulo 18 del Código Estructural;
- Calidades de aceros empleados en barras reforzadas conforme al Capítulo 8 del Código Estructural;

Siempre que el límite elástico no supere 640 N/mm^2 cuando se necesite que los pernos de anclaje trabajen a cortante, ni 900 N/mm^2 en el resto de casos.

3.4 Categorías de uniones con tornillos

3.4.1 Uniones a cortante

(1) Las uniones con tornillos sometidas a cortante deberán calcularse como una de las categorías siguientes:

a) Categoría A: Resistente al cortante y aplastamiento.

En esta categoría, deberán emplearse tornillos desde la clase 4.6 hasta la 10.9, inclusive. No se necesita pretensado ni disposiciones especiales para las superficies de contacto. El cortante último de cálculo no deberá superar el valor de la resistencia a cortante de cálculo, obtenido del apartado 3.6, ni la capacidad resistente obtenida de los apartados 3.6 y 3.7.

b) Categoría B: Resistentes al deslizamiento en estado límite de servicio.

En esta categoría se deben emplear tornillos pretensados de acuerdo con el apartado 3.1.2(1). No debe producirse deslizamiento en estado límite de servicio. El cortante de servicio de cálculo no deberá ser mayor que la resistencia al deslizamiento, obtenida del apartado 3.9. El cortante último de cálculo no deberá ser mayor que la resistencia a cortante de cálculo, obtenida de 3.6, ni la capacidad resistente de cálculo, obtenida de los apartados 3.6 y 3.7.

c) Categoría C: Resistentes al deslizamiento en estado límite último.

En esta categoría deben emplearse tornillos pretensados de acuerdo con el apartado 3.1.2(1). No debe producirse deslizamiento en estado límite último. La carga última a cortante no deberá superar la resistencia de cálculo al deslizamiento, obtenida del apartado 3.9, ni la capacidad resistente, obtenida de los apartados 3.6 y 3.7. Adicionalmente para conexiones en tracción, la resistencia de cálculo plástico de la sección neta en el orificio del tornillo $N_{net,Rd}$, (véase el apartado 6.2 del Anejo 22 del Código Estructural), deberá comprobarse en su estado límite último.

3.4.2 Uniones en tracción

(1) Las uniones atornilladas sometidas a tracción se clasifican en las siguientes categorías:

a) Categoría D: sin pretensar.

Se utilizarán tornillos comprendidos entre las clases 4.6 y 10.9, ambas incluidas, sin que sea necesario pretensar. Esta categoría no deberá emplearse cuando las conexiones estén sometidas frecuentemente a variaciones del esfuerzo de tracción, aunque se admite su uso si dichos esfuerzos de tracción son debidos únicamente a cargas de viento.

b) Categoría E: pretensada.

Se utilizarán tornillos pretensados de las clases 8.8 y 10.9 con apriete controlado conforme al Capítulo 21 del Código Estructural.

Las comprobaciones de cálculo para estas uniones se resumen en la tabla A26.3.1

Tabla A26.3.1 Categorías de uniones atornilladas

Categoría	Criterio	Comentarios
Uniones a cortante		
A Resistentes al cortante y aplastamiento	$F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$ $F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$	No se requiere pretensado Pueden emplearse tornillos de las clases 4.6 a 10.9
B Resistentes al deslizamiento en ELS	$F_{v,Ed,ser} \leq F_{s,Rd,ser}$ $F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$ $F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$	Se emplearán tornillos de las clases 8.8 ó 10.9. Para la resistencia al deslizamiento en servicio, véase el apartado 3.9.
C Resistentes al deslizamiento en ELU	$F_{v,Ed} \leq F_{s,Rd}$ $F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$ $\Sigma F_{v,Ed} \leq N_{net,Rd}$	Se emplearán tornillos de las clases 8.8 ó 10.9. Para la resistencia al deslizamiento en estado límite último, véase el

		apartado 3.9. $N_{net,Rd}$, véase el apartado 3.4.1(1)c).
Uniones a tracción		
D Sin pretensar	$F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd}$ $F_{t,Ed} \leq B_{p,Rd}$	No se requiere pretensado Se emplearán tornillos de las clases 4.6 a 10.9. $B_{p,Rd}$, véase la tabla A26.3.3
E pretensadas	$F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd}$ $F_{t,Ed} \leq B_{p,Rd}$	Se emplearán tornillos de las clases 8.8 ó 10.9. $B_{p,Rd}$, véase la tabla A26.3.3
La fuerza de cálculo a tracción $F_{t,Ed}$ deberá incluir cualquier fuerza debida al efecto palanca, véase el apartado 3.11. Los tornillos sometidos a la combinación de esfuerzos cortantes y tracción, deberán cumplir los criterios definidos en la tabla A26.3.3.		

No se especifica un nivel de precarga mínimo para los tornillos cuando éste no sea necesario por razones de servicio. En caso de en que éste sea necesario por razones de durabilidad o control de calidad, el mismo se especificará en cada proyecto particular.

3.5 Disposición de los taladros para los tornillos

(1) En la tabla A26.3.2 se dan las separaciones mínimas y máximas al borde frontal y lateral de los tornillos.

(2) Para las separaciones mínimas y máximas, así como las distancias a los bordes frontal y lateral en estructuras sometidas a fatiga, véase el Anejo 27 del Código Estructural.

Tabla A26.3.2 Separaciones mínimas y máximas, distancias al borde frontal y al lateral

Distancias y separaciones, véase la figura A26.3.1	Mínimo	Máximo[1) 2) 3)]		
		Estructuras de aceros conforme a la norma UNE-EN 10025, excepto los conformes a la UNE-EN 10025-5		Estructuras de aceros conforme a la norma UNE-EN 10025-5
		Aceros expuestos al ambiente exterior u otros agentes corrosivos	Aceros no expuestos al ambiente exterior u otros agentes corrosivos	Acero sin proteger
Distancia al borde e_1	$1{,}2d_0$	$4t + 40\ mm$	-	El mayor de $8t$ o 125 mm
Distancia al borde e_2	$1{,}2d_0$	$4t + 40\ mm$	-	El mayor de $8t$ o 125 mm
Distancia e_3 en taladros rasgados	$1{,}5d_0$ [4)]	-	-	-
Distancia e_4 en taladros rasgados	$1{,}5d_0$ [4)]	-	-	-
Separación p_1	$2{,}2d_0$	El menor de $14t$ ó 200 mm	El menor de $14t$ ó 200 mm	El menor de $14t_{min}$ ó 175 mm
Separación $p_{1,0}$	-	El menor de $14t$ ó 200 mm	-	-

Separación $p_{1,i}$	-	El menor de $28t$ ó 200 mm	-	-
Separación p_2 [5)]	$2{,}4d_0$	El menor de $14t$ ó 200 mm	El menor de $14t$ ó 200 mm	El menor de $14t_{min}$ ó 175 mm

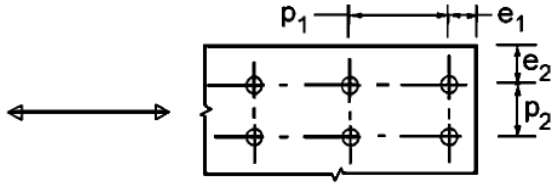
1) Los valores máximos de separaciones y distancias a los bordes frontal y lateral no están limitados, excepto en los siguientes casos:
   - para elementos en compresión, con el fin de evitar la abolladura y prevenir la corrosión en elementos expuestos y;
   - para elementos traccionados expuestos para prevenir la corrosión.

2) La resistencia a la abolladura de la chapa comprimida entre los elementos de unión deberá calcularse de acuerdo con el Anejo 22, empleando $0{,}6\ p_1$ como la longitud de pandeo. No será necesario comprobar la abolladura entre los rigidizadores, si p_1/t es menor que 9ε. La distancia al borde no deberá superar los requisitos a abolladura de un elemento exterior en las piezas comprimidas, véase el Anejo 22 del Código Estructural. La distancia al borde no se ve afectada por este requisito.

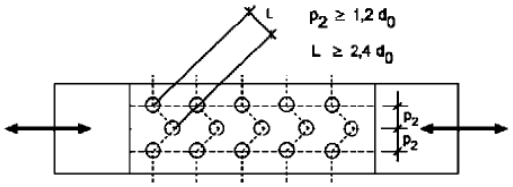
3) t es el espesor de la parte conectada exterior más delgada.

4) Los límites dimensionales para los taladros rasgados se dan en el Capítulo 21 del Código Estructural.

5) Para las filas de elementos de unión al tresbolillo, puede emplearse una separación mínima entre líneas de $p_2 = 1{,}2d_0$, siempre que la mínima distancia, L, entre dos rigidizadores cualesquiera sea mayor o igual que $2{,}4\ d_0$, véase la figura A26.3.1 b).

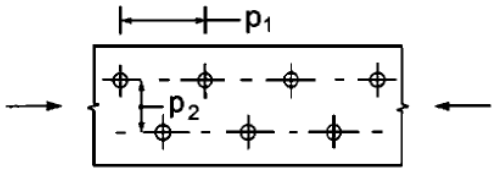


a) Notación de separación entre elementos de unión



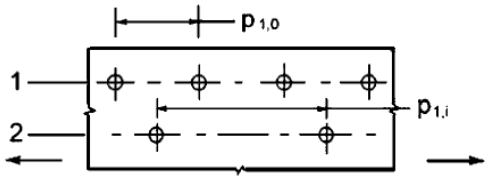
Filas de elementos de unión al tresbolillo

b) Notación para disposición al tresbolillo



$p_1 \leq 14t$ y $\leq 200\ mm$
$p_2 \leq 14t$ y $\leq 200\ mm$

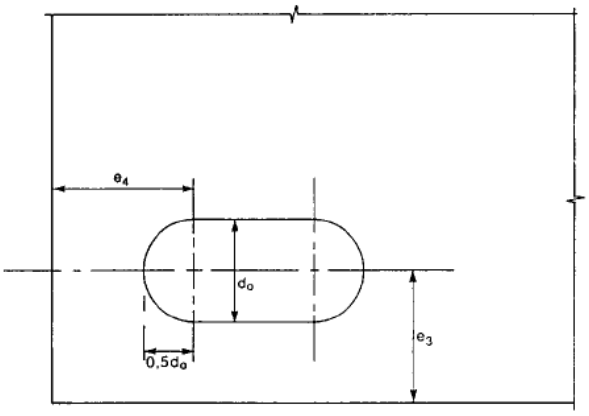
c) Separación al tresbolillo para elementos sometidos a compresión



$p_{1,0} \leq 14t$ y $\leq 200\ mm$
$p_{1,i} \leq 28t$ y $\leq 400\ mm$

1 Fila exterior *2 Fila interior*

d) Separación al tresbolillo en elementos sometidos a tracción



e) Distancia al extremo y al borde de taladros rasgados

Figura A26.3.1 Notación para las distancias a los bordes frontales y laterales y separaciones de unión

3.6 Resistencia de cálculo de los elementos individuales de unión

3.6.1 Tornillos

(1) La resistencia de cálculo para un elemento de fijación sometido a cortante y/o tracción se da en la tabla A26.3.3.

(2) Para tornillos pretensados de acuerdo con el apartado 3.1.2(1), se empleará en los cálculos la fuerza de pretensado $F_{p,Cd}$ y que se tomará como:

$$F_{p,Cd} = 0{,}7 f_{ub} A_s / \gamma_{M7} \qquad (3.1)$$

NOTA: Cuando el pretensado no se emplee en los cálculos véase la nota de la tabla A26.3.1.

(3) Las resistencias de cálculo a tracción y a cortante de la parte roscada de un tornillo que se define en la tabla A26.3.3, solo se usarán para tornillos fabricados de acuerdo con el Capítulo 18 del Código Estructural.

Para tornillos con roscas mecanizadas, como pernos de anclaje o tirantes fabricados a partir de barras lisas de acero, cuyas roscas cumplen con la norma UNE-EN 1090, deberá emplearse el valor correspondiente de la tabla A26.3.3. Para tornillos con roscas mecanizadas que no cumplan con el Capítulo 21, deberán emplearse los valores correspondientes de la tabla A26.3.3 multiplicados por un coeficiente de 0,85.

(4) La resistencia de cálculo a cortante $F_{v,Rd}$ dada en la tabla A26.3.3, deberá emplearse únicamente cuando los tornillos se utilicen en taladros con un orificio nominal no mayor que el de un taladro normal, según se especifica en el Capítulo 21 del Código Estructural.

(5) Los tornillos M12 y M14 pueden emplearse también en taladros con holguras de 2 mm siempre que la resistencia de cálculo del grupo de tornillos, funcionado como pasadores, sea menor o igual que la resistencia de cálculo del grupo de tornillos trabajando a corte. Además, para las clases de tornillos 4.8, 5.8, 6.8, 8.8 y 10.9 la resistencia de cálculo al cortante $F_{v,Rd}$ deberá tomarse como 0,85 veces el valor dado en la tabla A26.3.3.

(6) Los tornillos calibrados deberán calcularse empleando el método para tornillos en taladros normalizados.

(7) La rosca de un tornillo calibrado no deberá incluirse en el plano de cortante.

(8) La longitud de la parte roscada de un tornillo calibrado incluida en la longitud de deslizamiento no deberá superar 1/3 del espesor de la chapa, véase la figura A26.3.2.

(9) La tolerancia del taladro empleado para tornillos calibrados deberá estar de acuerdo con el Capítulo 21 del Código Estructural.

(10) En las uniones solapadas con una única fila de tornillos, véase la figura A26.3.3, los tornillos deberán tener arandelas bajo la cabeza y la tuerca. La capacidad resistente de cálculo $F_{b,Rd}$ para cada tornillo deberá limitarse a:

$$F_{b,Rd} \leq 1{,}5 f_u d\, t/\gamma_{M2} \qquad (3.2)$$

(11) En el caso de tornillos de clases 8.8 ó 10.9, deberán emplearse arandelas templadas en las uniones solapadas con un único tornillo o una única fila de tornillos.

(12) Cuando los tornillos que transmiten cortantes atraviesan un espesor total t_p de más de 1/3 del diámetro nominal d, véase la figura A26.3.4, la resistencia de cálculo a cortante $F_{v,Rd}$, calculada como se especifica en la tabla A26.3.3, deberá multiplicarse por un coeficiente reductor β_p dado por:

$$\beta_p = \frac{9d}{8d+3t_p} \qquad \text{pero con} \qquad \beta_p \leq 1 \qquad (3.3)$$

(13) Para uniones dobles a corte con relleno en ambos lados del empalme, t_p deberá tomarse como el espesor del paquete más grueso.

(14) Para aceros S 235, el valor de f_{ur} puede tomarse como 400 N/mm^2.

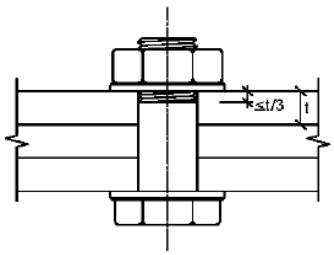


Figura A26.3.2 Parte roscada del vástago en la unión de piezas con tornillos calibrados

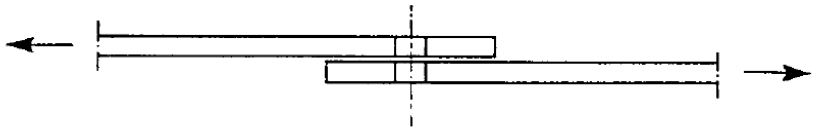


Figura A26.3.3 Unión solapada con una fila de tornillos

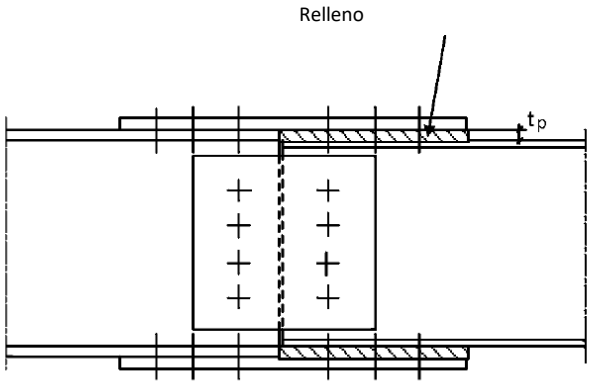


Figura A26.3.4 Elementos de unión con relleno

Tabla A26.3.3 Resistencia de cálculo para elementos de unión sujetos a cortante y/o tracción

Modo de fallo	Tornillos	
Resistencia a cortante	$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v f_{ub} A}{\gamma_{M2}}$ - cuando el plano de cortante atraviesa la parte roscada del tornillo (A es el área a tracción del tornillo A_s): - para las clases 4.6, 5.6 y 8.8: $\alpha_v = 0{,}6$ - para las clases 4.8, 5.8 y 10.9: $\alpha_v = 0{,}5$ - cuando el plano de cortante atraviesa la parte no roscada del tornillo (A es la sección bruta del tornillo): $\alpha_v = 0{,}6$	
Capacidad resistente[1), 2), 3)]	$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \alpha_b f_u d\ t}{\gamma_{M2}}$ donde α_b es el menor de α_d; $\frac{f_{ub}}{f_u}$ ó 1,0; En la dirección de la transmisión de cargas: - para tornillos extremos: $\alpha_d = \frac{e_1}{3d_0}$; para tornillos interiores: $\alpha_d = \frac{e_1}{3d_0} - \frac{1}{4}$ Perpendiculares a la dirección de la transmisión de cargas: - para tornillos en el eje: k_1 es el menor de $2{,}8\frac{e_2}{d_0} - 1{,}7$, $1{,}4\frac{p2}{d_0} - 1{,}7$ ó 2,5 - para los tornillos interiores: k_1 es el menor de $1{,}4\frac{p_2}{d_0} - 1{,}7$ ó 2,5	
Resistencia a tracción [2)]	$F_{t,Rd} = \frac{k_2 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}}$ Donde $k_2 = 0{,}63$ para tornillos con cabeza avellanada, en otro caso $k_2 = 0{,}9$.	
Resistencia a punzonamiento	$B_{p,Rd} = 0{,}6\pi d_m t_p f_u / \gamma_{M2}$	
Combinación de cortante y tracción	$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1{,}4\ F_{t,Rd}} \leq 1{,}0$	

1) La capacidad resistente $F_{b,Rd}$ para los tornillos:
   - en taladros con holgura es de 0,8 veces la capacidad resistente para tornillos en taladros normales,
   - en taladros rasgados, cuando el eje longitudinal del taladro es perpendicular a la dirección de la fuerza transmitida, es 0,6 veces la capacidad resistente para tornillos en taladros redondos normales.

2) Para tornillos de cabeza avellanada:
   - la capacidad resistente $F_{b,Rd}$ deberá basarse en el espesor t de una chapa igual al espesor de la chapa conectada menos la mitad de la profundidad de la cabeza avellanada,
   - para la determinación de la resistencia a tracción $F_{t,Rd}$, el ángulo y la profundidad del avellanado de la cabeza deberá estar de acuerdo con el Capítulo 18 del Código Estructural, si no, la resistencia a tracción $F_{t,Rd}$ deberá ajustarse en consonancia.

3) Cuando la carga sobre el tornillo no sea paralela al borde, la capacidad resistente puede comprobarse por separado para los componentes cargados del tornillo, paralelos o normales al extremo.

3.6.2 Tornillos inyectados

3.6.2.1 Generalidades

(1) Los pernos por inyección pueden emplearse como alternativa a los tornillos ordinarios para las uniones de las categorías A, B y C especificadas en 3.4.

(2) Las pautas de fabricación y ejecución de los detalles de pernos por inyección se dan en el Capítulo 21 del Código Estructural.

3.6.2.2 Resistencia de cálculo

(1) Los métodos de cálculo descritos en el apartado 3.6.2.2(2) a 3.6.2.2(6), deberán emplearse para uniones con pernos por inyección de clases 8.8 ó 10.9. El montaje de los tornillos deberá estar de acuerdo con los requisitos dados en el Capítulo 18 del Código Estructural, pero cuando se empleen tornillos pretensados véase el apartado 3.6.2.2(3).

(2) El cortante último de cálculo de cualquier tornillo de una unión de Categoría A, no deberá ser mayor que el menor de entre: la resistencia de cálculo a cortante del tornillo o grupo de tornillos, obtenida a partir de los apartados 3.6 y 3.7; la capacidad resistente de la resina inyectada, que se obtiene de acuerdo con el apartado 3.6.2.2(5).

(3) Los pernos pretensados inyectados deberán emplearse para las uniones de categorías B y C, para las que deberán emplearse tornillos pretensados según el apartado 3.1.2(1).

(4) El cortante de cálculo en servicio de cualquiera de los tornillos en uniones de categoría B, y el cortante último de cálculo de cualquiera de los tornillos con uniones de la categoría C no deberán superarla resistencia al deslizamiento de cálculo del tornillo, calculada a partir del apartado 3.9 en el estado límite correspondiente, más la capacidad resistente de la resina, obtenida en el apartado 3.6.2.2(5) en su estado límite correspondiente. Además, el cortante último de cálculo de un tornillo en una unión de categoría B ó C no deberá superar ni la resistencia de cálculo a cortante de los tornillos según el apartado 3.6, ni la capacidad resistente de los tornillos obtenida a partir de los apartados 3.6 y 3.7.

(5) La capacidad resistente de la resina $F_{b,Rd,resin}$, puede determinarse de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$F_{b,Rd,resin} = \frac{k_t k_s \, d \, t_{b,resin} \, \beta \, f_{b,resin}}{\gamma_{M4}} \qquad (3.4)$$

donde:

$F_{b,Rd,resin}$ es la resistencia al deslizamiento de un perno inyectado

β es un coeficiente que depende de la relación de espesores de las chapas unidas como se da en la tabla A26.3.4 y la figura A26.3.5

$f_{b,resin}$ es la resistencia al deslizamiento de la resina determinada de acuerdo con el Capítulo 21 del Código Estructural

$t_{b,resin}$ es el espesor eficaz de apoyo de la resina, dada en la tabla A26.3.4

k_t es 1,0 para el estado límite de servicio (larga duración)

es 1,2 para el estado límite último

k_s se toma como 1,0 para taladros con tolerancias normales o (1,0 – 0,1 m), para taladros de gran tamaño

m es la diferencia (en mm) entre las dimensiones de un taladro normalizado y el más grande. En el caso de taladros rasgados y pequeños, como se definen en el

Capítulo 21 del Código Estructural, $m = 0{,}5$ (la diferencia en mm) entre la longitud y el ancho del taladro.

(6) Cuando se calcule la capacidad resistente de un tornillo con una longitud de sujeción que supera el valor de $3d$, debe tomarse un valor no mayor de $3d$ para determinar el espesor eficaz del soporte $t_{b,resin}$ (véase la figura A26.3.6).

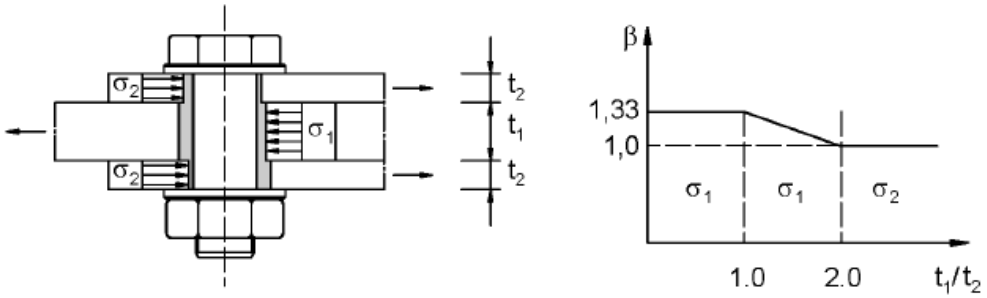


Figura A26.3.5 Coeficiente β como función de la relación del espesor de las chapas empalmadas

Tabla A26.3.4 Valores de β y $t_{b,resin}$

t_1/t_2	β	$t_{b,resin}$
$\geq 2{,}0$	1,0	$2t_2 \leq 1{,}5\ d$
$1{,}0 < t_1/t_2 < 2{,}0$	$1{,}66 - 0{,}33(t_1/t_2)$	$t_1 \leq 1{,}5\ d$
$\leq 1{,}0$	1,33	$t_1 \leq 1{,}5\ d$

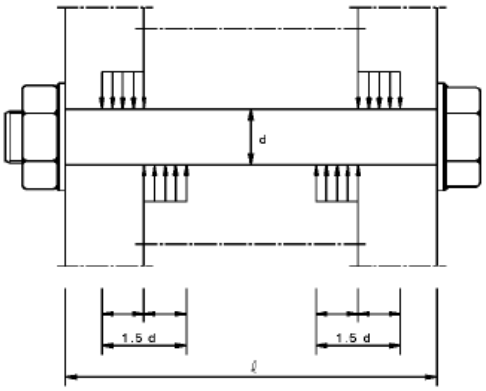


Figura A26.3.6 Longitud eficaz limitada para pernos por inyección

3.7 Grupos de elementos de unión

(1) La resistencia de cálculo de un grupo de elementos de fijación puede tomarse como la suma de las capacidades resistentes $F_{b,Rd}$ de cada elemento, siempre que la resistencia a cortante de cálculo $F_{v,Rd}$ de cada elemento sea mayor o igual que la capacidad resistente $F_{b,Rd}$. Si no, la capacidad resistente de un grupo de elementos de fijación, deberá tomarse como el número de elementos multiplicado por la menor resistencia de cálculo de cualquiera de los elementos por separado.

3.8 Uniones largas

(1) Cuando la distancia L_j entre los centros de los extremos de los elementos de unión en un empalme, medida en la dirección de la transmisión de la carga (véase la figura A26.3.7), sea mayor que 15 d, la

resistencia de cálculo a cortante $F_{v,Rd}$ de todos los elementos de unión calculada según la tabla A26.3.3 deberá afectarse con un coeficiente reductor β_{Lf}, dado por:

$$\beta_{Lf} = 1 - \frac{L_f - 15\,d}{200\,d} \qquad (3.5)$$

si $\beta_{Lf} \leq 1{,}0$ y $\beta_{Lf} \geq 0{,}75$

(2) El apartado 3.8(1) no es aplicable cuando hay una distribución uniforme de la carga transferida sobre la longitud del empalme como, por ejemplo, la transferencia del cortante entre el alma y el ala de la sección.

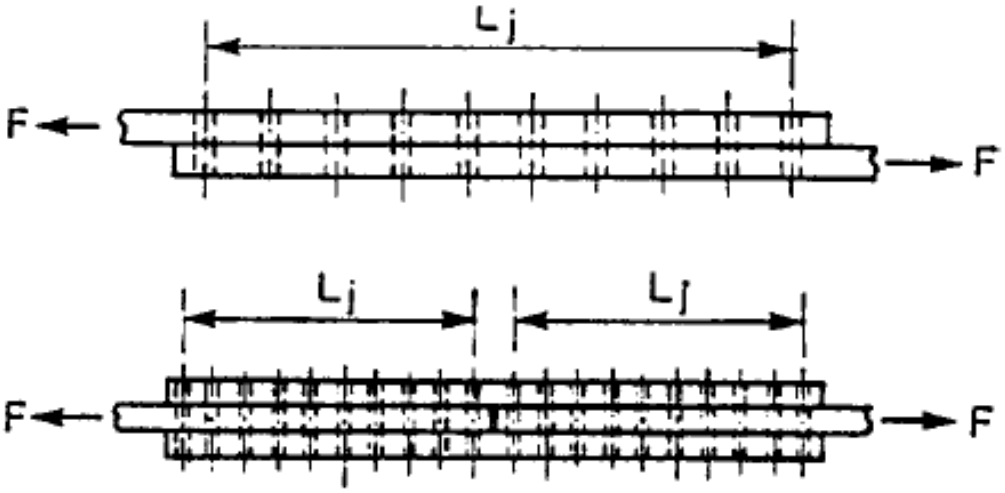


Figura A26.3.7 Empalmes largos

3.9 Resistencia al deslizamiento con las uniones 8.8 ó 10.9

3.9.1 Resistencia de cálculo al deslizamiento

(1) La resistencia de cálculo al deslizamiento de un tornillo pretensado de clase 8.8 ó 10.9 se tomará como:

$$F_{s,Rd} = \frac{k_s\, n\, \mu}{\gamma_{M3}} F_{p,C} \qquad (3.6a)$$

$$F_{s,Rd,ser} = \frac{k_s\, n\, \mu}{\gamma_{M3,ser}} F_{p,C} \qquad (3.6b)$$

donde:

k_s se da en la tabla A26.3.5

n es el número de superficies de rozamiento

μ es el coeficiente de deslizamiento obtenido a partir de ensayos específicos de rozamiento de la superficie de acuerdo con el Capítulo 21 del Código Estructural o cuando su valor correspondiente se da en la tabla A26.3.6.

(2) Para los tornillos de las clases 8.8 y 10.9 de acuerdo con el Capítulo 18 del Código Estructural, con apriete controlado y de acuerdo con el Capítulo 21 del Código Estructural, la fuerza de pretensado $F_{p,C}$ empleada en la ecuación (3.6) deberá tomarse como:

$$F_{p,C} = 0{,}7 f_{ub} A_s \qquad (3.7)$$

Tabla A26.3.5 Valores de k_s

Descripción	k_s
Tornillos en taladros normalizados	1,0
Tornillos en taladros con holgura o rasgados cortos, con su eje perpendicular a la dirección de la carga transferida	0,85
Tornillos en taladros rasgados largos, con su eje perpendicular a la dirección de la carga transferida	0,7
Tornillos en taladros rasgados cortos, con su eje paralelo a la dirección de la carga transferida	0,76
Tornillos en taladros rasgados largos, con su eje paralelo a la dirección de la carga transferida	0,63

Tabla A26.3.6 Coeficiente de deslizamiento μ para tornillos pretensados

Clases de superficies de rozamiento (véase el Capítulo 21 del Código Estructural)	Coeficiente de deslizamiento μ
A	0,5
B	0,4
C	0,3
D	0,2
NOTA 1: Los requisitos para los ensayos y las inspecciones se dan en el Capítulo 21 del Código Estructural.	
NOTA 2: La clasificación de algún otro tratamiento superficial deberá basarse en ensayos de probetas representativas de la superficie empleada en la estructura, empleando el procedimiento desarrollado en el Capítulo 21 del Código Estructural.	
NOTA 3: La definición de las clases de superficies de rozamiento se dan en el Capítulo 21 del Código Estructural.	
NOTA 4: Con tratamientos de pintura superficial puede producirse una pérdida del pretensado a lo largo del tiempo.	

3.9.2 Tracción y cortante combinados

(1) Si la resistencia al deslizamiento de la unión está sometida a cargas de tracción $F_{t,Ed}$ o $F_{t,Ed,ser}$ en combinación con cortantes $F_{v,Ed}$ o $F_{v,Ed,ser}$ que tienden a producir deslizamiento, la resistencia de cálculo al deslizamiento por tornillo deberá tomarse como sigue:

para las uniones de categoría B:

$$F_{s,Rd,ser} = \frac{k_s\, n\, \mu\, (F_{p,C} - 0{,}8F_{t,Ed,ser})}{\gamma_{M3,ser}} \qquad (3.8a)$$

para las uniones de categoría C:

$$F_{s,Rd} = \frac{k_s\, n\, \mu\, (F_{p,C} - 0{,}8F_{t,Ed})}{\gamma_{M3}} \qquad (3.8b)$$

(2) Si, en una unión a momento, una fuerza de contacto en el lado comprimido compensa la fuerza de tracción aplicada, no se necesita ninguna reducción de la resistencia al deslizamiento.

3.9.3 Uniones híbridas

(1) A excepción del apartado 2.4(3), puede suponerse que los tornillos pretensados de las clases 8.8 y 10.9 en uniones calculadas como resistentes al deslizamiento en estado límite último (categoría C en 3.4) resisten las cargas con ayuda de las soldaduras, siempre que el apriete final de los tornillos se efectúe cuando la soldadura se ha completado.

3.10 Deducciones por los taladros de los elementos de unión

3.10.1 Generalidades

(1) La deducción por taladros en los elementos calculados deberán realizarse de acuerdo con el Anejo 22.

3.10.2 Cálculo de la resistencia a desgarro

(1) El desgarro de chapas consiste en el fallo a cortante de una fila de tornillos a lo largo de la superficie de contacto del grupo de taladros, acompañado de la rotura por tracción que se produce también a lo largo de la línea de los taladros de la cara en tracción de todo el grupo de tornillos. La rotura en las chapas se muestra en la figura A26.3.8.

(2) Para un grupo simétrico de tornillos sometido a cargas concentradas, el cálculo de la resistencia a desgarro de chapas $V_{eff,1,Rd}$ viene dado por:

$$V_{eff,1,Rd} = f_u A_{nt}/\gamma_{M2} + \left(1/\sqrt{3}\right) f_y A_{nv}/\gamma_{M0} \qquad (3.9)$$

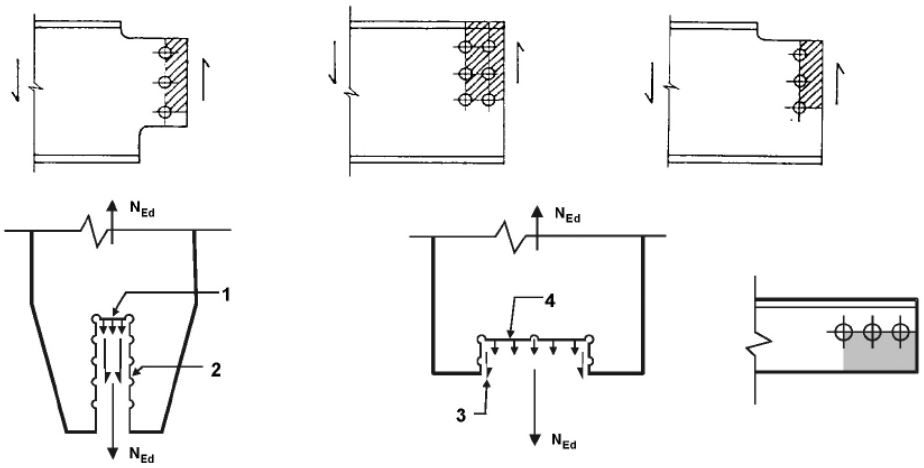
donde:

A_{nt} área neta sometida a tracción

A_{nv} área neta sometida a cortante.

(3) Para un grupo de tornillos sometidos a cargas excéntricas, el cálculo de la resistencia a desgarro de chapas $V_{eff,2,Rd}$ viene dado por:

$$V_{eff,2\ ,Rd} = 0{,}5\ f_u A_{nt}/\gamma_{M2} + \left(1/\sqrt{3}\right) f_y A_{nv}/\gamma_{M0} \qquad (3.10)$$



1 Fuerza de tracción pequeña
2 Fuerza cortante grande
3 Fuerza cortante pequeña
4 Fuerza de tracción grande

Figura A26.3.8 Desgarro de chapas

3.10.3 Angulares conectados por un ala y otros elementos en tracción unidos de forma asimétrica

(1) La excentricidad en las uniones, véase el apartado 2.7(1), y los efectos de la separación y de las distancias de los ejes de los tornillos, deberán tenerse en cuenta en la determinación de la resistencia de cálculo de:

- elementos asimétricos
- elementos simétricos conectados de forma asimétrica, como angulares unidos por un lado.

(2) Un único angular en tracción conectado por una fila de tornillos en un lado, véase la figura A26.3.9, puede tratarse como cargado concéntricamente a lo largo de la sección neta, para la que la resistencia última de cálculo deberá determinarse como sigue:

con 1 tornillo

$$N_{u,Rd} = \frac{2{,}0(e_2 - 0{,}5d_0)\, t\, f_u}{\gamma_{M2}} \qquad (3.11)$$

con 2 tornillos

$$N_{u,Rd} = \frac{\beta_2 A_{net} f_u}{\gamma_{M2}} \qquad (3.12)$$

con 3 o más tornillos

$$N_{u,Rd} = \frac{\beta_3 A_{net} f_u}{\gamma_{M2}} \qquad (3.13)$$

donde:

β_2 y β_3 son los coeficientes de reducción dependientes de las separaciones p_1, dados en la tabla A26.3.7. Para valores intermedios de p_1 el valor de β puede determinarse con una interpolación lineal

A_{net} es el área neta del angular. Para un angular de lados no equidistantes conectado por su lado menor, A_{net} deberá tomarse como la resultante del área neta de la sección de un angular con un lado equidistante y con un lado de tamaño igual al del más pequeño.

Tabla A26.3.7 Coeficientes de reducción β_2 y β_3

Separación p_1	$\leq 2{,}5\ d_0$	$\geq 5{,}0\ d_0$
2 tornillos β_2	0,4	0,7
3 tornillos o más β_3	0,5	0,7

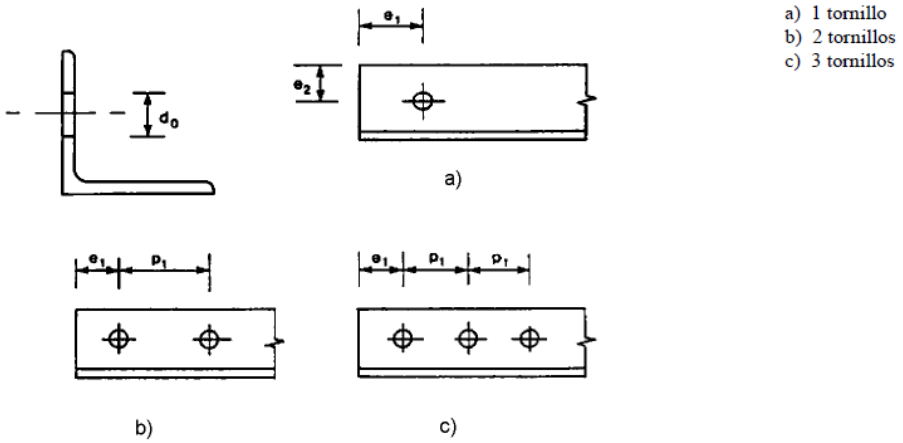


Figura A26.3.9 Angulares unidos por un lado

3.10.4 Angulares de soporte

(1) El angular de soporte que se muestra en la figura A26.3.10 conecta el angular y sus elementos de unión a la cartela o a otra pieza. Deberán calcularse para transmitir una fuerza de 1,2 veces la carga del ala exterior del angular conectado.

(2) Los elementos de unión que conectan el angular de soporte al lateral del angular principal, deberán calcularse para transmitir una fuerza igual a 1,4 veces la carga del ala de éste.

(3) Los angulares de soporte que conectan una sección en U o algún elemento similar deberán calcularse para transmitir una fuerza 1,1 veces la carga en las alas de la sección en U que conectan.

(4) Los elementos de unión que unen los angulares de soporte con una sección en U o algún elemento similar deberán calcularse para transmitir una fuerza 1,2 veces la carga del ala de la sección en U que conectan.

(5) En ningún caso deberán emplearse menos de dos tornillos para unir un angular de soporte a una cartela u otra pieza.

(6) La conexión de un angular de soporte a una cartela u otra pieza deberá situarse en el extremo del elemento conectado. La unión del angular de soporte de un elemento deberá empezar desde el extremo del elemento hasta un punto más allá de la unión directa del elemento con la cartela u otra pieza.

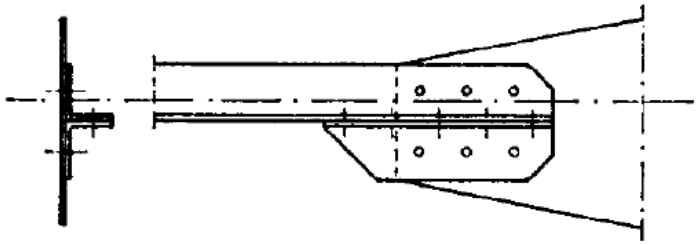


Figura A26.3.10 Angulares de soporte

3.11 Fuerzas de palanca

(1) En el proyecto de elementos de unión para soportar esfuerzos de tracción, deberá tenerse en cuenta, en su caso, el efecto de palanca.

NOTA: Los criterios dados en el apartado 6.2.4 tienen en cuenta implícitamente las fuerzas de palanca.

3.12 Distribución de esfuerzos entre elementos de unión en estado límite último

(1) Cuando se aplica un momento sobre una unión, la distribución de los esfuerzos puede ser lineal (es decir, proporcional a la distancia al eje de rotación) o no lineal, (es decir, se acepta cualquier distribución en equilibrio siempre que no se superen las resistencias de sus componentes y la ductilidad de los mismos sea suficiente).

(2) La distribución elástica lineal de los esfuerzos deberá emplearse:

- cuando se proyectan los pernos para una unión resistente al deslizamiento de categoría C,
- en uniones a cortante en que la resistencia de cálculo a cortante $F_{v,Rd}$ del elemento de unión es menor que la resistencia de cálculo $F_{b,Rd}$ de la pieza contigua,
- cuando las uniones están sometidas a impacto, vibraciones o ciclos de carga (exceptuando el viento).

(3) Si la unión está solicitada por un único cortante concentrado, el esfuerzo podrá suponerse uniformemente distribuido entre los elementos de unión, si éstos son de igual tamaño y clase.

3.13 Uniones con bulones

3.13.1 Generalidades

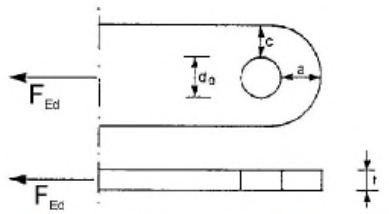
(1) Se tomarán las medidas oportunas para evitar el riesgo de que se suelten los bulones.

(2) Las uniones con bulones, en las que no se necesita que exista giro, pueden calcularse como una única unión atornillada, siempre que la longitud de los bulones sea menor que 3 veces el diámetro de dicho bulón, véase el apartado 3.6.1. Para otros casos deberá seguirse el método descrito en el apartado 3.13.2.

(3) En los elementos conectados con bulones, la geometría de la pieza no rigidizada que contenga un taladro para el bulón, cumplirá los requisitos geométricos dados en la tabla A26.3.8.

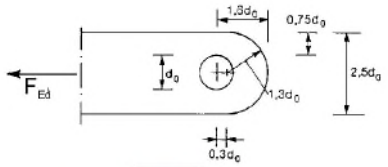
Tabla A26.3.8 Requisitos geométricos para elementos unidos con bulones en el extremo

Tipo A: Espesor t dado



$$a \geq \frac{F_{Ed}\gamma_{M0}}{2\,t\,f_y} + \frac{2\,d_0}{3} \;:\; c \geq \frac{F_{Ed}\gamma_{M0}}{2\,t\,f_y} + \frac{d_0}{3}$$

Tipo B: Geometría dada



$$t \geq 0{,}7\sqrt{\frac{F_{Ed}\gamma_{M0}}{f_y}} \;:\; d_0 \leq 2{,}5\,t$$

(4) Los elementos conectados por bulones deberán disponerse de tal manera que eviten la excentricidad y deberán tener un tamaño suficiente para distribuir la carga desde la sección de dicho elemento con el taladro del bulón hasta las secciones alejadas de éste.

3.13.2 Cálculo de los bulones

(1) Los requisitos de cálculo para bulones cilíndricos macizos se dan en la tabla A26.3.9.

(2) Los momentos en un bulón se calcularán a partir de la hipótesis de apoyo simple en las piezas que se conectan. En general, se podrá suponer que las reacciones entre bulón y piezas conectadas se distribuyen uniformemente a lo largo del contacto, como se indica en la figura A26.3.11.

(3) Si el bulón ha de ser desmontable, además de las condiciones dadas en los apartados 3.13.1 y 3.13.2, la tensión en el contacto de apoyo deberá satisfacer:

$$\sigma_{h,Ed} \leq f_{h,Rd} \qquad (3.14)$$

$$\sigma_{h,Ed} = 0{,}591\sqrt{\frac{E\,F_{b,Ed,ser}(d_0-d)}{d^2\,t}} \qquad (3.15)$$

$$f_{h,Rd} = 2{,}5 f_y/\gamma_{M6,ser} \qquad (3.16)$$

donde:

d es el diámetro del bulón

d_0 es el diámetro del taladro del bulón

$F_{b,Ed,ser}$ es el valor de cálculo de la fuerza que tiene que ser transferida por contacto, bajo la combinación de cargas características en estados límite de servicio.

Tabla A26.3.9 Criterios de cálculo de las uniones con bulones

Modo de fallo	Requisitos de cálculo
Resistencia a cortante del bulón	$F_{v,Rd} = 0{,}6\, A\, f_{up}/\gamma_{M2} \geq F_{v,Ed}$
Capacidad resistente de la chapa y del bulón Si el bulón ha de ser desmontable también deberá cumplirse este requisito	$F_{b,Rd} = 1{,}5\, t\, d\, f_y/\gamma_{M0} \geq F_{b,Ed}$ $F_{b,Rd,ser} = 0{,}6\, t\, d\, f_y/\gamma_{M6,ser} \geq F_{b,Ed,ser}$
Flexión resistida por el bulón Si el bulón ha de ser desmontable también deberá cumplirse este requisito	$M_{Rd} = 1{,}5\, W_{e\ell} f_{yp}/\gamma_{M0} \geq M_{Ed}$ $M_{Rd,ser} = 0{,}8\, W_{e\ell} f_{yp}/\gamma_{M6,ser} \geq M_{Ed,ser}$
Capacidad resistente del bulón a cortante y a flexión	$\left[\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}}\right]^2 + \left[\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}}\right]^2 \leq 1$

d es el diámetro del bulón
f_y es el menor de los límites elásticos del bulón y de la pieza conectada
f_{up} es la resistencia última a tracción del bulón
f_{yp} es el límite elástico del bulón
t es el espesor de la pieza conectada
A es el área de la sección transversal del bulón.

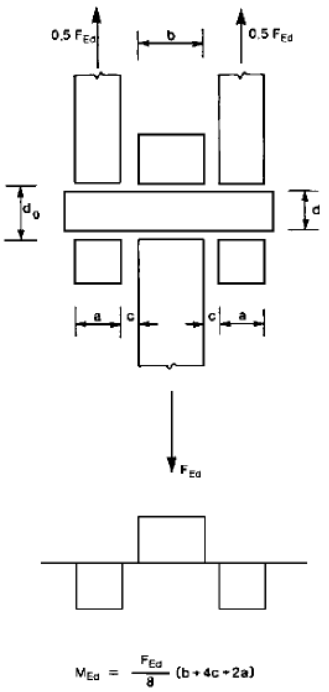


Figura A26.3.11 Momento flector en un bulón

4 Uniones soldadas

Las uniones soldadas deberán cumplir lo establecido en el Artículo 94 del Código Estructural. Este apartado recoge criterios adicionales.

4.1 Generalidades

(1) Estas especificaciones se aplican a aceros estructurales soldables, de acuerdo con el Anejo 22, y con un espesor de 4 mm o superior. También son aplicables a uniones en las que las propiedades mecánicas del metal de soldadura son compatibles con las del metal base, véase el apartado 4.2.

Para soldaduras en secciones huecas estructurales con un espesor de al menos 2,5 mm, se seguirán las indicaciones del apartado de este anejo.

Para soldaduras de pernos, véase el Anejo 30.

NOTA: Se pueden encontrar más indicaciones sobre soldaduras de pernos en las normas UNE-EN ISO 14555 y UNE-EN ISO 13918.

(2) Las soldaduras sometidas a fatiga deberán cumplir también lo indicado en el Anejo 27.

(3) Salvo que se especifique lo contrario, se requerirá un nivel de calidad C de acuerdo con la norma UNE-EN ISO 5817. La frecuencia de la inspección de las soldaduras deberá definirse de acuerdo con las reglas del Anejo 17 del Código Estructural. La calidad de las soldaduras deberá elegirse de acuerdo con la norma UNE-EN ISO 5817. Para la calidad de las soldaduras empleadas en estructuras sometidas a fatiga, véase el Anejo 27.

(4) Deberán evitarse el desgarramiento laminar.

(5) Se dan indicaciones sobre el desgarramiento laminar en el Anejo 28.

4.2 Materiales de aportación

(1) Todos los materiales de aportación, deberán cumplir lo establecido en el apartado 85.5 del Código Estructural, y deberán estar de acuerdo con las normas correspondientes especificadas en el Capítulo 18 del Código Estructural.

NOTA: Generalmente es seguro emplear electrodos que superan las calidades de los aceros empleados.

4.3 Geometría y dimensiones

4.3.1 Tipo de soldadura

(1) Este anejo cubre el proyecto de las soldaduras recogidas en el Código Estructural (en ángulo, las soldaduras de ranura, de punteo y soldaduras a tope).

(2) Las uniones y soldaduras más comunes se ilustran en la norma UNE-EN ISO 17659.

4.3.2 Soldaduras en ángulo

4.3.2.1 Generalidades

Este tipo de soldadura debe cumplir los requisitos recogidos en el apartado 94.5.8 del Código Estructural.

(1) Las soldaduras en ángulo pueden emplearse para unir piezas cuyas caras forman un ángulo comprendido entre 60º y 120º.

(2) Si el ángulo es menor de 60º, el cordón se considerará como de penetración parcial.

(3) Para ángulos mayores de 120º la resistencia de la soldadura en ángulo deberá determinarse mediante ensayos de acuerdo con el Anejo 18 Apéndice D: Cálculo asistido por ensayos.

(4) Los cordones de soldaduras en ángulo no deben de terminar en las esquinas de las piezas o de elementos de las mismas, sino que deben prolongarse alrededor de la esquina en una longitud al menos igual a dos veces el lado del cordón, salvo que el acceso a la unión o la configuración de la misma hagan esto impracticable.

NOTA: En el caso de soldaduras discontinuas esta regla se aplica únicamente a la última soldadura en ángulo de la esquina.

(5) Las prolongaciones de los cordones alrededor de las esquinas, deberán indicarse en los planos.

(6) En caso de cordones simples a un solo lado, ver la excentricidad en el apartado 4.12.

4.3.2.2 Soldaduras en ángulo discontinuas.

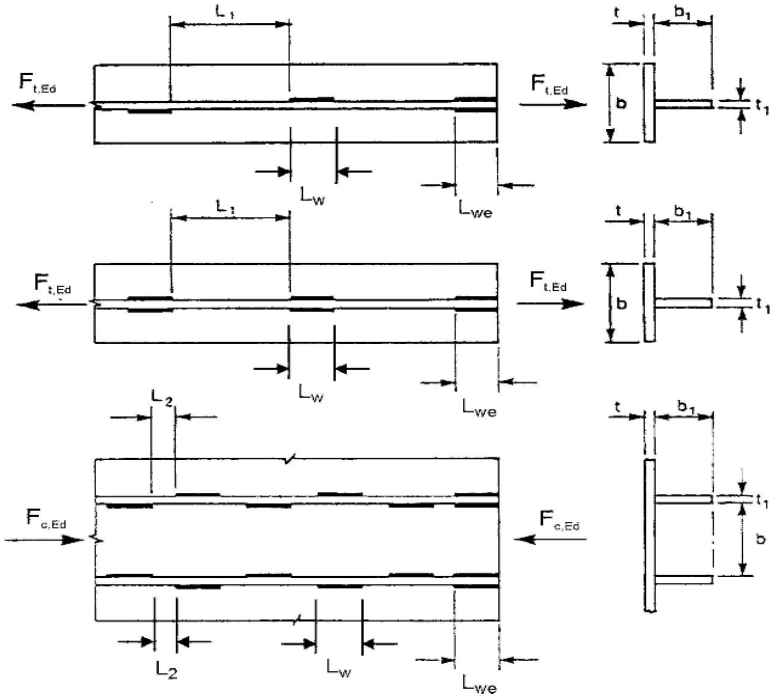
(1) Las soldaduras en ángulo discontinuas no deberán emplearse en ambientes corrosivos.

(2) En una soldadura en ángulo discontinua, las separaciones (L_1 o L_2) entre los extremos de cada longitud de soldadura L_w deberán cumplir con los requisitos descritos en la figura A26.4.1.

(3) En una soldadura en ángulo discontinua, la separación (L_1 o L_2) deberá tomarse como la menor de las distancias entre los extremos de las soldaduras en los lados opuestos y la distancia entre las terminaciones de las soldaduras en el mismo lado.

(4) En cualquier comienzo de un cordón discontinuo de una soldadura en ángulo siempre debe haber un tramo de soldadura en cada extremo de la parte conectada.

(5) En un elemento estructural en el que las chapas estén conectadas por soldaduras en ángulo discontinuas, deberá disponerse una soldadura en ángulo continua a cada lado de la placa, con una longitud a cada lado de al menos tres cuartos del ancho de la chapa que sea más estrecha (véase la figura A26.4.1).



El menor valor de $L_{we} \geq 0{,}75b$ y $0{,}75b_1$

Para elementos traccionados:

El menor de $L_1 \geq 16\,t$ y $16t_1$ y 200 mm

Para elementos comprimidos o a cortante:

El menor valor de $L_2 \leq 12\,t$ y $12t_1$ y $0{,}25\,b$ y 200 mm

Figura A26.4.1 Soldaduras discontinuas en ángulo

4.3.3 Soldaduras de ojal (o en ranura)

Este tipo de soldadura debe cumplir los requisitos recogidos en el apartado 94.5.10 del Código Estructural.

(1) Pueden emplearse las soldaduras de ojal (o en ranura), incluyendo soldaduras en ángulo en taladros circulares o alargados, únicamente para transmitir los cortantes, prevenir el pandeo o la separación de las partes solapadas.

(2) El diámetro de un taladro circular, o el ancho de un taladro alargado, para una soldadura de ojal (o en ranura) no deberá ser menor que cuatro veces el espesor de la chapa en la que se ha ejecutado.

(3) Los bordes de los taladros alargados deberán ser semicirculares, a excepción de los extremos que se extienden hasta el borde de la parte conectada.

(4) La separación entre centros de la soldadura de ojal (o en ranura) no debe superar el valor necesario para evitar el pandeo local, véase la tabla A26.3.2.

4.3.4 Soldaduras a tope

Este tipo de soldadura debe cumplir los requisitos recogidos en el apartado 94.5.9 del Código Estructural.

(1) Una soldadura a tope con penetración completa se define como una soldadura que tiene una completa penetración y fusión con el metal base en todo el espesor de la unión.

(2) Las soldaduras a tope con penetración parcial se definen como la soldadura que tiene una penetración de unión menor que el espesor del material base.

(3) No deberán emplearse soldaduras discontinuas a tope.

(4) Para las excentricidades en soldaduras a tope con penetración parcial en un único lado, véase el apartado 4.12.

4.3.5 Soldaduras de tapón (o botón)

(1) Las soldaduras de tapón (o botón) pueden emplearse:

- para transmitir cortantes,
- para prevenir la abolladura o la separación de las partes solapadas, y
- para enlazar piezas compuestas,

pero no deberán emplearse para resistir tracciones externas aplicadas.

(2) El diámetro de un taladro circular, o el ancho de un taladro alargado, para una soldadura de tapón (o botón) deberá ser al menos 8 mm mayor que el espesor de la pieza que contiene el taladro.

(3) Los bordes de los taladros alargados deberán ser semicirculares o deberán tener esquinas redondeadas con un radio no menor que el espesor de la pieza que contiene la ranura, excepto para aquellos bordes que se extienden hasta el extremo de la parte conectada.

(4) El espesor de una soldadura de tapón (o botón) en un material base mayor de hasta 16 mm de espesor deberá ser igual al espesor del material base. El espesor de una soldadura en piezas de espesor mayor que 16 mm deberá ser, al menos, la mitad del espesor del material base y no menor de 16 mm.

(5) La separación entre centros de una soldadura de tapón (o botón) no deberá superar el valor necesario para prevenir el pandeo local, véase la tabla A26.3.2.

4.3.6 Soldaduras en chaflán

(1) El espesor eficaz de garganta, cuando se encuentra a ras de la superficie de la sección de la barra, se define en la figura A26.4.2. La definición del cálculo del espesor de la garganta en secciones huecas rectangulares se da en el apartado 7.3.1(7).

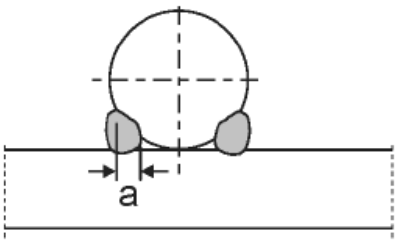


Figura A26.4.2 Espesor eficaz de la garganta de un cordón de soldadura en chaflán en una sección maciza

4.4 Soldaduras con rellenos

(1) En el caso de soldaduras con relleno, éste deberá estar a ras del eje de la parte que se va a soldar.

(2) Cuando dos partes conectadas por una soldadura están separadas por un relleno que tenga un espesor menor que la longitud del lado del cordón de soldadura necesaria para transmitir el esfuerzo, la longitud del lado requerida deberá incrementarse en el espesor del relleno.

(3) Cuando dos partes unidas mediante soldadura estén separadas por un relleno de un espesor igual o mayor que la longitud del lado del cordón de la soldadura necesaria para transmitir el esfuerzo, cada una de las partes deberá conectarse al relleno mediante una soldadura capaz de transmitir el esfuerzo de cálculo.

4.5 Resistencia de cálculo de una soldadura en ángulo

4.5.1 Longitud de las soldaduras

(1) La longitud eficaz de un cordón de una soldadura en ángulo l_{eff}, deberá tomarse como la longitud en la que el cordón de la soldadura tiene el tamaño total adecuado. Esto puede tomarse como la longitud total de la soldadura menos dos veces el espesor eficaz de garganta de la soldadura, a. Siempre que la soldadura alcance su tamaño completo en toda su longitud incluyendo el principio y el final, no es necesario reducir la longitud eficaz ni para el inicio ni para el final de la soldadura.

(2) No se considerarán portantes las soldaduras en ángulo con longitud efectiva menor que el mayor de los dos siguientes valores: 30 mm o 6 veces el espesor de garganta.

4.5.2 Espesor eficaz de garganta de la soldadura

(1) El espesor eficaz de garganta$a$ de una soldadura en ángulo, deberá tomarse como la altura del mayor triángulo (con lados iguales o distintos) que puede inscribirse dentro de las superficies de fusión y de soldadura, medida perpendicular al lado exterior de este triángulo, véase la figura A26.4.3.

(2) El espesor eficaz de garganta de una soldadura en ángulo no deberá ser menor de 3 mm.

(3) En la determinación de la resistencia de cálculo de los cordones profundos, se podrá tener en cuenta un espesor adicional de garganta, véase la figura A26.4.4, siempre que los ensayos previos demuestren que se puede conseguir la penetración necesaria.

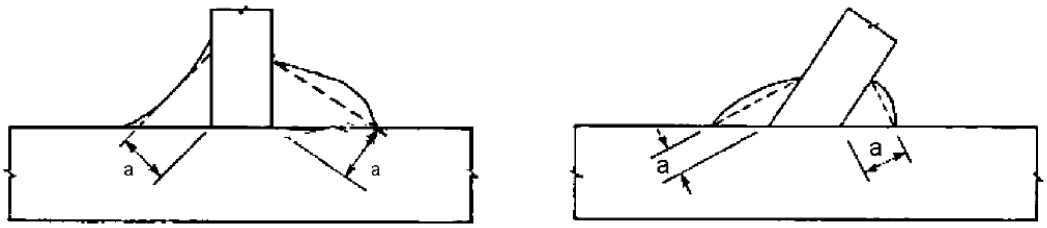


Figura A26.4.3 Espesor de garganta de una soldadura en ángulo

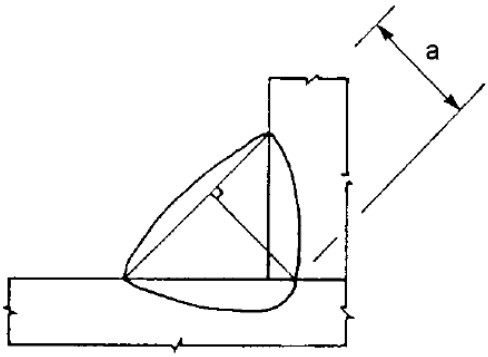


Figura A26.4.4 Espesor de garganta de una soldadura en ángulo con cordones profundos

4.5.3 Resistencia de cálculo de las soldaduras en ángulo

4.5.3.1 Generalidades

(1) La resistencia de cálculo de un cordón de una soldadura en ángulo deberá determinarse, bien empleando el método direccional descrito en el apartado 4.5.3.2, bien el método simplificado del apartado 4.5.3.3.

4.5.3.2 Método direccional

(1) En este método, los esfuerzos transmitidos por unidad de longitud de soldadura se descomponen en componentes paralelos y transversales a los ejes longitudinales de las soldaduras y normales y transversales al plano de garganta.

(2) El área de cálculo de garganta A_w deberá tomarse como $A_w = \sum a\, \ell_{eff}$.

(3) La posición del área de cálculo de garganta deberá suponerse concentrada en su raíz.

(4) Se supone una distribución uniforme de las tensiones sobre la sección de garganta de la soldadura, en la que actúan las tensiones normales y tangenciales mostradas en la figura A26.4.5, siendo:

$\sigma_\perp$ la tensión normal perpendicular a la garganta

$\sigma_\parallel$ la tensión normal paralela al eje de la soldadura

$\tau_\perp$ la tensión tangencial (en el plano de garganta) perpendicular al eje de la soldadura

$\tau_\parallel$ la tensión tangencial (en el plano de garganta) paralelo al eje de la soldadura.

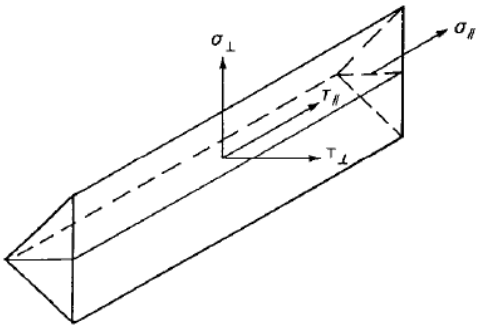


Figura A26.4.5 Tensiones sobre la sección de garganta de un cordón de una soldadura en ángulo

(5) La tensión normal $\sigma_\parallel$ paralela al eje no se considera en la comprobación de la resistencia de cálculo de la soldadura.

(6) La resistencia de cálculo del cordón de la soldadura en ángulo será suficiente siempre que se cumplan las dos condiciones siguientes:

$$[\sigma_\perp{}^2 + 3(\tau_\perp{}^2 + \tau_\parallel{}^2)]^{0,5} \leq f_u/(\beta_w \gamma_{M2}) \qquad \text{y} \qquad \sigma_\perp \leq 0{,}9 f_u/\gamma_{M2} \qquad (4.1)$$

donde:

f_u es la resistencia a tracción última nominal de la parte unida más débil

β_w es el coeficiente de correlación tomado de la tabla A26.4.1.

(7) Las soldaduras entre las piezas con diferentes resistencias del material deberán definirse a partir de las propiedades del material con la resistencia más baja.

Tabla A26.4.1 Coeficiente de correlación β_w para cordones de soldadura en ángulo

Normativa y tipos de acero			Coeficiente de correlación β_w
UNE-EN 10025	UNE-EN 10210	UNE-EN 10219	
S 235 S 235 W	S 235 H	S 235 H	0,8
S 275 S 275 N/NL S 275 M/ML	S 275 H S 275 NH/NLH	S 275 H S 275 NH/NLH S 275 MH/MLH	0,85
S 355 S 355 N/NL S 355 M/ML S 355 W	S 355 H S 355 NH/NLH	S 355 H S 355 NH/NLH S 355 MH/MLH	0,9
S 420 N/NL S 420 M/ML	-	S 420 MH/MLH	1,0
S 460 N/NL S 460 M/ML S 460 Q/QL/QL1	S 460 NH/NLH	S 460 NH/NLH S 460 MH/MLH	1,0

4.5.3.3 Método simplificado para la resistencia de cálculo de una soldadura en ángulo

(1) Como alternativa al método del apartado 4.5.3.2, puede aceptarse que la resistencia de un cordón de una soldadura es adecuada si, en cada punto a lo largo de su longitud, la resultante de todas las fuerzas transmitidas por unidad de longitud de soldadura cumple el siguiente criterio:

$$F_{w,Ed} \leq F_{w,Rd} \quad (4.2)$$

donde:

$F_{w,Ed}$ es el valor de cálculo de la fuerza de soldadura por unidad de longitud

$F_{w,Rd}$ es la resistencia de cálculo de soldadura por unidad de longitud.

(2) Independientemente de la orientación del plano de garganta de la soldadura respecto a la carga aplicada, la resistencia de cálculo por unidad de longitud $F_{w,Rd}$ se determinará como:

$$F_{w,Rd} = f_{vw,d}\, a \quad (4.3)$$

donde:

$f_{vw,d}$ es la resistencia a cortante de cálculo de la soldadura.

(3) La resistencia a cortante de cálculo $f_{vw,d}$ de la soldadura se determinará como:

$$f_{vw,d} = \frac{f_u/\sqrt{3}}{\beta_w \gamma_{M2}} \quad (4.4)$$

donde:

f_u y β_w se definen en el apartado 4.5.3.2(6).

4.6 Resistencia de cálculo de soldaduras de ojal (o en ranura)

(1) La resistencia de cálculo de una soldadura de ojal (o en ranura) deberá determinarse empleando uno de los métodos descritos en el apartado 4.5.

4.7 Resistencia de cálculo de las soldaduras a tope

4.7.1 Soldaduras a tope con penetración completa

(1) La resistencia de cálculo de una soldadura a tope con penetración completa deberá tomarse igual a la resistencia de la parte conectada más débil, siempre que la soldadura se ejecute con el material adecuado, de tal manera que todos los elementos tengan un mínimo límite elástico y una resistencia mínima a tracción, no inferiores a las especificadas para el metal base.

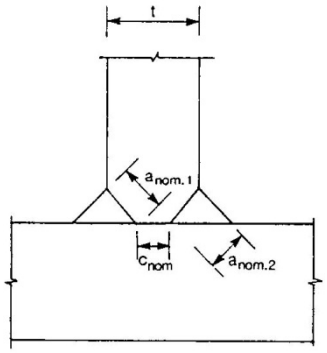
4.7.2 Soldaduras a tope con penetración parcial

(1) La resistencia de cálculo de una soldadura a tope con penetración parcial, deberá determinarse empleando el método para un cordón profundo descrito en el apartado 4.5.2(3).

(2) El espesor de garganta de una soldadura a tope con penetración parcial no deberá ser mayor que la profundidad de la penetración que pueda alcanzarse de manera efectiva, véase el apartado 4.5.2(3).

4.7.3 Soldaduras a tope en T

(1) La resistencia de cálculo de una soldadura a tope en T, formada por dos soldaduras a tope con penetración parcial reforzadas por soldaduras en ángulo superpuestas, puede determinarse de la misma forma que para un soldadura a tope con penetración completa (véase el apartado 4.7.1) si el espesor de garganta nominal total, excluido el intervalo sin soldar, no es menor que el espesor t de la parte que forma el vástago de la junta en T, siempre que el intervalo sin soldar no sea mayor de $(t/5)$ o 3 mm, el que sea menor, véase la figura A26.4.6.



$a_{nom,1} + a_{nom,2} \geq t$

c_{nom} será el menor valor de entre $t/5$ y 3 mm.

Figura A26.4.6 Penetración completa efectiva de las soldaduras a tope en T

4.8 Resistencia de cálculo de las soldaduras de tapón (o botón)

(1) La resistencia de cálculo $F_{w,Rd}$ de una soldadura de tapón (o botón), véase el apartado 4.3.3, deberá tomarse como:

$$F_{w,Rd} = f_{vw,d} A_w$$

donde:

$f_{vw,d}$ es la resistencia de cálculo a cortante de la soldadura definida en el apartado 4.5.3.3(3)

A_w es el área de cálculo de la garganta y deberá tomarse como el área del taladro.

4.9 Distribución de esfuerzos

(1) La distribución de esfuerzos en una unión soldada puede calcularse suponiendo un comportamiento elástico o plástico, de acuerdo con los apartados 2.4 y 2.5.

(2) Se acepta el suponer una distribución simplificada de esfuerzos en los cordones.

(3) No es necesario incluir, en la comprobación de los cordones, las tensiones residuales y las no debidas a transferencia de cargas. Esto se aplica específicamente a las tensiones normales paralelas al eje de la soldadura.

(4) Las uniones soldadas deberán calcularse para tener una capacidad de deformación adecuada. Sin embargo, no se deberá confiar en la ductilidad de las soldaduras.

(5) En uniones en las que se puedan formar rótulas plásticas, las soldaduras deberán calcularse para conseguir, al menos, la misma resistencia de cálculo que la de la parte conectada más débil.

(6) En otras uniones en las que se requiera una capacidad de deformación para la rotación de la unión debido a la posibilidad de una deformación excesiva, las soldaduras requieren una resistencia suficiente para no llegar a la rotura antes de la plastificación total del material base adyacente.

(7) Si la resistencia de cálculo de una soldadura discontinua se determina empleando la longitud total ℓ_{tot}, el esfuerzo cortante por unidad de longitud de la soldadura $F_{w,Ed}$ deberá multiplicarse por el coeficiente $(e + \ell)/\ell$, véase la figura A26.4.7.

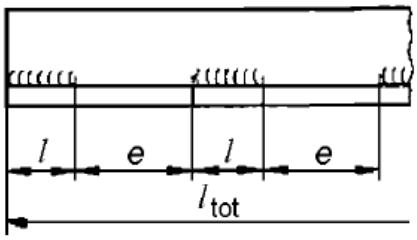


Figura A26.4.7 Cálculo de los esfuerzos en soldaduras discontinuas

4.10 Uniones de alas no rigidizadas

(1) Cuando una chapa transversal (o el ala de una viga) se suelde a un ala portante sin rigidizar de una sección en I, en H u otro tipo, véase la figura A26.4.8, y siempre que se cumpla la condición dada en 4.10(3), la carga aplicada en dirección perpendicular al ala sin rigidizar no deberá ser mayor que cualquiera de las siguientes capacidades portantes:

- la del alma del elemento portante de una sección en I o en H como las indicadas en los apartados 6.2.6.2 o 6.2.6.3, según corresponda.
- la de una chapa transversal en elementos con perfiles tubulares circulares (PTC), como se indica en la tabla A26.7.13;
- la del ala portante según la fórmula (6.20) del apartado 6.2.6.4.3(1), calculadas suponiendo que la carga aplicada se concentra a lo largo del ancho eficaz b_{eff}, del ala como se indica en los apartados 4.10(2) o 4.10(4), según corresponda.

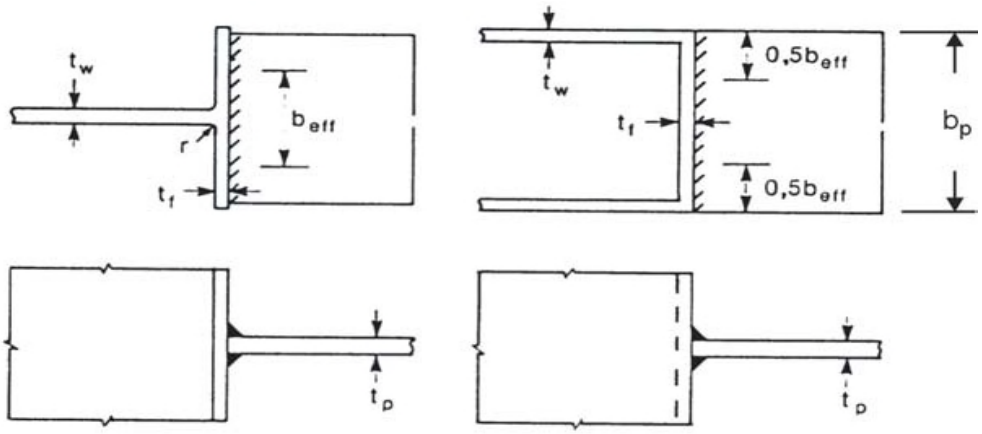


Figura A26.4.8 Ancho eficaz de una unión en T no rigidizada

(2) Para una sección en I o en H no rigidizada el ancho eficaz b_{eff} deberá obtenerse de:

$$b_{eff} = t_w + 2s + 7kt_f \qquad (4.6a)$$

donde:

$$k = (t_f/t_p)(f_{y,f}/f_{y,p})$$

siendo:

$$k \leq 1 \qquad (4.6b)$$

$f_{y,f}$ es el límite elástico del ala de una sección en I o en H

$f_{y,p}$ es el límite elástico de una chapa soldada a una sección en I o en H.

La dimensión s deberá obtenerse de:

- para una sección laminada en I o H;

$$s = r \quad (4.6c)$$

- para una sección soldada en I o H;

$$s = \sqrt{2}\, a \quad (4.6d)$$

(3) Para un ala sin rigidizar de una sección en I o H, deberá cumplirse el siguiente criterio:

$$b_{eff} \geq \left(f_{y,p}/f_{u,p}\right) b_p \quad (4.7)$$

donde:

$f_{u,p}$ es la resistencia última de la chapa soldada a una sección en I o H

b_p es el ancho de la chapa soldada a una sección en I o H.

En caso contrario, la unión deberá rigidizarse.

(4) Para otras secciones, como para las secciones en cajón o las secciones en U donde el ancho de la chapa unida es similar al ancho del ala, el ancho eficaz b_{eff} deberá obtenerse de:

$$b_{eff} = 2t_w + 5t_f \quad \text{siendo} \quad b_{eff} \leq 2t_w + 5\, k\, t_f \quad (4.8)$$

NOTA: Para perfiles tubulares, véase la tabla A26.7.13.

(5) Si $b_{eff} \leq b_p$, las soldaduras que conectan la chapa al ala necesitan calcularse para transmitir la resistencia de cálculo de la chapa $b_p t_p f_{y,P}/\gamma_{M0}$ suponiendo una distribución uniforme de tensiones.

4.11 Uniones largas

(1) En uniones solapadas, la resistencia de cálculo de una soldadura en ángulo deberá reducirse multiplicándola por un coeficiente de reducción β_{Lw} para tener en cuenta los efectos de una distribución de tensiones no uniforme a lo largo de su longitud.

(2) Las indicaciones dadas en el apartado 4.11, no son aplicables cuando la distribución de tensiones a lo largo de la soldadura corresponda con la distribución de tensiones en el metal base adyacente como, por ejemplo, en el caso de una soldadura que conecta el ala al alma de una chapa de una viga.

(3) En las uniones solapadas mayores que $150a$ el coeficiente de reducción β_{Lw} deberá tomarse como $\beta_{Lw,1}$, dado por:

$$\beta_{Lw,1} = 1{,}2 - 0{,}2L_j/(150a) \quad \text{siendo} \quad \beta_{Lw,1} \leq 1{,}0 \quad (4.9)$$

donde:

L_j es la longitud total de solape en la dirección de transferencia de carga.

(4) Para cordones de soldadura mayores de 1,7 metros que unen rigidizadores transversales en elementos de chapa, el coeficiente de reducción β_{Lw} puede tomarse como $\beta_{Lw,2}$ dado por:

$$\beta_{Lw,1} = 1{,}1 - L_w/17 \quad \text{siendo } \beta_{Lw,2} \leq 1{,}0 \quad \text{y} \quad \beta_{Lw,2} \geq 0{,}6 \quad (4.10)$$

donde:

L_w es la longitud de la soldadura (en metros).

4.12 Soldaduras a tope con penetración parcial a un único lado o en ángulo cargadas excéntricamente

(1) La excentricidad local deberá evitarse cuando sea posible.

(2) La excentricidad local (respecto a la línea de acción del esfuerzo a resistir) deberá tenerse en cuenta en los siguientes casos:

- Cuando un momento flector transmitido a lo largo del eje longitudinal de la soldadura produzca tracción en la raíz de dicha soldadura, véase la figura A26.4.9(a);
- Cuando la carga a tracción transmitida en dirección perpendicular al eje longitudinal de la soldadura produce un momento flector que resulta en una carga de tracción en la raíz de la soldadura, véase la figura A26.4.9(b).

(3) No será necesario tener en cuenta la excentricidad local si la soldadura forma parte de un grupo de soldaduras alrededor del perímetro de una sección hueca estructural.



(a) Momentos flectores que traccionan la raíz de la soldadura

(b) Esfuerzos que traccionan la raíz de la soldadura

Figura A26.4.9 Soldaduras en ángulo o a tope con penetración parcial a un solo lado

4.13 Angulares conectados por un lado

(1) En angulares conectados por un lado, la excentricidad en los solapes soldados en uniones en extremo, puede tenerse en cuenta mediante la adopción de un área eficaz de la sección y tratando, entonces, el elemento estructural como cargado concéntricamente.

(2) Para un angular de lados iguales, o para uno con distintos lados unido por el lado más largo, el área eficaz puede tomarse igual al área bruta.

(3) Para un angular con lados distintos unido por el lado más pequeño, el área eficaz deberá tomarse igual al área bruta de un angular equivalente de lados iguales de una longitud de ala igual a la del ala menor, para la determinación de la resistencia de cálculo de la sección, véase el Anejo 22. Sin embargo, cuando se determine la resistencia de cálculo a pandeo de un elemento comprimido (ver dicho anejo), deberá emplearse el área bruta real de la sección.

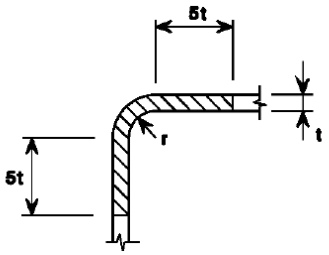
4.14 Soldadura en zonas conformadas en frío

(1) La soldadura puede llevarse a cabo en una longitud $5t$ a ambos lados de una zona conformada en frío, véase la tabla A26.4.2, siempre que se cumpla una de las siguientes condiciones:

- Las zonas conformadas en frío se normalizan después del conformado en frío, pero antes de la soldadura;
- La relación r/t cumple con el valor correspondiente obtenido de la tabla A26.4.2.

Tabla A26.4.2 Condiciones de soldadura en zonas conformadas en frío y el material adyacente

r/t	Deformación debida al conformado en frío (%)	Espesor máximo (mm)		
		En general		Acero totalmente calmado o reposado con aluminio $Al \geq 0{,}02\%$
		Carga predominantemente estática	Cuando predomina la fatiga	
≥ 25	≤ 2	cualquiera	cualquiera	cualquiera
≥ 10	≤ 5	cualquiera	16	cualquiera
≥ 3,0	≤ 14	24	12	24
≥ 2,0	≤ 20	12	10	12
≥ 1,5	≤ 25	8	8	10
≥ 1,0	≤ 33	4	4	6



NOTA: Se puede considerar que los perfiles tubulares conformados en frío de acuerdo con la norma UNE-EN 10219 que no satisfagan los límites dados en la tabla A26.4.2, satisfacen estos límites si los perfiles tienen un espesor no superior a 12,5 mm y son calmados o reposados con aluminio de una calidad J2H, K2H, MH, MLH, NH o NLH y además cumplen que $C \leq 0{,}18\%, P \leq 0{,}020\%$ y $S \leq 0{,}012\%$.

En otros casos, solo se permite soldar dentro de una distancia de $5t$ desde las esquinas si puede demostrarse mediante ensayos que el soldeo es posible para esa aplicación particular.

5 Análisis, clasificación y modelización

5.1 Análisis global

5.1.1 Generalidades

(1) Los efectos del comportamiento de las uniones sobre la distribución de los esfuerzos dentro de la estructura y sobre todas las deformaciones de la estructura, normalmente deberán tenerse en cuenta, pero podrán despreciarse cuando estos efectos sean suficientemente pequeños.

(2) Para identificar si es necesario tener en cuenta los efectos del comportamiento de una unión en el análisis, puede distinguirse entre tres modelos de uniones simplificadas como sigue:

- simple, en el que puede suponerse que la unión no transmite los momentos flectores;
- continua, en el que puede suponerse que el comportamiento de la unión no afecta al análisis;
- semi-continua, en el que es necesario tener en cuenta el comportamiento de la unión en el análisis.

(3) El tipo de modelo de unión apropiado deberá determinarse a partir de la tabla A26.5.1, dependiendo de la clasificación de la unión y del método de análisis elegido.

(4) La curva característica momento de cálculo - giro de una unión, empleada en el análisis, puede simplificarse adoptando cualquier curva apropiada, adoptando una aproximación lineal (por ejemplo

bilineal o trilineal), siempre que esta curva aproximada se encuentre completamente por debajo de la curva característica momento de cálculo–giro.

Tabla A26.5.1 Tipo de modelo de unión

Método de análisis global	Clasificación de la unión		
Elástico	Nominalmente articulada	Rígida	Semi-rígida
Rígido-plástico	Nominalmente articulada	Resistencia total	Resistencia parcial
Elasto-plástico	Nominalmente articulada	Rígida y resistencia total	Semi-rígido y resistencia parcial Semi-rígido y resistencia completa Rígido y resistencia parcial
Tipo de modelo de la unión	Simple	Continuo	Semi-continuo

5.1.2 Análisis elástico global

(1) Las uniones deben clasificarse de acuerdo con su rigidez al giro, véase el apartado 5.2.2.

(2) Las uniones deberán tener una resistencia suficiente para transmitir los esfuerzos actuantes en las uniones resultantes del análisis.

(3) En el caso de una unión semirrígida, normalmente deberá emplearse en el análisis la rigidez al giro S_j correspondiente al momento flector $M_{j,Ed}$. Si $M_{j,Ed}$ no es mayor de $2/3M_{j,Rd}$, puede tomarse en el análisis global la rigidez inicial al giro $S_{j,ini}$, véase la figura A26.5.1(a).

(4) Como simplificación al apartado 5.1.2(3), la rigidez al giro puede tomarse en el análisis como $S_{j,ini}/\eta$, para todos los valores del momento $M_{j,Ed}$, como se muestra en la figura A26.5.1(b), donde η es el coeficiente de modificación de la rigidez de la tabla A26.5.2.

(5) Para uniones entre secciones en I o H, S_j se da en el apartado 6.3.1.



a) $M_{j,Ed} \leq 2/3\ M_{j,Rd}$ b) $M_{j,Ed} \leq M_{j,Rd}$

Figura A26.5.1 Rigidez al giro a emplear en un análisis global elástico

Tabla A26.5.2 Coeficiente de modificación de rigidez η

Tipo de unión	Unión viga-pilar	Otros tipos de uniones (viga-viga, empalmes de vigas, uniones en la base de los pilares)
Soldadas	2	3
Chapas de extremo atornilladas	2	3
Chapas de empalme atornilladas en el ala	2	3,5
Placas base	-	3

5.1.3 Análisis global rígido-plástico

(1) Las uniones deberán clasificarse de acuerdo con su resistencia, véase el apartado 5.2.3.

(2) Para uniones que conectan secciones en I o en H, el $M_{j,Rd}$ se da en el apartado 6.2.

(3) Para uniones que conectan perfiles tubulares, puede emplearse el método descrito en el apartado 7.

(4) La capacidad de giro de una unión deberá ser suficiente para acomodar las rotaciones resultantes del análisis.

(5) Para uniones entre secciones en I o H, la capacidad de giro deberá comprobarse de acuerdo con el apartado 6.4.

5.1.4 Análisis global elasto-plástico

(1) Las uniones deberán clasificarse de acuerdo con su rigidez (véase el apartado 5.2.2) y su resistencia (véase el apartado 5.2.3).

(2) Para uniones entre secciones en I o en H, $M_{j,Rd}$ se da en el apartado 6.2, S_j se da en el apartado 6.3.1 y ϕ_{Cd} se da en el apartado 6.4.

(3) Para uniones que conectan perfiles tubulares, puede emplearse el método descrito en el apartado 7.

(4) La curva característica de momento-giro de la unión deberá emplearse para determinar la distribución de los esfuerzos.

(5) Como simplificación, puede adoptarse la curva bilineal característica del momento de cálculo-giro mostrada en la figura A26.5.2. El coeficiente de modificación de la rigidez η deberá obtenerse de la tabla A26.5.2.

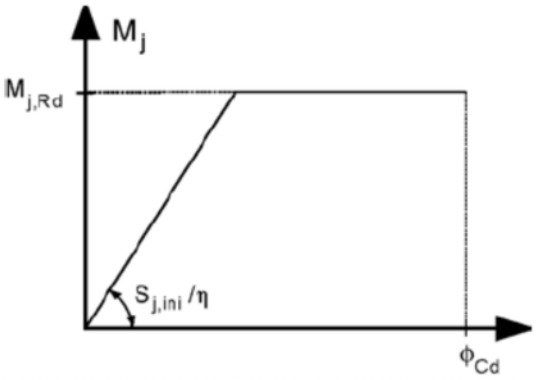


Figura A26.5.2 Curva característica bilineal simplificada del momento de cálculo-giro

5.1.5 Análisis global de las vigas en celosía

(1) Las disposiciones dadas en el apartado 5.1.5 son solamente aplicables en estructuras en las que las uniones se comprueben de acuerdo con el apartado 7.

(2) La distribución de axiles en una viga en celosía puede determinarse suponiendo que los elementos se conectan mediante uniones articuladas (véase también el apartado 2.7).

(3) Los momentos hiperestáticos en las uniones, causados por la rigidez al giro en las uniones, pueden despreciarse tanto en el cálculo de los elementos como en el cálculo de las uniones, siempre que se cumplan las condiciones siguientes:

- la geometría de la unión está dentro del rango de validez especificado en las tablas 7.1, 7.8, 7.9 o 7.20,
- la relación entre la longitud del sistema y el canto del elemento estructural en el plano de la viga de celosía no es menor que el valor mínimo correspondiente. Para estructuras de edificación, el valor mínimo apropiado que puede tomarse es 6,
- la excentricidad está dentro de los límites especificados en el apartado 5.1.2 (5).

(4) Los momentos resultantes de las cargas transversales (tanto las que se producen dentro del plano como fuera del mismo) que se aplican entre los puntos del panel, deberán tenerse en cuenta en el cálculo de los elementos sobre los que se aplican. Siempre que se cumplan las condiciones descritas en el apartado 5.1.5(3):

- las uniones entre elementos de arriostramiento y cordones pueden considerarse como articuladas, por lo que los momentos resultantes de las cargas transversales aplicadas sobre los cordones no necesitan distribuirse dentro de los elementos de arriostramiento, y viceversa;
- los cordones pueden considerarse como vigas continuas, con apoyos simples en los puntos del panel.

(5) Los momentos resultantes de las excentricidades pueden despreciarse en el cálculo de los cordones traccionados y los elementos de arriostramiento. También pueden despreciarse en el cálculo de las uniones si las excentricidades están dentro de los siguientes límites:

$$0{,}55 d_0 \leq e \leq 0{,}25 d_0 \qquad (5.1a)$$

$$0{,}55 h_0 \leq e \leq 0{,}25 h_0 \qquad (5.1b)$$

donde:

e es la excentricidad definida en la figura A26.5.3

d_0 es el diámetro del cordón

h_0 es el canto del cordón, en el plano de la viga en celosía.

(6) Cuando las excentricidades están dentro de los límites descritos en el apartado 5.1.5(5), los momentos resultantes de la excentricidad deberán tenerse en cuenta en el cálculo de los cordones sometidos a compresión. En este caso, los momentos producidos por las excentricidades deberán distribuirse entre los cordones comprimidos a cada lado de la unión, en función de sus coeficientes de rigidez relativa I/L, donde L es la longitud de dicho elemento, medido entre puntos del panel.

(7) Cuando las excentricidades están fuera de los límites descritos en el apartado 5.1.5 (5), los momentos resultantes de las excentricidades deberán tenerse en cuenta en el cálculo de las uniones y de los elementos. En este caso, los momentos producidos por la excentricidad deberán distribuirse entre todos los elementos que se encuentren en la unión, a partir de sus coeficientes de rigidez relativa I/L.

(8) Las tensiones de un cordón resultantes de los momentos considerados en el cálculo, también deberán tenerse en cuenta para determinar los coeficientes k_m, k_n, k_p, empleados en el cálculo de las

uniones, véase de la tabla A26.7.2 a la tabla A26.7.5, la tabla A26.7.10 y de la tabla A26.7.12 a la tabla A26.7.14.

(9) Los casos en los que deben tenerse en cuenta los momentos se resumen en la tabla A26.5.3.

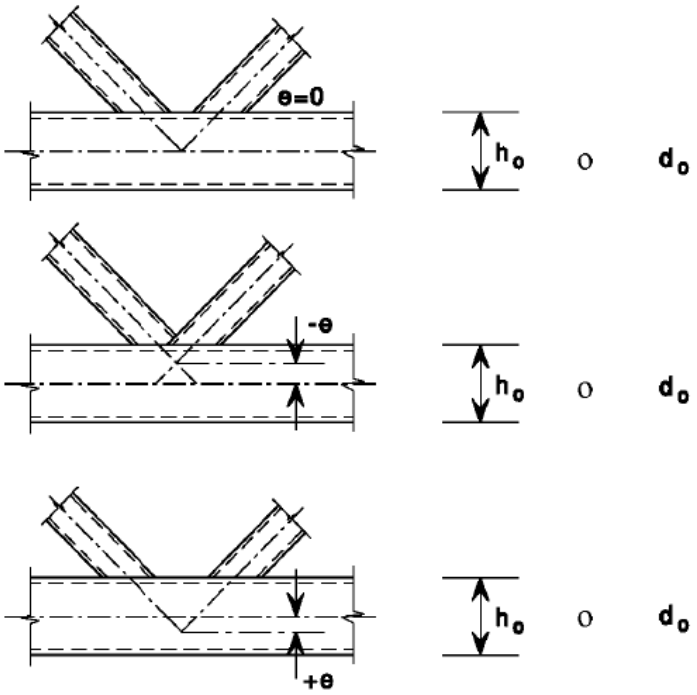


Figura A26.5.3 Excentricidad de las uniones

Tabla A26.5.3 Casos en los que deben considerarse los momentos flectores

Tipo de componente	Procedencia del momento flector		
	Efectos secundarios	Carga transversal	Excentricidad
Cordón comprimido	No si se cumple el apartado 5.1.5(3)	sí	Sí
Cordón traccionado			No, si se cumplen los puntos (3) y (5) del apartado 5.1.5
Elemento de arriostramiento			No, si se cumplen los puntos (3) y (5) del apartado 5.1.5
Unión			No, si se cumplen los puntos (3) y (5) del apartado 5.1.5

5.2 Clasificación de uniones

5.2.1 Generalidades

(1) Los detalles de todas las uniones deberán satisfacer las hipótesis del método de cálculo correspondiente, sin afectar a ninguna otra parte de la estructura.

(2) Las uniones pueden clasificarse según su rigidez (véase el apartado 5.2.2) y su resistencia (véase el apartado 5.2.3).

5.2.2 Clasificación según la rigidez

5.2.2.1 Generalidades

(1) Una unión puede clasificarse como rígida, nominalmente articulada o semi-rígida de acuerdo con su rigidez al giro, comparando su rigidez inicial al giro $S_{j,ini}$ con los límites dados en el apartado 5.2.2.5.

NOTA: Las reglas para la determinación de $S_{j,ini}$ para uniones entre secciones en I o en H se describen en el apartado 6.3.1. Las reglas para la determinación de $S_{j,ini}$ para uniones que conectan perfiles tubulares no se recogen en este anejo.

(2) Una unión puede clasificarse basándose en una evidencia experimental, en la experiencia de un comportamiento previo satisfactorio en casos similares o por cálculos basados en resultados de ensayos.

5.2.2.2 Uniones nominalmente articuladas

(1) Una unión nominalmente articulada deberá ser capaz de transmitir esfuerzos, sin desarrollar momentos significativos que puedan afectar negativamente a elementos estructurales o la estructura como un todo.

(2) Una unión nominalmente articulada deberá ser capaz de soportar los giros resultantes bajo cargas de cálculo.

5.2.2.3 Uniones rígidas

(1) Puede suponerse que las uniones clasificadas como rígidas tienen suficiente rigidez al giro como para justificar un análisis basado en una continuidad total.

5.2.2.4 Uniones semirrígidas

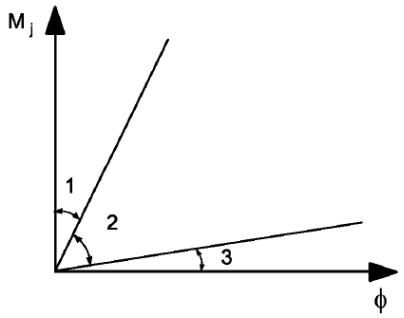
(1) Una unión que no satisfaga los criterios de una unión rígida o de una unión nominalmente articulada, deberá clasificarse como una unión semirrígida.

NOTA: Las uniones semirrígidas proporcionan un grado predecible de interacción entre elementos, basado en la curva característica momento de cálculo-giro de las uniones.

(2) Las uniones semirrígidas deberán ser capaces de transmitir esfuerzos y momentos.

5.2.2.5 Límites de clasificación

(1) Los valores límite para las clasificaciones de uniones que no sean las de los pilares se dan en el apartado 5.2.2.1(1) y en la figura A26.5.4.



Zona 1: rígidas, si $S_{j,ini} \geq k_b E I_b / I_b$
donde:
$k_b = 8$ para pórticos donde el arriostramiento reduce el desplazamiento horizontal al menos un 80%
$k_b = 25$ para otros pórticos, siempre que cumpla en todas las plantas $K_b / K_c \geq 0{,}1^{*)}$

Zona 2: semirrígidas
Todas las uniones en la zona 2 deberán clasificarse como semirrígidas. Las uniones en zonas 1 o 3 pueden opcionalmente tratarse también como semirrígidas.

Zona 3: nominalmente articuladas, si $S_{j,ini} \leq 0{,}5 E I_b / L_b$

*) Para entramados donde $K_b / K_c < 0{,}1$, las uniones deberán clasificarse como semirrígidas

K_b es el valor medio de I_b / L_b para todas las vigas en la parte superior de la planta
K_c es el valor medio de I_c / L_c para todos los pilares de la planta
I_b es el momento de inercia de la viga
I_c es el momento de inercia del pilar
L_b es la luz del vano de la viga (entre centros de pilares)
L_c es la altura entre plantas de un pilar.

Figura A26.5.4 Clasificación de uniones según su rigidez

(2) Las bases de los pilares pueden considerarse como rígidas siempre que se cumplan las siguientes condiciones:

- en pórticos donde el arriostramiento reduce el desplazamiento horizontal al menos hasta un 80% y cuando pueden despreciarse los efectos de la deformación:

  si $\overline{\lambda_0} \leq 0{,}5$; (5.2a)

  si $0{,}5 < \overline{\lambda_0} < 3{,}93$ y $S_{j,ini} \geq 7\left(2\overline{\lambda_0} - 1\right) E I_c / L_c$ (5.2b)

  si $\overline{\lambda_0} \geq 3{,}93$ y $S_{j,ini} \geq 48 E I_c / L_c$ (5.2c)

- en el resto de casos,

  si $S_{j,ini} \geq 30 E I_c / L_c$ (5.2d)

  donde:

  $\overline{\lambda_0}$ es la esbeltez del pilar en la que sus dos extremos se suponen articulados

  I_c, L_c se definen en la figura A26.5.4.

5.2.3 Clasificación en función de la resistencia

5.2.3.1 Generalidades

(1) Una unión puede clasificarse como rígida con capacidad plena para transmitir la resistencia última de los elementos unidos, nominalmente articulada o parcialmente resistente al comparar su momento resistente de cálculo $M_{j,Rd}$, con la resistencia al momento de cálculo de los elementos que conecta. Para la clasificación de uniones, la resistencia de cálculo de un elemento deberá tomarse como la del elemento adyacente a la unión.

5.2.3.2 Uniones nominalmente articuladas

(1) Una unión nominalmente articulada deberá ser capaz de transmitir los esfuerzos sin desarrollar momentos que puedan afectar negativamente a los elementos estructurales o la estructura como un todo.

(2) Una unión nominalmente articulada deberá ser capaz de soportar los giros resultantes bajo cargas de cálculo.

(3) Una unión puede clasificarse como nominalmente articulada si su momento resistente de cálculo $M_{j,Rd}$, no es mayor de 0,25 veces el momento de cálculo resistente necesario para una unión rígida con capacidad para transmitir la resistencia última de los elementos unidos, siempre que también tenga la capacidad de giro suficiente.

5.2.3.3 Uniones rígidas con capacidad para transmitir la resistencia última de los elementos unidos

(1) La resistencia de cálculo de una unión rígida con capacidad para transmitir la resistencia última de los elementos unidos no deberá ser menor que la de los elementos conectados.

(2) Una unión puede clasificarse como rígida con capacidad plena para transmitir la resistencia última de los elementos unidos si cumple el criterio dado en la figura A26.5.5.

a) Cabeza del pilar



$M_{j,Rd}$

Bien $M_{j,Rd} \geq M_{b,p\ell,Rd}$

o $M_{j,Rd} \geq M_{c,p\ell,Rd}$

b) A lo largo de la altura del pilar



$M_{j,Rd}$

Bien $M_{j,Rd} \geq M_{b,p\ell,Rd}$

o $M_{j,Rd} \geq M_{c,p\ell,Rd}$

$M_{b,p\ell,Rd}$ es el momento plástico resistente de cálculo de una viga

$M_{c,p\ell,Rd}$ es el momento plástico resistente de cálculo de un pilar.

Figura A26.5.5 Uniones rígidas con capacidad plena para transmitir esfuerzos

5.2.3.4 Uniones de resistencia parcial

(1) Una unión en la que no se cumplen los criterios para una unión rígida con capacidad para transmitir la resistencia última de los elementos unidos o nominalmente articulada deberá clasificarse como de resistencia parcial.

5.3 Modelización de la unión entre viga-pilar

(1) Para modelizar el comportamiento deformacional de una unión, deberá tenerse en cuenta la deformación a cortante del panel del alma y la deformación debida al giro de las uniones.

(2) Las configuraciones de las uniones deberán calcularse para resistir los momentos flectores $M_{b1,Ed}$ y $M_{b2,Ed}$, los esfuerzos normales $N_{b1,Ed}$ y $N_{b2,Ed}$, y los cortantes $V_{b1,Ed}$ y $V_{b2,Ed}$, aplicados a la unión a través de los elementos conectados, véase la figura A26.5.6.

(3) El cortante resultante $V_{wp,Ed}$ en el panel del alma deberá obtenerse empleando:

$$V_{wp,Ed} = \left(M_{b1,Ed} - M_{b2,Ed}\right)/z - \left(V_{c1,Ed} - V_{c2,Ed}\right)/2 \qquad (5.3)$$

donde:

z es el brazo mecánico, véase el apartado 6.2.7.

(4) Para modelizar una unión de forma que reproduzca el comportamiento esperado, el panel del alma a cortante y cada una de las conexiones deberán modelizarse por separado, teniendo en cuenta los momentos y los esfuerzos en los elementos, actuando en la periferia del panel del alma, véase la figura A26.5.6(a) y la figura A26.5.7.

(5) Como alternativa, para simplificar el apartado 5.3(4), una unión simple puede modelizarse como una unión única y una unión doble puede modelizarse como dos uniones separadas pero interactuantes, una a cada lado. Como consecuencia, una unión viga-pilar a ambos lados del pilar (doble) tendrá dos curvas características momento-giro, una para la unión a mano derecha y la otra para la que está a mano izquierda.

(6) En una unión viga-pilar doble, cada unión deberá modelizarse como un resorte de giro independiente, como se muestra en la figura A26.5.8, en el que cada resorte tiene una curva característica momento-giro que tendrá en cuenta el comportamiento del panel del alma a cortante así como la influencia de las conexiones correspondientes.

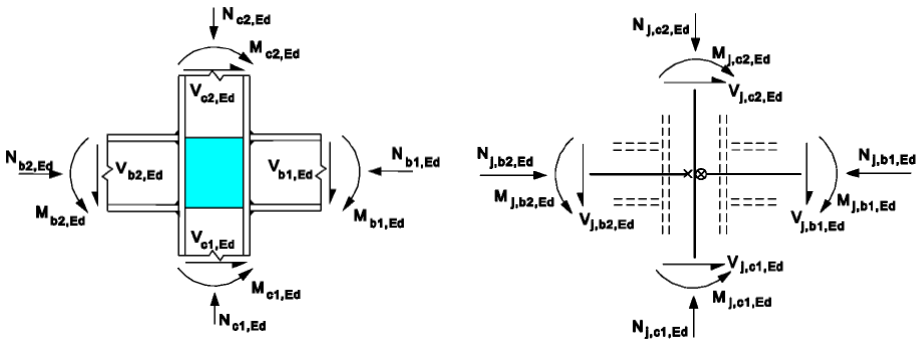
(7) En la determinación del momento resistente de cálculo y la rigidez al giro de cada una de las uniones, la posible influencia del panel del alma sometido a cortante deberá tenerse en cuenta mediante los parámetros de transformación β_1 y β_2, donde:

β_1 es el parámetro de transformación β para el lado derecho de la unión.

β_2 es el parámetro de transformación β para el lado izquierdo de la unión.

NOTA: Los parámetros de transformación β_1 y β_2 se emplean directamente en los apartados 6.2.7.2(7) y 6.3.2(1). También se emplean en los apartados 6.2.6.2(1) y 6.2.6.3(4) junto con la tabla A26.6.3 para obtener el coeficiente de reducción ω a cortante.

(8) Los valores aproximados de β_1 y β_2 basados en los valores de los momentos de la viga $M_{b1,Ed}$ y $M_{b2,Ed}$ en la periferia del panel del alma, véase la figura A26.5.6(a), pueden obtenerse de la tabla A26.5.4.

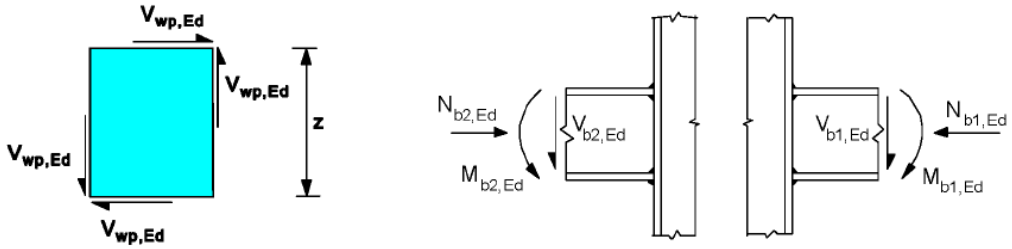


a) Valores en la periferia del panel del elementos

b) Valores en la intersección de los ejes de alma los

La dirección de esfuerzos y momentos representada se considera positiva a efectos de las ecuaciones (5.3) y (5.4)

Figura A26.5.6 Esfuerzos y momentos que actúan en la unión



a) Cortantes en el panel del alma b) Uniones con esfuerzos y momentos en las vigas

Figura A26.5.7 Esfuerzos y momentos que actúan en el panel del alma de las uniones



Configuración de la unión en un solo lado

Configuración de la unión en ambos lados

1 Unión
2 Unión 2: lado izquierdo
3 Unión 1: lado derecho

Figura A26.5.8 Modelización de la unión

(9) Como alternativa al apartado 5.3(8), a partir del modelo simplificado mostrado en la figura A26.5.6(b), pueden determinarse valores más exactos de β_1 y β_2 basados en los valores de los momentos de la viga $M_{j,b1,Ed}$ y $M_{j,b2,Ed}$ en la intersección de los ejes de los elementos.

$$\beta_1 = \left|1 - M_{j,b2,Ed}/M_{j,b1,Ed}\right| \leq 2 \qquad (5.4a)$$

$$\beta_2 = \left|1 - M_{j,b1,Ed}/M_{j,b2,Ed}\right| \leq 2 \qquad (5.4b)$$

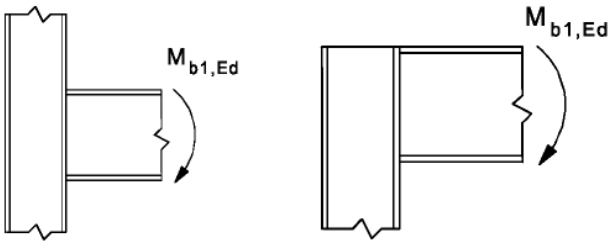
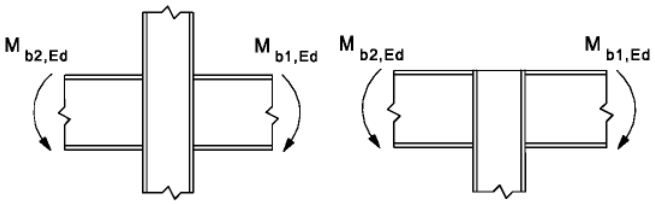
donde:

$M_{j,b1,Ed}$ es el momento en la intersección a mano derecha de la viga

$M_{j,b2,Ed}$ es el momento en la intersección a mano izquierda de la viga.

(10) En el caso de una unión no rigidizada viga-pilar a ambos lados del pilar y no rigidizada, en la que el canto de las dos vigas no es igual, deberá tenerse en cuenta la distribución real de las tensiones tangenciales en el panel de alma del pilar para determinar el momento resistente de cálculo.

Tabla A26.5.4 Valores aproximados para el parámetro de transformación β

Tipo de configuración de la unión	Acción	Valor de β
	$M_{b1,Ed}$	$\beta \approx 1$
	$M_{b1,Ed} = M_{b2,Ed}$	$\beta = 0$ *)
	$M_{b1,Ed}/M_{b2,Ed} > 0$	$\beta \approx 1$
	$M_{b1,Ed}/M_{b2,Ed} < 0$	$\beta \approx 2$
	$M_{b1,Ed} + M_{b2,Ed} = 0$	$\beta \approx 2$

*) En este caso del valor de β es un valor exacto en lugar de una aproximación.

6 Uniones estructurales entre secciones en H o en I

6.1 Generalidades

6.1.1 Bases

(1) Este apartado contiene métodos de cálculo para la determinación de las propiedades estructurales de las uniones en cualquier tipo de pórtico. Para aplicar estos métodos, una unión deberá modelizarse como un conjunto de varios componentes básicos, véase el apartado 1.4(1).

(2) Los componentes básicos empleados en este anejo se identifican en la tabla A26.6.1 y sus propiedades deberán determinarse de acuerdo con las directrices dadas en el mismo. Se pueden emplear otros componentes básicos siempre que sus propiedades se basen en ensayos o en métodos analíticos y numéricos contrastados por ensayos, véase el Anejo 18.

NOTA: Los métodos de cálculo para componentes básicos de una unión recogidos en este anejo son de aplicación general y también pueden aplicarse a componentes similares en otras configuraciones de uniones. Sin embargo, los métodos de cálculo específicos dados para determinar el momento resistente de cálculo, la rigidez al giro y la capacidad de giro de una unión se basan en una supuesta distribución de esfuerzos de las configuraciones de uniones indicadas en la figura A26.1.2. Para otras configuraciones de uniones, los métodos de cálculo para determinar el momento resistente, la rigidez al giro y la capacidad de giro deberán basarse en hipótesis apropiadas de la distribución de los esfuerzos.

6.1.2 Propiedades estructurales

6.1.2.1 Curva característica momento de cálculo-giro

(1) Una unión puede representarse por un resorte frente al giro que une los ejes de los elementos conectados en el punto de intersección, como se indica en la figura A26.6.1(a) y (b) para una unión viga-pilar aun solo lado del pilar. Las propiedades del resorte pueden expresarse en forma de curva característica que describe la relación entre el momento flector $M_{j,Ed}$ aplicado a la unión y el giro

correspondiente ϕ_{Ed} entre los elementos conectados. Generalmente, la curva característica momento de cálculo-giro es no lineal, tal y como se indica en la figura A26.6.1(c).

(2) La curva característica momento de cálculo-giro, véase la figura A26.6.1(c), deberá definir las siguientes tres propiedades estructurales principales:

- momento resistente;
- rigidez al giro;
- capacidad de giro.

NOTA: En algunos casos, el comportamiento real, debido al momento-giro de una unión, incluye algún giro debido a los efectos como el deslizamiento de los tornillos, la falta de calibrado y, en el caso de bases de pilares, la interacción suelo-estructura. Esto puede resultar en una cantidad significativa de giros iniciales de las rótulas que puede ser necesario incluir en el cálculo de la curva característica momento de cálculo-giro.

(3) La curva característica momento de cálculo-giro de una unión viga-pilar deberá ser acorde con las hipótesis hechas en el análisis global de la estructura y con las hipótesis hechas en el cálculo de los elementos, véase el Anejo 22.

(4) La curva característica momento de cálculo-giro de uniones y bases de pilares de secciones en I o en H como las del apartado 6.3.1(4), puede suponerse que satisface suficientemente los requisitos del apartado 5.1.1(4) como para simplificar esta curva característica a los efectos del análisis global.

6.1.2.2 Momento resistente de cálculo

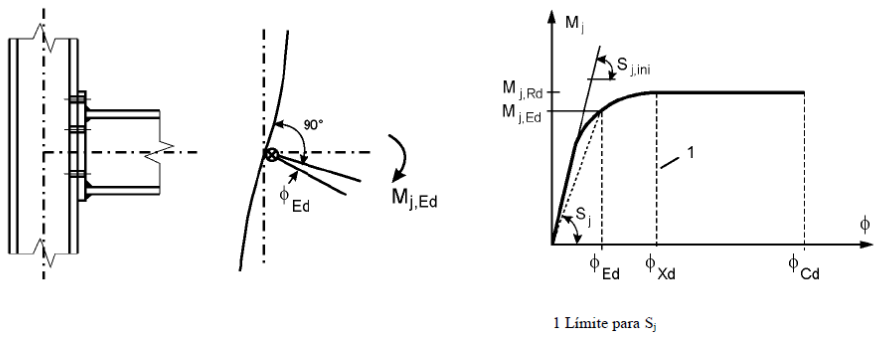
(1) El momento resistente de cálculo $M_{j,Rd}$, que es igual al momento máximo de la curva característica momento de cálculo-giro, véase la figura A26.6.1(c), deberá tomarse como se indica en el apartado 6.1.3(4).

6.1.2.3 Rigidez al giro

(1) La rigidez al giro S_j, que es la rigidez secante, como se indica en la figura A26.6.1(c), deberá tomarse de acuerdo con el apartado 6.3.1(4). Para el cálculo de la curva característica momento de cálculo-giro, esta definición de S_j se aplica al giro ϕ_{Xd} para el que $M_{j,Ed}$ alcanza por primera vez $M_{j,Rd}$, pero no para giros mayores, véase la figura A26.6.1(c). La rigidez inicial de giro $S_{j,ini}$, que es la pendiente en el tramo elástico de la curva característica momento de cálculo-giro, deberá tomarse como la indicada por el apartado 6.1.3(4).

6.1.2.4 Capacidad de giro

(1) La capacidad de giro ϕ_{Cd} de una unión, que es igual a la máxima rotación de la curva característica momento de cálculo-giro, véase la figura A26.6.1(c), deberá tomarse según el apartado 6.1.3(4).



a) Unión b) Modelo c) Curva característica momento de cálculo-giro

Figura A26.6.1 Curva característica momento de cálculo-giro de una unión

6.1.3 Componentes básicos de una unión

(1) La curva característica momento de cálculo-giro de una unión deberá depender de las propiedades de sus componentes básicos, que deberán estar entre los identificados en el apartado 6.1.3(2).

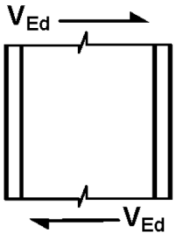
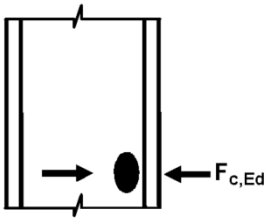
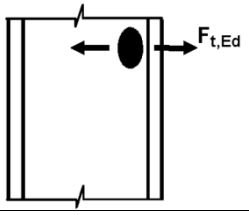
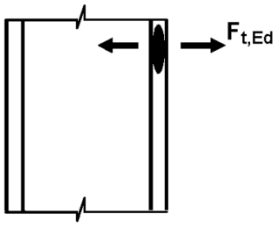
(2) Los componentes básicos de una unión deberán ser los indicados en la tabla A26.6.1, junto con la referencia a las reglas de aplicación que deberán emplearse para la evaluación de sus propiedades estructurales.

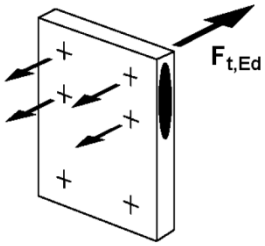
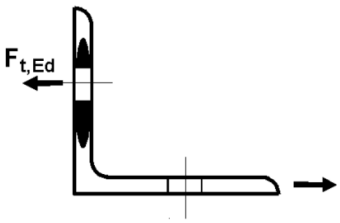
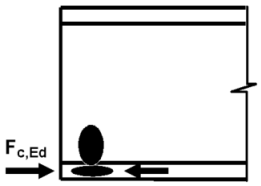
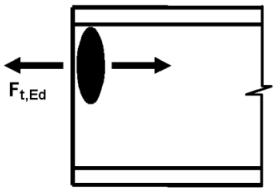
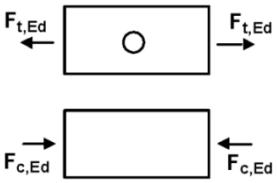
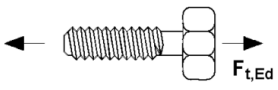
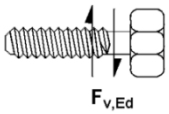
(3) Ciertos componentes de las uniones pueden estar armados. Los detalles de los diferentes métodos de armado se dan en los apartados 6.2.4.3 y 6.2.6.

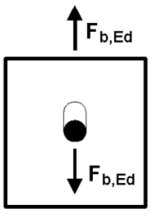
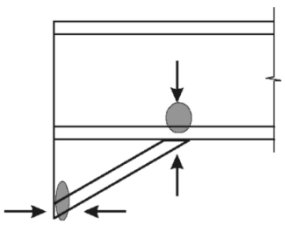
(4) Las relaciones entre las propiedades de los componentes básicos de una unión y las propiedades estructurales de la unión deberán ser las indicadas en las siguientes cláusulas:

- para momentos resistentes, en los apartados 6.2.7 y 6.2.8;
- para rigidez al giro, en el apartado 6.3.1;
- para capacidad de giro, en el apartado 6.4.

Tabla A26.6.1 Componentes básicos de una unión

Componente			Referencia a las reglas de aplicación		
			Resistencia de cálculo	Coeficiente de rigidez	Capacidad de giro
1	Panel del alma de un pilar a cortante		6.2.6.1	6.3.2	6.4.2 y 6.4.3
2	Alma de un pilar sometido a compresión transversal		6.2.6.2	6.3.2	6.4.2 y 6.4.3
3	Alma de un pilar sometido a tracción transversal		6.2.6.3	6.3.2	6.4.2 y 6.4.3
4	Ala de un pilar sometido a flexión		6.2.6.4	6.3.2	6.4.2 y 6.4.3

Componente			Referencia a las reglas de aplicación		
			Resistencia de cálculo	Coeficiente de rigidez	Capacidad de giro
5	Chapa en extremo sometida a flexión		6.2.6.5	6.3.2	6.4.2
6	Angular de empalme sometido a flexión		6.2.6.6	6.3.2	6.4.2
7	Ala y alma de una viga o un pilar sometidos a compresión		6.2.6.7	6.3.2	*)
8	Alma de una viga sometida a tracción		6.2.6.8	6.3.2	*)
9	Chapa sometida a tracción o a compresión		en tracción: -Anejo 22 en compresión: -Anejo 22	6.3.2	*)
10	Tornillos traccionados		con el ala de un pilar: -6.2.6.4 con una chapa de frontal: -6.2.6.5 con chapa de empalme da las alas: -6.2.6.6	6.3.2	6.4.2
11	Tornillos sometidos a cortante		3.6	6.3.2	6.4.2

Componente			Referencia a las reglas de aplicación		
			Resistencia de cálculo	Coeficiente de rigidez	Capacidad de giro
12	Tornillos sometidos a deslizamiento (sobre el ala de la viga, el ala del pilar, chapa en extremo o de empalme)		3.6	6.3.2	*)
13	Hormigón sometido a compresión, incluyendo el mortero		6.2.6.9	6.3.2	*)
14	Placa base flexionada sometida a compresión		6.2.6.10	6.3.2	*)
15	Placa base flexionada sometida a tracción		6.2.6.11	6.3.2	*)
16	Pernos de anclaje traccionados		6.2.6.12	6.3.2	*)
17	Pernos de anclaje sometidos a cortante		6.2.2	*)	*)
18	Pernos de anclaje sometidos a flexión		6.2.2	*)	*)
19	Soldaduras		4	6.3.2	*)
20	Viga acartelada		6.2.6.7	6.3.2	*)

*) No hay información disponible en esta parte.

6.2 Resistencia de cálculo

6.2.1 Esfuerzos

(1) Puede suponerse que las tensiones debidas a los esfuerzos y momentos en un elemento no afectan a la resistencia de cálculo de los componentes básicos de una unión, excepto para lo especificado en los apartados 6.2.1(2) y 6.2.1(3).

(2) Deberá tenerse en cuenta la tensión longitudinal en un pilar cuando se determine la resistencia de cálculo del alma del pilar sometido a compresión, véase el apartado 6.2.6.2(2).

(3) Deberá tenerse en cuenta el cortante en el alma de un pilar cuando se determine la resistencia de cálculo de los siguientes componentes básicos:

- alma de un pilar sometido a compresión transversal, véase el apartado 6.2.6.2;
- alma de un pilar sometido a tracción transversal, véase el apartado 6.2.6.3.

6.2.2 Cortantes

(1) En uniones soldadas y en las atornilladas con chapas frontales, las soldaduras que unen el alma de la viga deberán calcularse para transmitir el cortante procedente de la viga conectada a la unión, sin ayuda de las soldaduras que unen las alas de las vigas.

(2) En uniones atornilladas con chapas frontal, la resistencia de cálculo de cada fila de tornillos sometidos a una combinación de cortante y tracción, deberá comprobarse empleando el criterio dado por la tabla A26.3.3, teniendo en cuenta la fuerza de tracción total en el tornillo, incluyendo cualquier fuerza debida al efecto de la palanca.

NOTA: Como simplificación, puede suponerse que los tornillos necesarios para resistir la tracción proporcionan su resistencia de cálculo total a tracción cuando se pueda demostrar que el cortante de cálculo no supera la suma de:

a) la resistencia a cortante total de cálculo de los tornillos que no son necesarios para resistir a tracción, y;

b) $(0{,}4/1{,}4)$ veces la resistencia a cortante total de cálculo de aquellos tornillos que trabajen a tracción.

(3) En uniones atornilladas con un angular de unión, puede suponerse que la chapa de empalme que conecta el ala comprimida de la viga transmite los esfuerzos cortantes de dicha viga al pilar, siempre que:

- la separación g entre el extremo de la viga y la cara del pilar no supere el espesor t_a del angular de unión;
- la fuerza no exceda la resistencia de cálculo a cortante de los tornillos que unen los angulares a los pilares;
- el alma de la viga satisfaga los requisitos recogidos en el Anejo 25.

(4) La resistencia de cálculo a cortante de una unión puede calcularse a partir de la distribución de los esfuerzos en la unión, y de las resistencias de cálculo de sus componentes básicos a estas fuerzas, véase la tabla A26.6.1.

(5) En las placas base, si no se disponen elementos especiales para resistir los cortantes, como conectadores de bloque o de barra, deberá demostrarse la resistencia al rozamiento de cálculo de la placa base, véase el apartado 6.2.2(6), y, en los casos donde el taladro del tornillo no esté sobredimensionado, la resistencia a cortante de cálculo de los pernos de anclaje, véase el apartado 6.2.2(7), es suficiente para transmitir los cortantes de cálculo. La resistencia a flexión de cálculo de los conectadores de bloque o de barra con respecto al hormigón deberá comprobarse de acuerdo con los Anejos 19 a 21.

(6) En la base de un pilar, la resistencia al rozamiento de cálculo $F_{f,Rd}$ entre la placa base y el mortero deberán calcularse como sigue:

$$F_{f,Rd} = C_{f,d} N_{c,Ed} \quad (6.1)$$

donde:

$C_{f,d}$ es el coeficiente de rozamiento entre la chapa base y la capa de mortero de cemento. Pueden emplearse los siguientes valores:

- para morteros de arena y cemento $C_{f,d} = 0{,}20$
- para otros tipos de mortero el coeficiente de rozamiento $C_{f,d}$ deberá determinarse mediante ensayos de acuerdo con el Anejo 18, Apéndice D

$N_{c,Ed}$ es el valor de cálculo de la fuerza de compresión normal al pilar.

NOTA: Si el pilar se carga con una fuerza normal de tracción, $F_{t,Rd} = 0$.

(7) En la base de un pilar, la resistencia a cortante de cálculo de un perno de anclaje $F_{vb,Rd}$ deberá tomarse como el menor de $F_{1,vb,Rd}$ y $F_{2,vb,Rd}$ donde:

- $F_{1,vb,Rd}$ es la resistencia a cortante de cálculo del perno de anclaje, véase el apartado 3.6.1
- $F_{2,vb,Rd} = \frac{\alpha_{bc} f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}}$ (6.2)

donde:

$\alpha_{bc} = 0{,}44 - 0{,}0003 f_{yb}$

f_{yb} es el límite elástico del perno de anclaje, donde $235\,N/mm^2 \leq f_{yb} \leq 640\,N/mm^2$.

(8) La resistencia a cortante de cálculo $F_{v,Rd}$ entre una placa base de un pilar y una chapa de mortero deberá calcularse como sigue:

$$F_{v,Rd} = F_{f,Rd} + F_{vb,Rd} \quad (6.3)$$

donde:

n es el número de pernos de anclaje de la placa base.

(9) El hormigón y la armadura empleada en la base deberán calcularse de acuerdo con los Anejos 19 a 21 del Código Estructural.

6.2.3 Momentos flectores

(1) El momento resistente de cálculo de cualquier unión puede calcularse a partir de la distribución de esfuerzos dentro de la unión y de las resistencias de cálculo de sus componentes básicos frente a dichos esfuerzos, véase la tabla A26.6.1.

(2) Siempre que el axil N_{Ed} en el elemento conectado no superé el 5% de la resistencia de cálculo $N_{p\ell,Rd}$ de su sección transversal, el momento resistente de cálculo $M_{j,Rd}$ de la unión viga-pilar o de un empalme de una viga puede determinarse empleando el método descrito en el apartado 6.2.7.

(3) El momento resistente de cálculo $M_{j,Rd}$ de la base de un pilar puede determinarse empleando el método descrito en el apartado 6.2.8.

(4) En todas las uniones, las dimensiones de las soldaduras deberán ser tal que el momento resistente de cálculo $M_{j,Rd}$ esté siempre limitado por la resistencia de cálculo de sus componentes básicos y no por la resistencia de cálculo de las soldaduras.

(5) En la unión viga-pilar o en el empalme de una viga en la que se necesite que se forme una rótula plástica que gire bajo cualquier caso de carga que corresponda, las soldaduras deberán calcularse para resistir los efectos de un momento al menos igual al menor de:

- el momento resistente plástico de cálculo del elemento conectado $M_{p\ell,Rd}$,
- α veces el momento resistente de cálculo de la unión $M_{j,Rd}$,

donde:

$\alpha = 1{,}4$ para pórticos en los que el arriostramiento cumpla con el criterio (5.1) del apartado 5.2.1(3) del Anejo 22 del Código Estructural, respecto a la traslacionalidad

$\alpha = 1{,}7$ para los demás casos.

(6) En una unión atornillada con más de una fila de tornillos en tracción, como simplificación, la contribución de cualquier fila de tornillos puede despreciarse siempre que la contribución de todas las demás filas de tornillos próximas al centro de compresión también se desprecie.

6.2.4 Sección en T equivalente a tracción

6.2.4.1 Generalidades

(1) En las uniones atornilladas, pueden emplearse secciones en T equivalente a tracción para modelizar la resistencia de cálculo de los siguientes componentes básicos:

- ala del pilar en flexión;
- chapa frontal a flexión;
- angular de empalme en ala a flexión;
- placa base en flexión sometida a tracción.

(2) Los métodos para modelizar estos componentes básicos utilizando una sección en T equivalente, incluyendo los valores que deber emplearse para e_{min}, ℓ_{eff} y m, están descritos en el apartado 6.2.6.

(3) Los posibles modos de fallo del ala de una sección en T equivalente, pueden suponerse similares a los que se espera que ocurran en el componente básico que representan.

(4) La longitud eficaz total $\sum \ell_{eff}$ de la sección en T equivalente, véase la figura A26.6.2, deberá ser tal que la resistencia de cálculo de su ala sea equivalente a la del componente básico de la unión que representa.

NOTA: La longitud eficaz de una sección en T equivalente es una longitud teórica y no corresponde necesariamente a la longitud física del componente básico de la unión que representa.

(5) La resistencia de cálculo a tracción del ala de la sección en T deberá determinarse a partir de la tabla A26.6.2.

NOTA: El efecto de palanca se tiene en cuenta implícitamente en la determinación de la resistencia a tracción de cálculo de acuerdo con la tabla A26.6.2.

(6) En los casos en los que puedan desarrollarse fuerzas de palanca, véase la tabla A26.6.2, la resistencia a tracción de cálculo de un ala de la sección en T $F_{T,Rd}$, deberá tomarse como el menor valor de los tres modos de fallo posibles, 1,2 y 3.

(7) En los casos en los que no se desarrollen las fuerzas de palanca, la resistencia de cálculo a tracción del ala de la sección en T equivalente $F_{T,Rd}$, deberá tomarse como el menor valor de los dos modos de fallo posibles de acuerdo con la tabla A26.6.2.

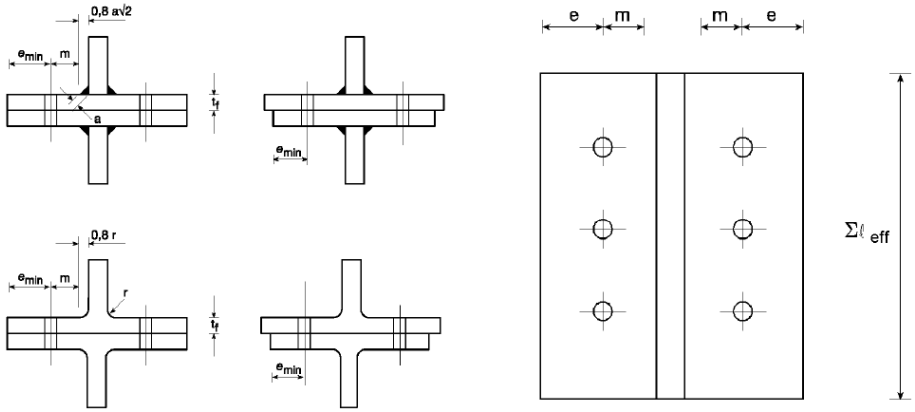


Figura A26.6.2 Dimensiones del ala de la sección en T equivalente

Tabla A26.6.2 Resistencia de cálculo $F_{T,Rd}$ del ala de la sección en T

	Con fuerzas de palanca, por ejemplo $L_b \le L_b^*$		Sin fuerzas de palanca
Modo 1	Método 1	Método 2 (método alternativo)	$F_{T,1-2,Rd} = \frac{2M_{pl,1,Rd}}{m}$
sin refuerzos	$F_{T,1,Rd} = \frac{4M_{pl,1,Rd}}{m}$	$F_{T,1,Rd} = \frac{(8n - 2e_w)M_{pl,1,Rd}}{2mn - e_w(m+n)}$	
con refuerzos	$F_{T,1,Rd} = \frac{4M_{pl,1,Rd} + 2M_{bp,Rd}}{m}$	$F_{T,1,Rd} = \frac{(8n - 2e_w)M_{pl,1,Rd} + 4nM_{bp,Rd}}{2mn - e_w(m+n)}$	
Modo 2	$F_{T,2,Rd} = \frac{2M_{pl,2,Rd} + n\sum F_{t,Rd}}{m+n}$		
Modo 3	$F_{T,3,Rd} = \sum F_{t,Rd}$		

Modo 1: Ala totalmente plastificada

Modo 2: Fallo del tornillo por plastificación del ala

Modo 3: Fallo de tornillo

L_b es:

- la longitud de elongación del tornillo, tomada igual a la longitud de agarre (espesor total del material y de las arandelas), más la mitad de la suma de las alturas de la cabeza de tornillo y de la altura de la tuerca o
- la longitud de elongación del perno de anclaje, tomado igual a la suma de 8 veces el diámetro nominal del perno, la capa de mortero, el espesor de la placa, la arandela y la mitad de la altura de la tuerca

$$L_b^* = \frac{8{,}8m^3 A_s\, n_b}{\sum \ell_{eff,1} t_f^3}$$

$F_{T,Rd}$ es la resistencia a tracción de cálculo del ala de la sección en T

Q es la fuerza de palanca

$M_{pl,1,Rd} = 0{,}25 \sum \ell_{eff,1} t_f^2 f_y / \gamma_{M0}$

$M_{pl,2,Rd} = 0{,}25 \sum \ell_{eff,2} t_f^2 f_y / \gamma_{M0}$

$M_{bp,Rd} = 0{,}25 \sum \ell_{eff,1} t_{bp}^2 f_{y,bp} / \gamma_{M0}$

$n = e_{min}$ si $n \le 1{,}25\, m$

$F_{t,Rd}$ es la resistencia a tracción de cálculo de un tornillo, véase la tabla A26.3.3;

$\sum F_{t,Rd}$ es el valor total de $F_{t,Rd}$ para todos los tornillos en la sección en T;

$\sum \ell_{eff,1}$ es el valor de $\sum \ell_{eff}$ para el modo 1;

$\sum \ell_{eff,2}$ es el valor de $\sum \ell_{eff}$ para el modo 2;

e_{min}, m y t_f son como se indica en la figura A26.6.2;

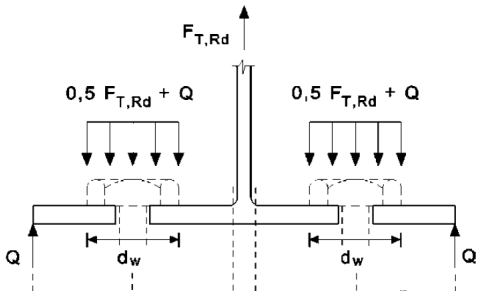
$f_{y,bp}$ es el límite elástico del refuerzo;

t_{bp} es el espesor del refuerzo;

$e_w = d_w/4$;

d_w es el diámetro de la arandela, o el ancho de la cabeza de los tornillos o de las tuercas, según corresponda;

n_b es el número de filas de tornillos (con 2 tornillos por fila).



NOTA 1: En una unión atornillada entre una viga y un pilar o en empalmes de vigas puede suponerse que se producirán fuerzas de palanca.

NOTA 2: En el método 2, la carga aplicada al ala de la sección en T por un tornillo se supone uniformemente distribuida bajo la arandela, la cabeza del tornillo o la tuerca, según corresponda, véase la figura, en lugar de concentrarse en el eje del tornillo. Esta hipótesis conduce a un valor más alto para el modo 1, pero deja los valores de $F_{T,1-2,Rd}$ y los modos 2 y 3 sin cambios.

6.2.4.2 Filas de tornillos individuales, grupos de tornillos y grupos de filas de tornillos

(1) Aunque en el ala de la sección real en T las fuerzas de cada fila de tornillos son generalmente iguales, cuando se emplea el ala de la sección en T equivalente para modelizar un componente básico enumerado en el apartado 6.2.4.1(1), deberán tenerse en cuenta las diferentes fuerzas en cada fila de tornillos.

(2) Cuando se emplea una sección en T equivalente para modelizar un grupo de filas de tornillos, puede ser necesario dividir el grupo en filas individuales y emplear una sección en T equivalente para modelizar cada fila individual de tornillos.

(3) Cuando se emplea la aproximación de la sección en T equivalente para modelizar un grupo de filas de tornillos, deberán satisfacerse las siguientes condiciones:

a) la carga de cada fila de tornillos no deberá superar la resistencia de cálculo determinada considerando una única fila de tornillos;

b) la carga total de cada grupo de filas de tornillos, que comprende dos o más filas de tornillos en el mismo grupo de tornillos, no deberá superar la resistencia de cálculo de ese grupo de filas de tornillos.

(4) En la determinación de la resistencia a tracción de cálculo de un componente básico representado por el ala de una sección en T equivalente, deberán calcularse los siguientes parámetros:

a) la resistencia de cálculo de una fila individual de tornillos, determinada considerando únicamente esa fila de tornillos;

b) la contribución de cada fila de tornillos a la resistencia de cálculo de dos o más filas adyacentes dentro de un mismo grupo de tornillos, determinada considerando únicamente esas filas de tornillos.

(5) En el caso de una única fila individual de tornillos $\sum \ell_{eff}$ deberá tomarse igual a la longitud eficaz ℓ_{eff} tabulada en el apartado 6.2.6 para esa fila de tornillos tomada como una fila individual.

(6) En el caso de un grupo de filas de tornillos $\sum \ell_{eff}$ deberá tomarse como la suma de las longitudes efectivas ℓ_{eff} tabuladas en el apartado 6.2.6 para cada fila de tornillos correspondientes tomadas como parte de un grupo de tornillos.

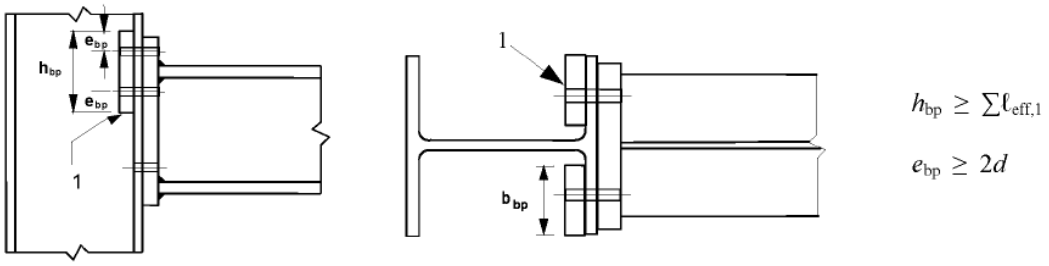
6.2.4.3 Refuerzos

(1) Los refuerzos pueden emplearse para reforzar un ala de un pilar en flexión como se indica en la figura A26.6.3.

(2) Cada refuerzo deberá extenderse al menos hasta el borde del ala de un pilar y a 3 mm del radio de la garganta o de la soldadura.

(3) El refuerzo deberá extenderse más allá de la fila de tornillos más alejada a través de las filas de tornillos activas en tracción definidas en la figura A26.6.3.

(4) Cuando se emplea el refuerzo, la resistencia de cálculo de una sección en T equivalente $F_{T,Rd}$, deberá determinarse empleando el método descrito en la tabla A26.6.2.



1 Refuerzo

Figura A26.6.3 Ala de un pilar con chapas de refuerzo

6.2.5 Sección en T equivalente comprimido

(1) En las uniones de acero-hormigón, el ala de una sección en T equivalente en compresión puede emplearse para modelizar la resistencia de cálculo para la combinación de los siguientes componentes básicos:

- la placa base de acero sometida a flexión bajo la presión del apoyo sobre la cimentación;
- el material de la unión en el apoyo de hormigón y/o mortero.

(2) La longitud total efectiva l_{eff} y el acho total eficaz b_{eff} de la sección en T equivalente deberán ser tales que la resistencia a compresión de cálculo de la sección en T sea equivalente a la del componente básico de la unión que representa.

NOTA: La longitud eficaz y el ancho eficaz de una sección en T equivalente son longitudes teóricas y pueden diferir de las dimensiones físicas del componente básico de la unión que representan.

(3) La resistencia a compresión de cálculo de un ala de una sección en T,$F_{C,Rd}$ deberá determinarse como sigue:

$$F_{C,Rd} = f_{jd} b_{eff} l_{eff} \qquad (6.4)$$

donde:

b_{eff} es el ancho eficaz del ala de la sección en T, véase los apartados 6.2.5(5) y 6.2.5(6)

l_{eff} es la longitud eficaz del ala de la sección en T, véase los apartados 6.2.5(5) y 6.2.5(6)

f_{jd} es la resistencia de cálculo a flexión de la unión, véase el apartado 6.2.5(7).

(4) Deberá suponerse que las fuerzas transmitidas a través de la sección en T se reparten uniformemente como se indica en la figura A26.6.4(a) y (b). La presión del área resultante del apoyo no deberá superar la resistencia de cálculo del apoyo f_{jd} y el ancho adicional del apoyo c, no debe superar:

$$c = t\left[f_y / \left(3 f_{jd} \gamma_{M0}\right)\right]^{0,5} \qquad (6.5)$$

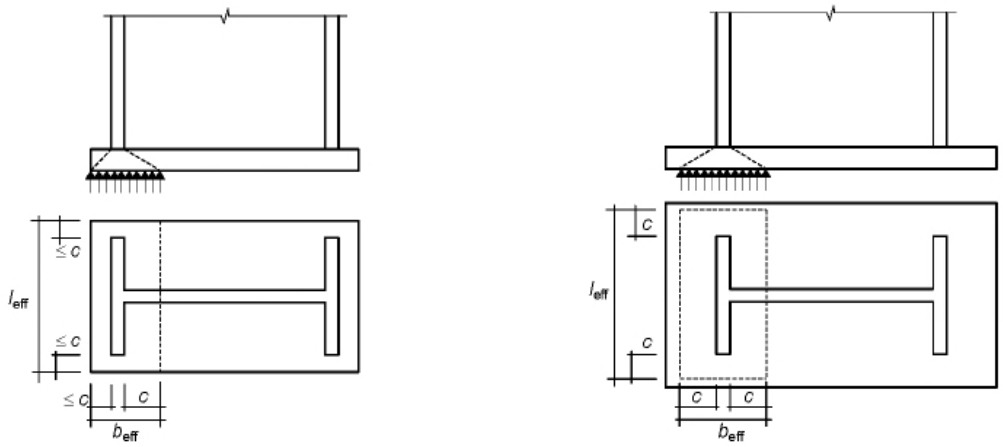
donde:

t es el espesor del ala de la sección en T

f_y es el límite elástico del ala de la sección en T.

(5) Cuando la proyección de una longitud física de un componente básico de la unión representada por la sección en T es menor que c, deberá tenerse en cuenta el área eficaz como se indica en la figura A26.6.4(a)

(6) Cuando la proyección de la longitud física de un componente básico de la unión representado por una sección en T supera el valor de c en cualquier lado, deberá despreciarse la parte de la proyección adicional más allá del ancho de c, véase la figura A26.6.4(b).



(a) Proyección corta (b) Proyección larga

Figura A26.6.4 Área de una sección en T equivalente comprimida

(7) La capacidad de carga de cálculo de la unión f_{jd} deberá determinarse a partir de:

$$f_{jd} = \beta_j F_{Rdu}/(b_{eff} l_{eff}) \quad (6.6)$$

donde:

β_j es el coeficiente de material de la unión de la cimentación, el cual debe tomarse como 2/3, siempre que la resistencia característica proporcionada por el mortero no sea menor de 0,2 veces la resistencia característica de la cimentación de hormigón y que el espesor del mortero no sea mayor de 0,2 veces el ancho más pequeño de la placa base de acero. En los casos donde el espesor del mortero sea mayor de 50 mm, la resistencia característica del mortero deberá ser al menos igual que la de la cimentación de hormigón.

F_{Rdu} es la carga puntual resistente de cálculo dada por los Anejos 19 a 21, donde A_{c0} se toma como $(b_{eff} l_{eff})$.

6.2.6 Resistencia de cálculo de los componentes básicos

6.2.6.1 Panel del alma de un pilar a cortante

(1) Los métodos de cálculo descritos en los apartados 6.2.6.1(2) a 6.2.6.1(4) son válidos siempre que la esbeltez del alma de un pilar cumpla con la condición $d_c/t_w \leq 69\varepsilon$.

(2) Para una unión por un único lado o para una unión doble en las que el canto de las vigas sea similar, la resistencia de cálculo a cortante plástico $V_{wp,Rd}$ del panel del alma sin rigidizar de un pilar, sometido a un cortante de cálculo $V_{wp,Ed}$, véase el apartado 5.3(3), deberá obtenerse empleando:

$$V_{wp,Rd} = \frac{0{,}9 f_{y,wc} A_{vc}}{\sqrt{3}\gamma_{M0}} \qquad (6.7)$$

donde:

A_{vc} es el área a cortante del pilar, véase el Anejo 22.

(3) La resistencia a cortante de cálculo puede incrementarse empleando rigidizadores o chapas de refuerzo en el alma.

(4) Cuando los rigidizadores transversales al alma se utilicen tanto en la zona comprimida como en la zona traccionada, la resistencia de cálculo a cortante plástico del panel del alma del pilar $V_{wp,Rd}$ puede incrementarse a $V_{wp,add,Rd}$ dado por:

$$V_{wp,add,Rd} = \frac{4M_{pl,fc,Rd}}{d_s} \quad \text{si} \quad V_{wp,add,Rd} \leq \frac{2M_{pl,fc,Rd}+2M_{pl,st,Rd}}{d_s} \qquad (6.8)$$

donde:

d_s es la distancia entre los ejes de los rigidizadores

$M_{pl,fc,Rd}$ es el momento plástico resistente de cálculo de un ala del pilar

$M_{pl,st,Rd}$ es el momento plástico resistente de cálculo de un rigidizador.

NOTA: En uniones soldadas, los rigidizadores transversales deberán alinearse con el ala correspondiente de la viga.

(5) Cuando se empleen rigidizadores diagonales en el alma, la resistencia plástica de cálculo a cortante del alma del pilar deberá determinarse de acuerdo con el Anejo 22.

(6) Cuando el alma de un pilar se refuerza añadiendo una chapa de refuerzo, véase la figura A26.6.5, el área a cortante A_{vc} puede incrementarse por $b_s t_{wc}$. Si se añade una chapa suplementaria más al otro lado del alma, no deberá incrementarse más el área resistente a cortante.

(7) Las chapas de refuerzo del alma también pueden emplearse para incrementar la rigidez al giro de la unión aumentando la rigidez del alma del pilar a cortante, a compresión o a tracción, véase el apartado 6.3.2(1).

(8) La calidad del acero de la chapa de refuerzo del alma deberá ser igual a la del pilar.

(9) El ancho b_s deberá ser tal que la chapa de refuerzo del alma se extienda al menos desde el pie del radio de la raíz de la soldadura.

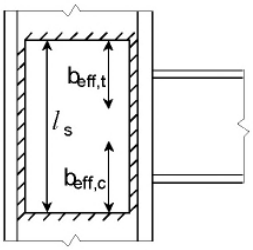
(10) La longitud ℓ_s deberá ser tal que la chapa de refuerzo del alma se extienda a través del ancho eficaz del alma en tracción y en compresión, véase la figura A26.6.5.

(11) El espesor t_s de la chapa de refuerzo del alma no deberá ser menor al espesor del alma del pilar t_{wc}.

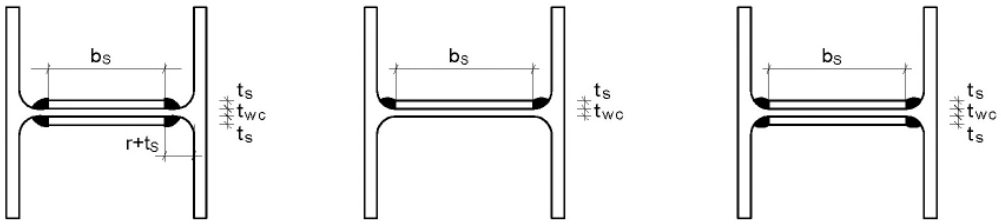
(12) Las soldaduras entre las chapas de refuerzo del alma y el perfil deberán calcularse para resistir las cargas de cálculo aplicadas.

(13) El ancho b_s de la chapa de refuerzo del alma deberá ser menor de $40\varepsilon t_s$.

(14) Las soldaduras discontinuas podrán emplearse en ambientes no corrosivos.



a) Disposición



NOTA Debería tenerse en cuenta la soldabilidad en la esquina.

b) Ejemplos de secciones transversales con soldaduras longitudinales

Figura A26.6.5 Ejemplos de chapas complementarias al alma

6.2.6.2 Alma de un pilar en compresión transversal

(1) La resistencia de cálculo del alma de un pilar sin rigidizar sometido a compresión transversal deberá determinarse a partir de:

$$F_{c,wc,Rd} = \frac{\omega k_{wc} b_{eff,c,wc} t_{wc} f_{y,wc}}{\gamma_{M0}} \quad \text{si} \quad F_{c,wc,Rd} \leq \frac{\omega k_{wc} \rho b_{eff,c,wc} t_{wc} f_{y,wc}}{\gamma_{M1}} \qquad (6.9)$$

donde:

ω es un coeficiente de reducción que tiene en cuenta los posibles efectos de interacción con los cortantes en el panel del alma del pilar de acuerdo con la tabla A26.6.3;

$b_{eff,c,wc}$ es el ancho eficaz del alma de un pilar en compresión:

- para uniones soldadas:

$$b_{eff,c,wc} = t_{fb} + 2\sqrt{2}a_b + 5(t_{fc} + s) \qquad (6.10)$$

a_c, r_c y a_b son como se indican en la figura A26.6.6

- para uniones atornilladas frontales:

$$\mathrm{b_{eff,c,wc}} = \mathrm{t_{fb}} + 2\sqrt{2}\mathrm{a_p} + 5(\mathrm{t_{fc}} + \mathrm{s}) + \mathrm{s_p} \qquad (6.11)$$

s_p es la longitud obtenida por difusión a 45º a través de la chapa frontal (al menos t_p y, siempre que la longitud de la chapa frontal sea suficiente, hasta $2t_p$).

- para uniones atornilladas con angulares de empalme:

$$\mathrm{b_{eff,c,wc}} = 2\mathrm{t_a} + 0{,}6\mathrm{r_a} + 5(\mathrm{t_{fc}} + \mathrm{s}) \qquad (6.12)$$

- para un pilar con sección en I o en H laminada: $s = \mathrm{r_c}$
- para un pilar con sección en I o en H soldada: $s = \sqrt{2}a_c$

ρ es el coeficiente reductor por abolladura de la chapa:

- si $\bar{\lambda}_p \leq 0{,}72$: $\rho = 1{,}0$ (6.13a)
- si $\bar{\lambda}_p > 0{,}72$: $\rho = (\bar{\lambda}_p - 0{,}2)/\bar{\lambda}_p^{\,2}$ (6.13b)

$\bar{\lambda}_p$ es la esbeltez de la chapa:

$$\bar{\lambda}_p = 0{,}932\sqrt{\frac{b_{eff,c,wc} d_{wc} f_{y,wc}}{E t_{wc}^2}} \quad (6.13c)$$

- para un pilar con sección en I o en H laminada:

$d_{wc} = h_c - 2(t_{fc} + r_c)$

- para un pilar con sección en I o en H soldada:

$d_{wc} = h_c - 2(t_{fc} + \sqrt{2}a_c)$

k_{wc} es un coeficiente de reducción dado en el apartado 6.2.6.2(2).

Tabla A26.6.3 Coeficiente de reducción ω por interacción con el cortante del pilar

Parámetro de transformación β	Coeficiente de reducción ω
$0 \leq \beta \leq 0{,}5$	$\omega = 1$
$0{,}5 < \beta < 1$	$\omega = \omega_1 + 2(1-\beta)(1-\omega_1)$
$\beta = 1$	$\omega = \omega_1$
$1 < \beta < 2$	$\omega = \omega_1 + (\beta - 1)(\omega_2 - \omega_1)$
$\beta = 2$	$\omega = \omega_2$
$\omega_1 = \frac{1}{\sqrt{1 + 1{,}3(b_{eff,c,wc} t_{wc}/A_{vc})^2}}$	$\omega_2 = \frac{1}{\sqrt{1 + 5{,}2(b_{eff,c,wc} t_{wc}/A_{vc})^2}}$
A_{vc} es el área a cortante del pilar, véase el apartado 6.2.6.1 β es el parámetro de transformación, véase el apartado 5.3(7).	

(2) Cuando la máxima tensión de compresión longitudinal $\sigma_{com,Ed}$ debida al axil y al momento flector en el pilar supera $0{,}7 f_{y,wc}$ en el alma (adyacente al radio de la raíz de una sección laminada o el pie de la soldadura de una sección soldada), estos efectos en la resistencia de cálculo del alma del pilar comprimido deberán considerarse multiplicando el valor $F_{c,wc,Rd}$ dado por la expresión (6.9) por un coeficiente reductor k_{wc} como sigue:

- si $\sigma_{com,Ed} \leq 0{,}7 f_{y,wc}$: $k_{wc} = 1$
- si $\sigma_{com,Ed} > 0{,}7 f_{y,wc}$: $k_{wc} = 1{,}7 - \sigma_{com,Ed}/f_{y,wc}$ (6.14)

NOTA: Generalmente el coeficiente de reducción k_{wc} es 1,0 y no se necesita reducción. Podrá omitirse en los cálculos previos cuando la tensión longitudinal sea desconocida y se compruebe posteriormente.

Unión soldada Unión con chapa frontal Unión con angulares de empalme

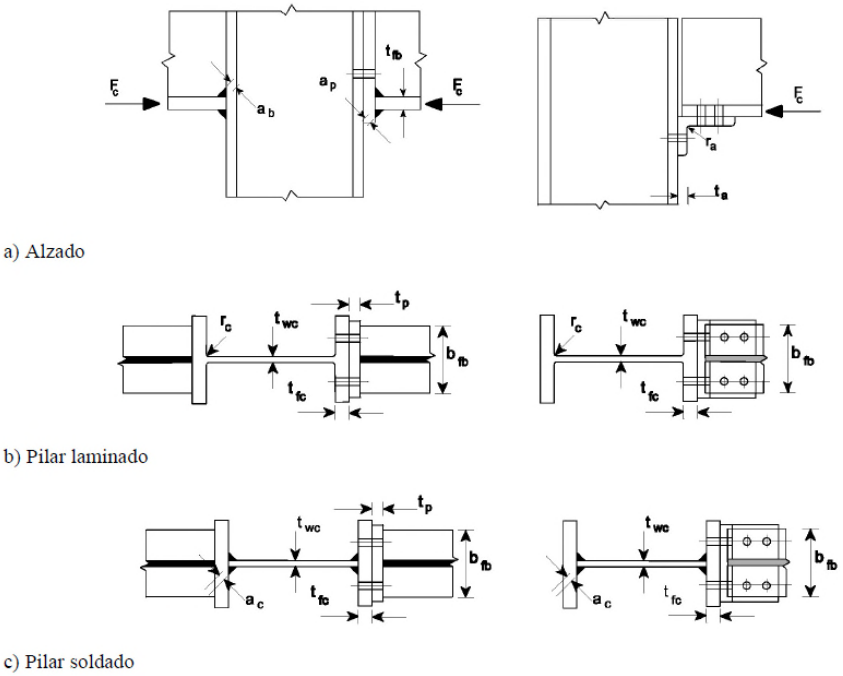


Figura A26.6.6 Compresión transversal en un pilar sin rigidizar

(3) El modo de pandeo por translación del alma de un pilar sin rigidizar en compresión, ilustrado en la figura A26.6.7, normalmente deberá evitarse mediante coacciones constructivas.

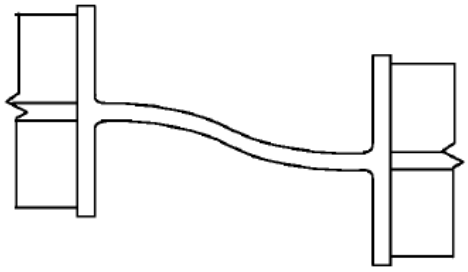


Figura A26.6.7 Modo de pandeo por translación de un alma sin rigidizar

(4) Pueden emplearse rigidizadores o chapas de refuerzo del alma para aumentar la resistencia de cálculo del alma de un pilar en compresión transversal.

(5) Pueden emplearse rigidizadores transversales o disposiciones adecuadas de rigidizadores diagonales (junto con, o como alternativa a los rigidizadores transversales) con el fin de aumentar la resistencia de cálculo del alma del pilar en compresión.

NOTA: En uniones soldadas, los rigidizadores transversales deberán alinearse con el ala correspondiente de la viga. En uniones atornilladas, el rigidizador en la zona de compresión deberá alinearse con el centro de compresión como se define en la figura A26.6.15.

(6) Cuando el alma de un pilar no rigidizado se refuerza mediante una chapa de alma suplementaria conforme con el apartado 6.2.6.1, el espesor eficaz del alma puede tomarse como $1{,}5t_{wc}$ si se añade una chapa de refuerzo del alma, o como $2{,}0t_{wc}$ si las chapas del alma se añaden a ambos lados de la misma. En el cálculo del coeficiente de reducción ω para los posibles efectos de la tensión tangencial por cortante, el área de cortante A_{vc} del alma puede incrementarse solo en la medida permitida al determinar su resistencia de cálculo a cortante de cálculo, véase el apartado 6.2.6.1(6).

6.2.6.3 Alma de un pilar a tracción transversal

(1) La resistencia de cálculo del alma de un pilar sin rigidizar sometido a tracción transversal deberá determinarse a partir de:

$$F_{t,wc,Rd} = \frac{\omega b_{eff,t,wc}\, t_{wc}\, f_{y,wc}}{\gamma_{M0}} \qquad (6.15)$$

donde:

ω es el coeficiente de reducción que tiene en cuenta la interacción del cortante del panel del alma del pilar.

(2) Para uniones soldadas, el ancho eficaz $b_{eff,t,wc}$ del alma de un pilar traccionado deberá obtenerse empleando:

$$b_{eff,t,wc} = t_{fp} + 2\sqrt{2}a_b + 5\left(t_{fc} + s\right) \qquad (6.16)$$

donde:

- para un pilar de sección en I o en H laminadas: $s = r_c$
- para un pilar de sección en I o en H soldadas: $s = \sqrt{2}a_c$

donde:

a_c y r_c se definen en la figura A26.6.8 y a_b en la figura A26.6.6.

(3) Para una unión atornillada, el ancho eficaz $b_{eff,t,wc}$ del alma de un pilar traccionado deberá tomarse igual a la longitud eficaz de la sección en T equivalente que representa el ala del pilar, véase el apartado 6.2.6.4.

(4) El coeficiente de reducción ω que tiene en cuenta los posibles efectos del cortante en el panel del alma del pilar deberá determinarse a partir de la tabla A26.6.3, empleando el valor de $b_{eff,t,wc}$ dado en los apartados 6.2.6.3(2) ó 6.2.6.3(3) según corresponda.

(5) Pueden emplearse rigidizadores o chapas de refuerzo del alma para aumentar la resistencia de cálculo a tracción del alma de un pilar.

(6) Pueden emplearse rigidizadores transversales y/o las disposiciones oportunas de los rigidizadores diagonales para aumentar la resistencia de cálculo del alma traccionada de un pilar.

NOTA: En uniones soldadas, los rigidizadores transversales están normalmente alineados con el ala correspondiente de la viga.

(7) Las soldaduras que unen los rigidizadores diagonales al ala del pilar deberán ser soldaduras de relleno con una pasada de sellado de tal forma que proporcionen un espesor de garganta igual al espesor del rigidizador.

(8) Cuando el alma sin rigidizar de un pilar se refuerza añadiendo chapas de refuerzo del alma conformes con el apartado 6.2.6.1, la resistencia a tracción de cálculo depende del espesor de garganta de la soldadura longitudinal que une la chapa complementaria al alma. El espesor eficaz del alma $t_{w,eff}$, deberá tomarse como sigue:

- cuando las soldaduras longitudinales son soldaduras a tope con penetración completa y con un espesor de garganta $a \geq t_s$, entonces:
  - para una chapa de refuerzo del alma: $t_{w,eff} = 1{,}5t_{wc}$ (6.17)
  - para chapas de refuerzo a ambos lados: $t_{w,eff} = 2{,}0t_{wc}$ (6.18)
- cuando las soldaduras longitudinales son soldaduras en ángulo con un espesor de garganta $a \geq t_s/\sqrt{2}$ entonces tanto para una chapa como para dos chapas de refuerzo del alma:

- para calidades de acero S235, S275 o S355: $t_{w,eff} = 1{,}4t_{wc}$ (6.19a)
- para calidades de acero S420 o S460: $t_{w,eff} = 1{,}3t_{wc}$ (6.19b)

(9) En el cálculo del coeficiente de reducción ω para los posibles efectos de interacción con cortante, el área de cortante A_{vc} de un alma de un pilar reforzada mediante la adición de chapas de refuerzo, puede incrementarse únicamente en la medida permitida para determinar su resistencia de cálculo a cortante, véase el apartado 6.2.6.1(6).

6.2.6.4 Alas de un pilar sometidas a flexión transversal

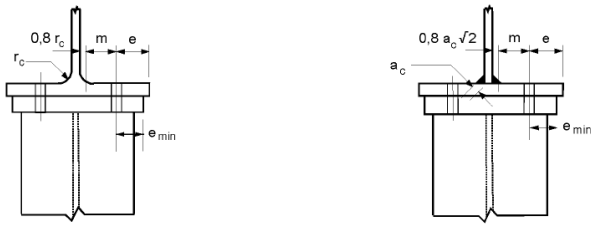
6.2.6.4.1 Ala sin rigidizar de un pilar, unión atornillada

(1) La resistencia de cálculo y el modo de fallo en un ala sin rigidizar de un pilar sometida a flexión transversal, junto con los tornillos traccionados correspondientes, deberá asimilarse a los del ala de una sección en T equivalente, véase el apartado 6.2.4, en los dos siguientes casos:

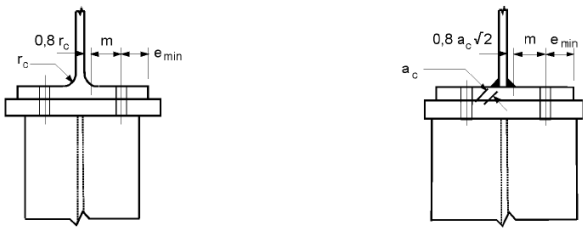
- se requiere que cada fila individual de tornillos resista la tracción;
- se requiere que cada grupo de filas de tornillos resista la tracción.

(2) Las dimensiones e_{min} y m a emplear en el apartado 6.2.4 deberán determinarse a partir de la figura A26.6.8.

(3) La longitud eficaz del ala de la sección en T equivalente, deberá determinarse para filas individuales de tornillos y un grupo de tornillos de acuerdo con el apartado 6.2.4.2, a partir de los valores dados para cada fila de tornillos en la tabla A26.6.4.



a) Chapa en extremo soldada más estrecha que el ala del pilar



b) Chapa en extremo soldada más ancha que el ala del pilar



c) Angulares de empalme en las alas

Figura A26.6.8 Definiciones de e, e_{min}, r_c y m

Tabla A26.6.4 Longitudes eficaces del ala sin rigidizar de un pilar

Posición de la fila de tornillos	Fila de tornillos considerada como individualmente		Fila de tornillos considerada como parte de un grupo de filas de tornillos	
	Patrón circular $\ell_{eff,cp}$	Patrón no circular $\ell_{eff,nc}$	Patrón circular $\ell_{eff,cp}$	Patrón no circular $\ell_{eff,nc}$
Filas de tornillos interiores	$2\pi m$	$4 + 1{,}25e$	$2p$	p
Filas de tornillos exteriores	El menor de: $2\pi m$ $\pi m + 2e_1$	El menor de: $4m + 1{,}25e$ $2m + 0{,}625e + e_1$	El menor de: $\pi m + p$ $2e_1 + p$	El menor de: $2m + 0{,}625e + 0{,}5p$ $e_1 + 0{,}5p$
Modo 1	$\ell_{eff,1} = \ell_{eff,nc}$ si $\ell_{eff,1} \leq \ell_{eff,cp}$		$\sum \ell_{\text{eff},1} = \sum \ell_{eff,nc}$ si $\sum \ell_{eff,1} \leq \sum \ell_{eff,cp}$	
Modo 2	$\ell_{eff,2} = \ell_{eff,nc}$		$\sum \ell_{eff,2} = \sum \ell_{eff,nc}$	

e_1 es la distancia desde el centro de los elementos de fijación de la fila exterior al extremo libre adyacente del ala del pilar, medida en la dirección del eje del perfil del pilar (véase la fila 1 y la 2 de la figura A26.6.9).

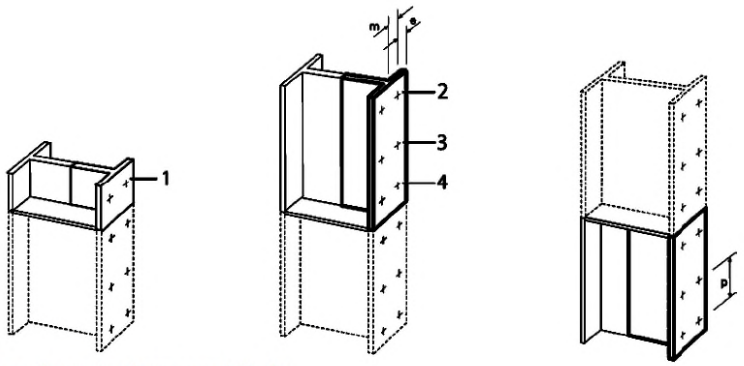
6.2.6.4.2 Ala rigidizada de un pilar, unión con chapas frontales atornilladas o con angulares de empalme en las alas

(1) Pueden emplearse rigidizadores transversales y/o disposiciones adecuadas de rigidizadores diagonales para aumentar la resistencia de cálculo del ala del pilar a flexión.

(2) La resistencia de cálculo y el modo de fallo del ala rigidizada de un pilar bajo flexión transversal, junto con tornillos traccionados asociados, deberán tomarse similares a los de un ala de una sección en T equivalente, véase el apartado 6.2.4, para:

- cada fila individual de tornillos necesaria para resistir la tracción;
- cada grupo de filas de tornillos necesarias para resistir la tracción.

(3) Los grupos de filas de tornillos en ambos lados de un rigidizador deberán modelizarse como un ala de una sección en T equivalente, véase la figura A26.6.9. La resistencia de cálculo y el modo de fallo deberán calcularse por separado para cada sección en T equivalente.



1 Fila de tornillos exterior adyacente a un rigidizador
2 Fila de tornillos exterior
3 Fila de tornillos interior
4 Fila de tornillos adyacente a un rigidizador

Figura A26.6.9 Modelización de un ala rigidizada de un pilar como secciones en T separadas

(4) Las dimensiones de e_{min} y m a emplear en 6.2.4 deberán determinarse a partir de la figura A26.6.8.

(5) Las longitudes eficaces del ala de una sección en T equivalente ℓ_{eff}, deberán determinarse de acuerdo con el apartado 6.2.4.2 empleando valores para cada fila de tornillos dados en la tabla A26.6.5. El valor de α a emplear en la tabla A26.6.5 deberá obtenerse a partir de la figura A26.6.11.

(6) Los rigidizadores deben cumplir con los requisitos especificados en el apartado 6.2.6.1.

Tabla A26.6.5 Longitud eficaz para alas rigidizadas de un pilar

Posición de la fila de tornillos	Fila de tornillos considerada como individualmente		Fila de tornillos considerada como parte de un grupo de filas de tornillos	
	Patrón circular $\ell_{eff,cp}$	Patrón no circular $\ell_{eff,nc}$	Patrón circular $\ell_{eff,cp}$	Patrón no circular $\ell_{eff,nc}$
Filas de tornillos en extremos adyacentes a un rigidizador	$2\pi m$	αm	$\pi m + p$	$0{,}5p + \alpha m - (2m + 0{,}625e)$
Otras filas de tornillos interiores	$2\pi m$	$4m + 1{,}25e$	$2p$	p
Otras filas de tornillos en los extremos	El menor de: $2\pi m$ $\pi m + 2e_1$	El menor de: $4m + 1{,}25e$ $2m + 0{,}625e + e_1$	El menor de: $\pi m + p$ $2e_1 + p$	El menor de: $2m + 0{,}625e + 0{,}5p$ $e_1 + 0{,}5p$
Otras filas de tornillos en extremos adyacentes a un rigidizador	El menor de: $2\pi m$ $\pi m + 2e_1$	$e_1 + \alpha m - (2m + 0{,}625e)$	no relevante	no relevante
Modo 1	$\ell_{eff,1} = \ell_{eff,nc}$ si $\ell_{eff,1} \leq \ell_{eff,cp}$		$\sum \ell_{\text{eff},1} = \sum \ell_{eff,nc}$ si $\sum \ell_{eff,1} \leq \sum \ell_{eff,cp}$	
Modo 2	$\ell_{eff,2} = \ell_{eff,nc}$		$\sum \ell_{eff,2} = \sum \ell_{eff,nc}$	
α deberá obtenerse a partir de la figura A26.6.11.				
e_1 es la distancia desde el centro de los elementos de fijación de la fila exterior al rigidizador adyacente del ala del pilar, medida en la dirección del eje del perfil del pilar (véase la fila 1 y la 4 de la figura A26.6.9).				

6.2.6.4.3 Ala sin rigidizar de un pilar, unión soldada

(1) En una unión soldada, la resistencia de cálculo $F_{fc,Rd}$ del ala sin rigidizar de un pilar sometido a flexión debida a una tracción o compresión procedente del ala de una viga, deberá obtenerse empleando:

$$F_{fc,Rd} = b_{eff,b,fc}\ t_{fb} f_{\gamma,fb} / \gamma_{M0} \qquad (6.20)$$

donde:

$b_{eff,b,fc}$ es el ancho efectivo de chapa b_{eff} definido en el apartado 4.10 donde el ala de una viga se considera como una chapa.

NOTA: Véanse también los requisitos especificados en el apartado 4.10.

6.2.6.5 Chapas frontales sometidas a flexión

(1) La resistencia de cálculo y el modo de fallo de una chapa frontal de un elemento sometido a flexión, junto con los tornillos asociados en tracción, deberán asimilarse a la del ala de una sección en T equivalente, véase el apartado 6.2.4, para:

- cada fila individual de tornillos necesaria para resistir la tracción;
- cada grupo de filas de tornillos necesarias para resistir la tracción.

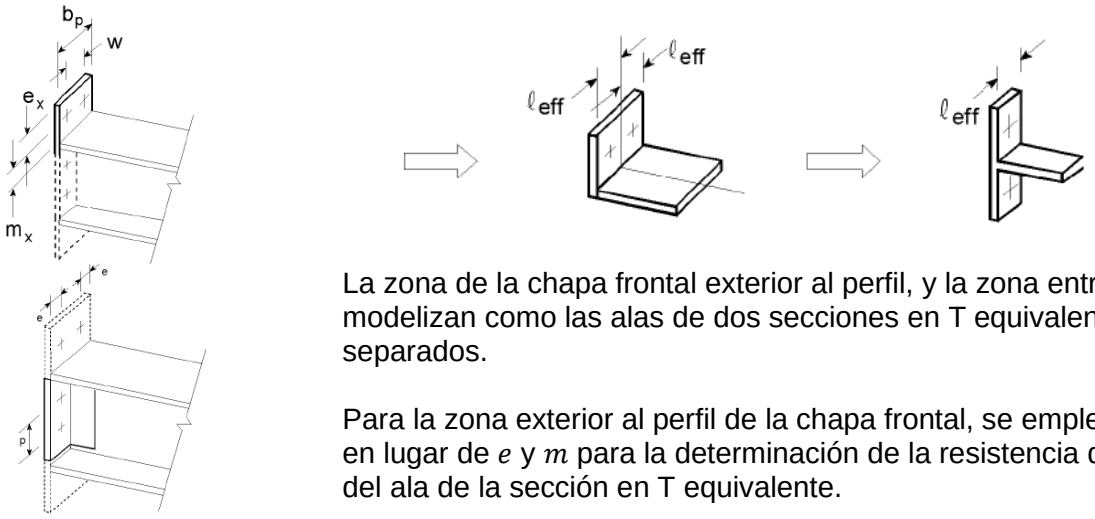
(2) Los grupos de filas de tornillos a ambos lados de cualquier rigidizador unidos a una chapa frontal, deberán tratarse como secciones en T equivalente separadamente. En la parte de la chapa exterior a las alas del perfil, la fila de tornillos exterior al ala deberá también tratarse como una sección

en T equivalente, véase la figura A26.6.10. La resistencia de cálculo y el modo de fallo deberán determinarse por separado para cada sección en T equivalente.

(3) La dimensión e_{min} requerida para el empleo en el apartado 6.2.4 deberá obtenerse a partir de la figura A26.6.8 para la parte de la chapa frontal localizada entre las alas del perfil. Para la parte de la chapa frontal exterior a las alas del perfil e_{min} deberá tomarse igual a e_x, véase la figura A26.6.10.

(4) La longitud eficaz del ala de la sección en T equivalente ℓ_{eff}, deberá determinarse de acuerdo con el apartado 6.2.4.2 empleando valores para cada fila de tornillos dados en la tabla A26.6.6.

(5) Los valores de m y m_x que se emplean en la tabla A26.6.6 deberán obtenerse a partir de la figura A26.6.10.



La zona de la chapa frontal exterior al perfil, y la zona entre alas, se modelizan como las alas de dos secciones en T equivalentes separados.

Para la zona exterior al perfil de la chapa frontal, se emplea e_x y m_x en lugar de e y m para la determinación de la resistencia de cálculo del ala de la sección en T equivalente.

Figura A26.6.10 Modelización de una chapa frontal distribuida como secciones en T separados

Tabla A26.6.6 Longitudes efectivas para una chapa frontal

Posición de la fila de tornillos	Fila de tornillos considerada individualmente		Fila de tornillos considerada como parte de un grupo de filas de tornillos	
	Patrón circular $\ell_{eff,cp}$	Patrón no circular $\ell_{eff,nc}$	Patrón circular $\ell_{eff,cp}$	Patrón no circular $\ell_{eff,nc}$
Fila de tornillos exterior en al ala traccionada de una viga	El menor de: $2\pi m_x$ $\pi m_x + w$ $\pi m_x + 2e$	El menor de: $4m_x + 1{,}25e_x$ $e + 2m_x + 0{,}625e_x$ $0{,}5b_p$ $0{,}5w + 2m_x + 0{,}625e_x$	-	-
Primera fila de tornillos bajo el ala traccionada de una viga	$2\pi m$	αm	$\pi m + p$	$0{,}5p + \alpha m - (2m + 0{,}625e)$
Otras filas de tornillos interiores	$2\pi m$	$4m + 1{,}25e$	$2p$	p
Otras filas de tornillos exteriores	$2\pi m$	$4m + 1{,}25e$	$\pi m + p$	$2m + 0{,}625e + 0{,}5p$
Modo 1	$\ell_{eff,1} = \ell_{eff,nc}$ si $\ell_{eff,1} \leq \ell_{eff,cp}$		$\sum \ell_{\text{eff},1} = \sum \ell_{eff,nc}$ si $\sum \ell_{eff,1} \leq \sum \ell_{eff,cp}$	
Modo 2	$\ell_{eff,2} = \ell_{eff,nc}$		$\sum \ell_{eff,2} = \sum \ell_{eff,nc}$	
α deberá obtenerse a partir de la figura A26.6.11.				

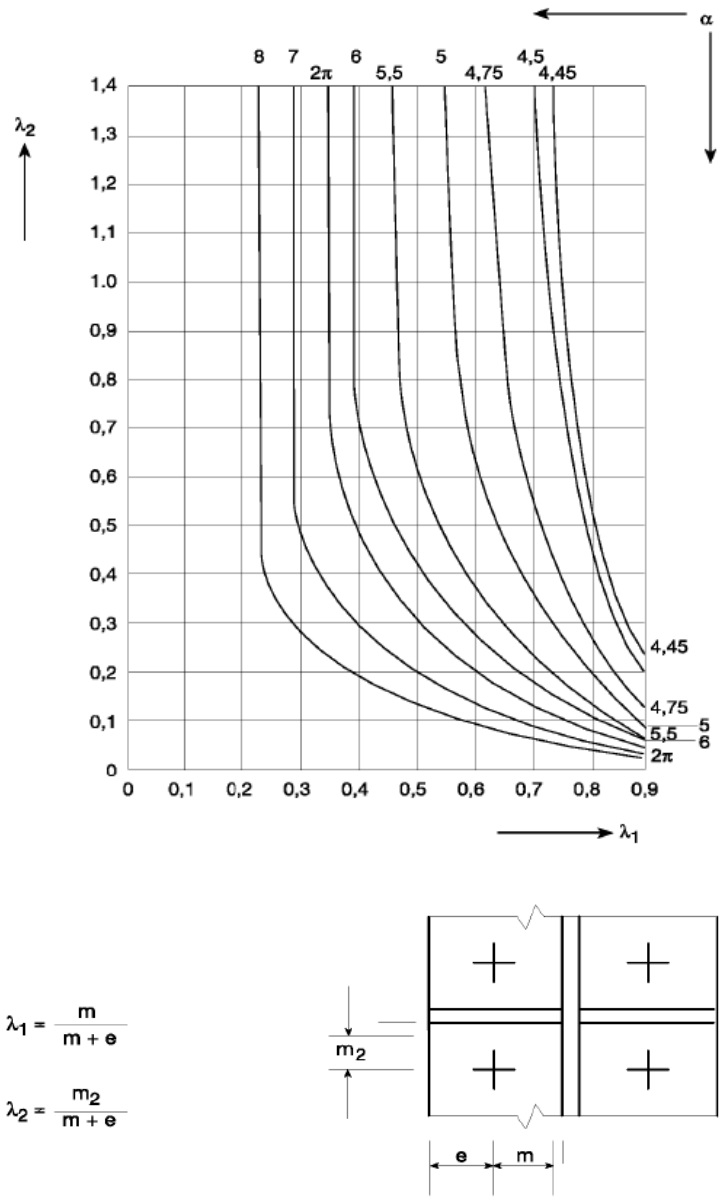


Figura A26.6.11 Valores de α para alas rigidizadas de un pilar y chapas frontales

6.2.6.6 Angulares de empalme de alas sometida a flexión

(1) La resistencia de cálculo y el modo de fallo de un angular de empalme atornillado a un ala sometida a flexión, junto con la de los tornillos asociados sometidos también a tracción, deberá asimilarse a las de un ala en una sección en T equivalente, véase el apartado 6.2.4.

(2) La longitud eficaz ℓ_{eff} del ala de la sección en T equivalente deberá tomarse como $0{,}5b_a$, donde b_a es la longitud del angular de empalme, véase la figura A26.6.12.

(3) Las dimensiones e_{min} y m a emplear en 6.2.4 deberán determinarse a partir de la figura A26.6.13.

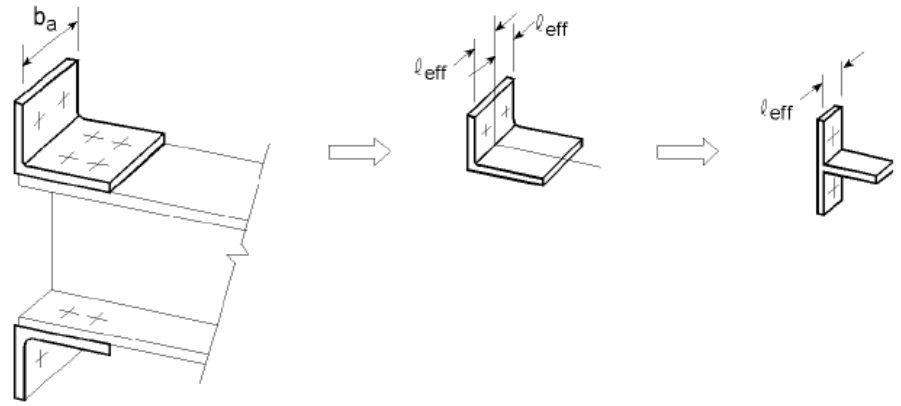
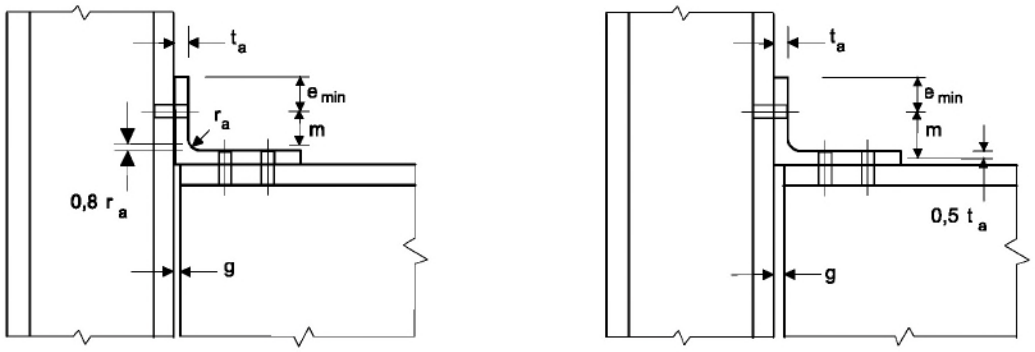


Figura A26.6.12 Longitud eficaz ℓ_{eff} de un angular de empalme en un ala



a) Separación $g \leq 0{,}4\ t_a$ b) Separación $g > 0{,}4\ t_a$

Notas:

- El número de filas de tornillos que unen el angular de empalme al ala del pilar, se limita a una.
- El número de filas de tornillos que unen el angular de empalme al ala de la viga, no está limitada.
- La longitud b_a del angular de empalme puede ser diferente del ancho del ala de la viga y del ancho del ala del pilar.

Figura A26.6.13 Dimensiones de e_{min} y m para angulares de empalme atornilladas

6.2.6.7 Ala y alma de una viga comprimidas

(1) La resultante de la resistencia de cálculo a compresión del ala de una viga y la zona adyacente comprimida del alma de dicha viga, puede suponerse que actúa al nivel del centro de la compresión, véase el apartado 6.2.7. La resistencia a compresión de la sección formada por el ala y el alma de una viga viene dada por la siguiente expresión:

$$F_{c,fb,Rd} = M_{c,Rd}/\left(h - t_{fb}\right) \qquad (6.21)$$

donde:

h es el canto de la viga conectada

$M_{c,Rd}$ es el momento resistente de cálculo de la sección de la viga, reducida en caso de ser necesario. Para tener en cuenta el cortante, véase el Anejo 22 del Código Estructural. Para vigas acarteladas $M_{c,Rd}$ puede calcularse despreciando el ala intermedia

t_{fb} es el espesor del ala de la viga conectada.

Si el canto de la viga incluyendo la cartela es mayor de 600 mm, la contribución del alma de la viga a la resistencia a compresión deberá limitarse al 20%.

(2) Si la viga se refuerza con cartelas, estas deberán disponerse de forma que:

- la calidad de acero de la cartela deberá coincidir con el del elemento;
- el tamaño del ala y el espesor del alma de la cartela no deberá ser menor que la del elemento;
- el ángulo del ala de la cartela respecto al ala del elemento no deberá ser mayor de 45º;
- la longitud del apoyo rígido s_s, deberá tomarse igual al espesor del ala de la cartela paralela a la viga.

(3) Si la viga se refuerza con cartelas, la resistencia de cálculo a compresión del alma de la viga, deberá determinarse de acuerdo con el apartado 6.2.6.2.

6.2.6.8 Alma de una viga traccionada

(1) En una unión atornillada a una chapa frontal, la resistencia de cálculo a tracción del alma de la viga deberá obtenerse a partir de:

$$F_{t,wb,Rd} = b_{eff,t,wb} t_{wb} f_{y,wb} / \gamma_{M0} \qquad (6.22)$$

(2) El ancho eficaz $b_{eff,t,wb}$ del alma de la viga traccionada deberá tomarse igual a la longitud eficaz de la sección en T equivalente correspondiente a la chapa frontal flexionada, obtenido del apartado 6.2.6.5 para una fila individual de tornillos o un grupo de tornillos.

6.2.6.9 Hormigón sometido a compresión incluyendo el mortero

(1) La capacidad resistente de la unión entre una placa base y el soporte de hormigón deberá determinarse teniendo en cuenta las propiedades del material y las dimensiones tanto del mortero como del soporte de hormigón. El apoyo de hormigón deberá dimensionarse de acuerdo con los Anejos 19 y 21.

(2) La capacidad resistente de un hormigón sometido a compresión, incluyendo mortero, junto con la placa base asociada a flexión, $F_{c,pl,Rd}$ deberá tomarse como similar a la de una sección en T equivalente, véase el apartado 6.2.5.

6.2.6.10 Placa base a flexión sometida a compresión

(1) La resistencia de cálculo $F_{c,pl,Rd}$, de la placa base en flexión sometida a compresión, junto con la losa de hormigón sobre la que se sitúa la base del pilar, deberá tomarse similar a la de una sección en T equivalente, véase el apartado 6.2.5.

6.2.6.11 Placa base en flexión sometida a tracción.

(1) La resistencia de cálculo y el modo de fallo de una placa base en flexión sometida a tracción, junto con los pernos de anclaje sometidos a tracción $F_{c,pl,Rd}$, puede determinarse empleando las reglas descritas en el apartado 6.2.6.5.

(2) En el caso de desarrollarse fuerzas de palanca en una placa base, no deberán considerarse, cuando se determine el espesor de la placa base. Las fuerzas de palanca se deberán considerar al calcular los pernos de anclaje.

6.2.6.12 Perno de anclaje traccionado

(1) Los pernos de anclaje deberán calcularse para resistir los efectos de las cargas de cálculo. Deberán proporcionar la resistencia necesaria para absorber los esfuerzos de tracción y flexión.

(2) Cuando se calculen las tracciones en los pernos de anclaje debidas a esfuerzos de flexión, el brazo mecánico no deberá ser mayor que la distancia entre el centro de gravedad del área de apoyo en el lado comprimido y el centro de gravedad del grupo de pernos en el lado traccionado.

NOTA: Las tolerancias en la posición de los pernos de anclaje pueden influir.

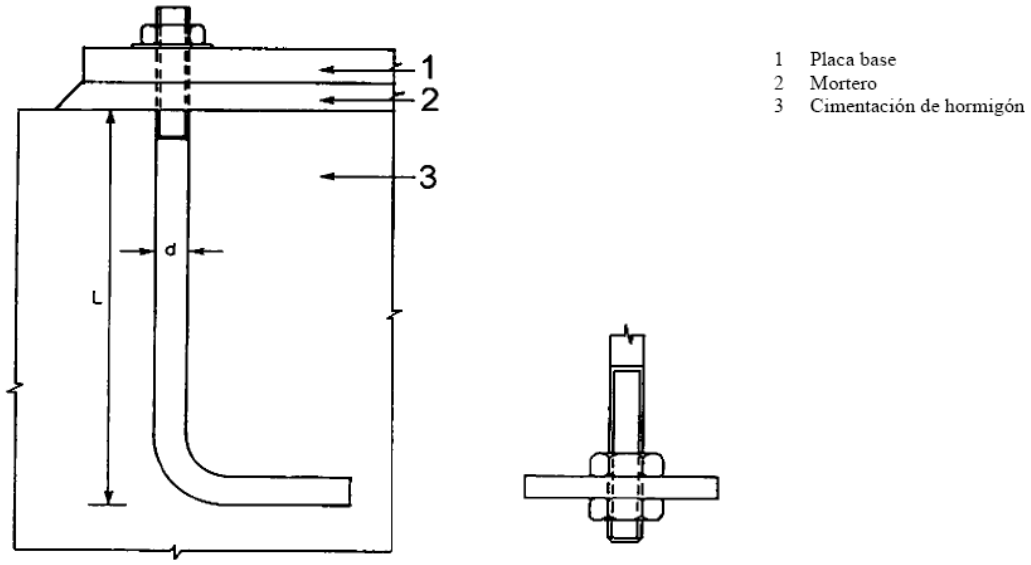
(3) La resistencia de cálculo de los pernos de anclaje deberá tomarse como la menor entre la resistencia de cálculo a tracción de un perno de anclaje, véase el apartado 3.6, y la resistencia de cálculo de la unión entre el hormigón y el perno de anclaje de acuerdo con el Anejo 19.

(4) Deberá emplearse uno de los siguientes métodos para asegurar los pernos de anclaje a la cimentación:

- Una patilla (figura A26.6.14(a)),
- una arandela plana (figura A26.6.14(b)),
- algún otro elemento de distribución de las cargas embebido en el hormigón,
- alguna otra fijación que hayan sido adecuadamente ensayada y aprobada.

(5) Cuando los pernos dispongan de una patilla, la longitud de anclaje deberá ser tal que evite los fallos por el anclaje antes de la plastificación del perno. La longitud de anclaje deberá calcularse de acuerdo con el Anejo 19. Este tipo de anclaje no deberá emplearse para pernos con un límite elástico f_{yb} mayor de 300 N/mm^2.

(6) Cuando los pernos de anclaje se disponen con chapa tipo arandela u otros elementos de distribución de la carga, no deberá tenerse en cuenta la contribución de la adherencia de la barra. La totalidad de la fuerza deberá transferirse a través del dispositivo de distribución de la carga.



1 Placa base
2 Mortero
3 Cimentación de hormigón

(a) Patilla (b) Chapa tipo arandela

Figura A26.6.14 Pernos de anclaje

6.2.7 Momento resistente de las uniones viga-pilar y empalmes

6.2.7.1 Generalidades

(1) El momento de cálculo aplicado $M_{j,Ed}$, deberá cumplir:

$$\frac{M_{j,Ed}}{M_{j,Rd}} \leq 1{,}0 \qquad (6.23)$$

(2) Los métodos dados en el apartado 6.2.7 para determinar el momento resistente de la unión $M_{j,Rd}$, no tienen en cuenta ningún axil coexistente N_{Ed} en el elemento conectado. No deberán emplearse estos métodos en caso de que los axiles en el elemento conectado superen el 5% de la resistencia plástica de cálculo $N_{p\ell,Rd}$ de su sección transversal.

(3) Si el axil N_{Ed} en la viga conectada supera el 5% de la resistencia de cálculo $N_{pl,Rd}$, puede emplearse el siguiente método conservador:

$$\frac{\mathrm{M_{j,Ed}}}{\mathrm{M_{j,Rd}}} + \frac{\mathrm{N_{j,Ed}}}{\mathrm{N_{j,Rd}}} \leq 1{,}0 \qquad (6.24)$$

donde:

$M_{j,Rd}$ es el momento resistente de la unión, suponiendo que no haya axil

$N_{j,Rd}$ es el axil resistente de la unión, suponiendo que no hay momentos aplicados.

(4) El momento resistente de una unión soldada deberá determinarse como se indica en la igura A26.6.15(a).

(5) El momento resistente de una unión atornillada con chapa frontal que tenga únicamente una fila de tornillos traccionada (o en el que únicamente se considera una fila de tornillos traccionada, véase el apartado 6.2.3(6)) deberá determinarse como se indica en la figura A26.6.15(c).

(6) El momento resistente de una unión atornillada con angulares de empalme en las alas, deberá determinarse como se indica en la figura A26.6.15(b).

(7) El momento resistente de una chapa frontal atornillada con más de una fila de tornillos traccionada, deberá determinarse como se especifica en el apartado 6.2.7.2.

(8) Como simplificación conservadora, el momento resistente de una unión mediante chapa frontal con únicamente dos filas de tornillos sometidos a tracción puede simplificarse como se indica en la figura A26.6.16, siempre que la resistencia de cálculo total F_{Rd} no supere $3{,}8\ F_{t,Rd}$ donde $F_{t,Rd}$ se da en la tabla A26.6.2. En este caso, la totalidad del área a tracción de la chapa frontal, puede tratarse como un único componente básico. Siempre que las dos filas de tornillos sean aproximadamente equidistantes a ambos lados del ala de la viga, esta parte de la chapa frontal puede tratarse como si fuera una sección en T para determinar la fuerza de la fila de tornillos $F_{1,Rd}$. El valor de $F_{2,Rd}$ podrá considerarse en este caso igual a $F_{1,Rd}$, y así F_{Rd} puede tomarse igual a $2F_{1,Rd}$.

(9) El centro de la compresión deberá tomarse como el centro del bloque comprimido. Como simplificación, el centro de compresión puede tomarse como el indicado en la figura A26.6.15.

(10) Un empalme en un elemento o una parte sometida a tracción deberá dimensionarse para transmitir todos los esfuerzos a los que esté sometido el elemento o partes en ese punto.

(11) Los empalmes deberán calcularse para mantener los elementos conectados en su posición. No se puede contar con las fuerzas de rozamiento entre las superficies de contacto para mantener los elementos conectados en su posición.

(12) Siempre que sea posible, los elementos deberán disponerse de forma que el eje baricéntrico de cualquier material del empalme coincida con el eje baricéntrico del elemento. Si hay excentricidad, deberán tenerse en cuenta las fuerzas resultantes.

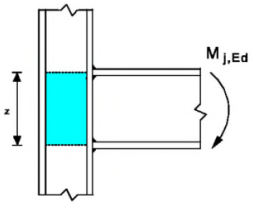
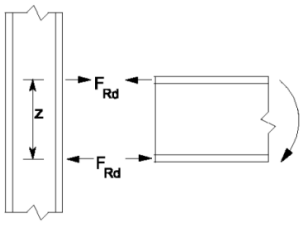
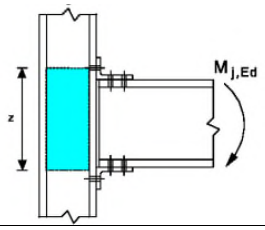
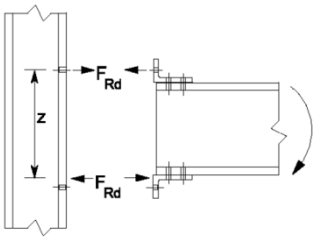
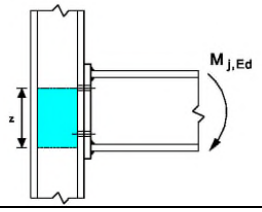
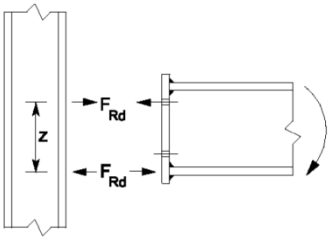
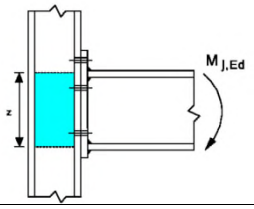
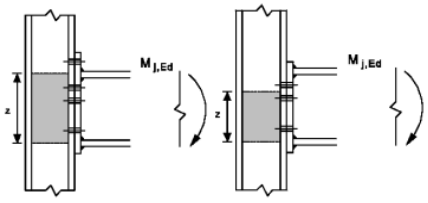
Tipo de unión	Centro de compresión	Brazo mecánico	Distribución de las cargas
a) Uniones soldadas 	En el canto del ala comprimida	$z = h - t_{fb}$ h es el canto de la viga conectada t_{fb} es el espesor del ala de la viga	
b) Uniones atornilladas con angulares de empalme en las alas 	En el centro del ala del angular sobre el ala comprimida	La distancia desde el centro de compresión a la fila de tornillos traccionada	
c) Unión atornillada con chapa frontal y una única fila de tornillos activa traccionada 	En el centro del ala comprimida	La distancia desde el centro de compresión a la fila de tornillos traccionada	
d) Unión atornillada en chapa frontal con un canto superior al de la viga con solo dos filas de tornillos activas traccionadas 	En el centro del ala comprimida	De forma conservadora, z puede tomarse como la distancia del centro comprimido al punto medio entre las dos filas de tornillos	
e) Otras uniones atornilladas con chapa frontal con dos o más filas de tornillos traccionadas 	En el centro del ala comprimida	Puede obtenerse un valor aproxi-mado como la distancia desde el centro de compresión hasta el punto medio entre las dos filas de tor-nillos tracciо-nadas más alejadas	Puede obtenerse un valor más preciso tomando el brazo mecánico z igual a z_{eq} obtenido empleando el método dado en 6.3.3.1.

Figura A26.6.1 Centro de compresión, brazo mecánico z y distribución de las fuerzas para obtener el momento resistente $M_{j,Rd}$

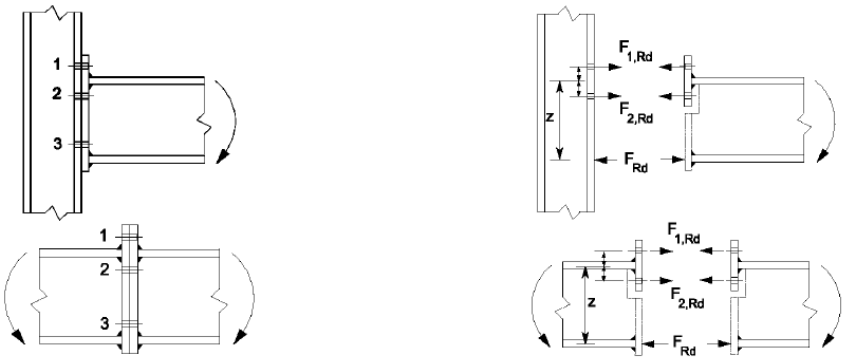


Figura A26.6.16 Modelos simplificados para uniones atornilladas con chapas frontales con un canto mayor que el de la viga

(13) Cuando los elementos de la unión no estén preparados para transmitir esfuerzos por contacto directo, deberá disponerse material de empalme para transmitir los esfuerzos de los elementos en la sección solapada, incluyendo los momentos debidos a la excentricidad aplicada, las imperfecciones iniciales y las deformaciones de segundo orden. Los esfuerzos deberán tomarse no menores a un momento igual al 25% del momento último de la sección más débil sobre ambos ejes y a un cortante igual al 2,5% del axil último de la sección más débil en la dirección de ambos ejes.

(14) Cuando los elementos estén preparados para transmitir esfuerzos por contacto directo, deberá disponerse material de solape para transmitir, al menos, el 25% de la máxima fuerza de compresión en el pilar.

(15) La alineación de los extremos en contacto de los elementos sometidos a compresión deberá mantenerse mediante cubrejuntas u otros medios. El material de empalme y sus elementos de fijación deberán calcularse para soportar cargas en los extremos en contacto, actuando en cualquier dirección perpendicular al eje del elemento. En el cálculo de los empalmes, también deberán tenerse en cuenta los efectos de segundo orden.

(16) Los empalmes en elementos sometidos a flexión deberán cumplir lo siguiente:

a) Las alas comprimidas deberán considerarse como elementos sometidos a compresión;

b) Las alas traccionadas deberán considerarse como elementos sometidos a tracción;

c) Las partes sometidas a cortante deberán calcularse para transmitir los siguientes efectos actuando a la vez:

- el cortante en el empalme;
- el momento resultante de la excentricidad, si la hubiera, de los centros de gravedad de los grupos de elementos de fijación a cada lado del empalme;
- la parte del momento, deformación o giros soportados por el alma u otra parte de la pieza, independientemente de cualquier transmisión de tensiones a partes adyacentes supuesta en el cálculo del elemento o parte.

6.2.7.2 Uniones viga-pilar atornilladas con conexiones de chapas frontal atornilladas

(1) El momento resistente $M_{j,Rd}$ de una unión atornillada viga-pilar con chapa frontal atornillada puede determinarse a partir de:

$$M_{j,Rd} = \sum_r h_r F_{tr,Rd} \qquad (6.25)$$

donde:

$F_{tr,Rd}$ es la resistencia de cálculo a tracción eficaz de una fila de tornillos, r

h_r es la distancia de la fila de tornillos r al centro de compresión

r es el número de filas de tornillos.

NOTA: En una unión atornillada con más de una fila de tornillos traccionada, las filas de tornillos se enumeran empezando por la fila más lejana al centro de compresión.

(2) Para conexiones con chapa frontal atornilladas, deberá suponerse que el centro de compresión está alineado con el eje del ala comprimida conectada.

(3) La resistencia a tracción eficaz $F_{tr,Rd}$ para cada fila de tornillos deberá determinarse por orden, empezando desde la fila 1 (la fila de tornillos más alejada del centro de compresión) continuando con la fila 2, etc.

(4) Para la determinación de la resistencia a tracción eficaz $F_{tr,Rd}$ para una fila de tornillos r, deberá despreciarse la resistencia de cálculo a tracción eficaz de todas las demás filas de tornillos más cercanas al centro de compresión.

(5) La resistencia a tracción eficaz $F_{tr,Rd}$ de una fila de tornillos r, deberá tomarse como su resistencia de cálculo a tracción $F_{t,Rd}$ como fila individual de tornillos determinada a partir del apartado 6.2.7.2 (6) y reducida, en caso de ser necesario, para satisfacer las condiciones especificadas en los apartados 6.2.7.2(7), (8) y (9).

(6) La resistencia a tracción eficaz $F_{tr,Rd}$ de una fila de tornillos r, tomada como una fila de tornillos individual, deberá tomarse como el menor valor de la resistencia a tracción para una fila de tornillos individual de los siguientes componentes básicos:

- Alma del pilar a tracción $F_{t,wc,Rd}$ véase el apartado 6.2.6.3;
- Ala del pilar a flexión $F_{t,fc,Rd}$ véase el apartado 6.2.6.4;
- Chapa frontal en flexión $F_{t,ep,Rd}$ véase el apartado 6.2.6.5;
- Alma de la viga a tracción $F_{t,wb,Rd}$ véase el apartado 6.2.6.8.

(7) La resistencia a tracción eficaz $F_{tr,Rd}$ de la fila de tornillos r, deberá, si fuera necesario, reducirse por debajo del valor de $F_{t,Rd}$ para asegurar que, cuando se tienen en cuenta todas las filas de tornillos hasta una fila de tornillos r, inclusive, se cumplan las siguientes condiciones:

- La resistencia de cálculo total $\sum F_{t,Rd} \leq V_{wp,Rd}/\beta$ con β según el apartado 5.3(7), véase el apartado 6.2.6.1;
- La resistencia de cálculo total $\sum F_{t,Rd}$ no supera el menor de:
  - La resistencia de cálculo del alma del pilar a compresión $F_{c,wc,Rd}$, véase el apartado 6.2.6.2;
  - La resistencia de cálculo del ala y el alma de la viga sometida a compresión $F_{c,fb,Rd}$, véase el apartado 6.2.6.7.

(8) La resistencia de cálculo a tracción eficaz $F_{tr,Rd}$ de la fila de tornillos r deberá, si fuese necesario, reducirse por debajo del valor de $F_{t,Rd}$, para asegurar que la suma de las resistencias de cálculo de las filas de tornillos hasta una fila de tornillos r, ésta incluida, que forma parte del mismo grupo de filas de tornillos, no supera la resistencia de cálculo de dicho grupo en conjunto. Esto deberá comprobarse para los siguientes componentes básicos:

- Alma del pilar a tracción $F_{t,wc,Rd}$ véase el apartado 6.2.6.3;
- Ala del pilar a flexión $F_{t,fc,Rd}$ véase el apartado 6.2.6.4;

- Chapa frontal en flexión $F_{t,ep,Rd}$ véase el apartado 6.2.6.5;
- Alma de la viga a tracción $F_{t,wb,Rd}$ véase el apartado 6.2.6.8.

(9) Cuando la resistencia de cálculo a tracción eficaz $F_{tx,Rd}$ de una de las filas de tornillos previas x sea mayor que $1{,}9F_{t,Rd}$, entonces deberá reducirse la resistencia de cálculo a tracción eficaz $F_{tr,Rd}$ para las filas de tornillos r, si fuese necesario, con el fin de asegurar que:

$$F_{tr,Rd} \leq F_{tx,Rd}\, h_r / h_x \qquad (6.26)$$

donde:

h_x es la distancia desde la fila de tornillos x al centro de compresión

x es la fila de tornillos más alejada al centro de compresión que tenga una resistencia de cálculo a tracción mayor que $1{,}9F_{t,Rd}$.

(10) El método descrito del apartado 6.2.7.2(1) al 6.2.7.2(9) puede aplicarse para un empalme atornillado de una viga con chapas frontales soldadas, véase la figura A26.6.17, omitiendo los aspectos relativos al pilar.

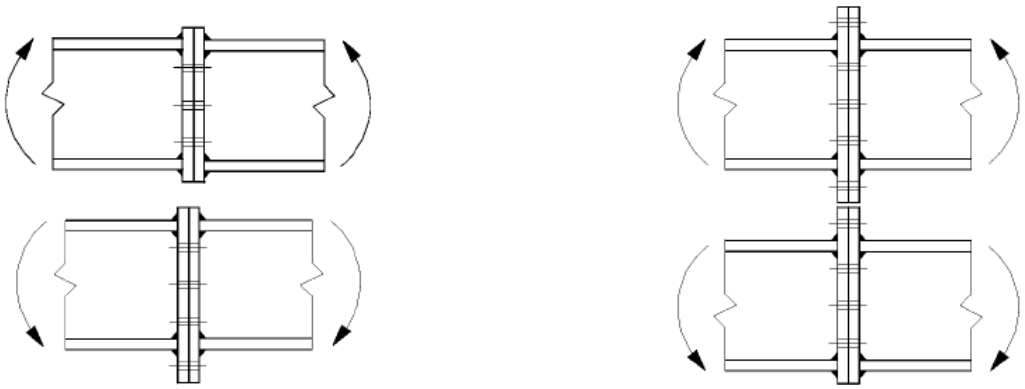


Figura A26.6.17 Empalmes atornillados en vigas con chapas frontales soldadas

6.2.8 Resistencia de cálculo de bases de pilares con placas base

6.2.8.1 Generalidades

(1) Las bases de los pilares deberán tener un tamaño, rigidez y resistencia suficientes para transmitir los axiles, momentos flectores y esfuerzos cortantes del pilar a sus cimentaciones u otro tipo de apoyos, sin superar la capacidad portante de dichos apoyos.

(2) La resistencia de cálculo entre la placa base y su apoyo puede determinarse considerando una distribución uniforme de compresión sobre el área de apoyo. Para cimentaciones de hormigón, las tensiones en el apoyo no deberán superar la capacidad resistente de cálculo f_{jd}, dada en el apartado 6.2.5(7).

(3) Para una base de un pilar sometida a flexión compuesta, los esfuerzos entre la placa base y su apoyo pueden tomar una de las siguientes distribuciones dependiendo de la magnitud relativa del axil y el momento flector aplicados:

- En caso de que la fuerza de compresión sea dominante, puede comprimirse la zona bajo ambas alas del pilar como se muestra en la figura A26.6.18(a).
- En el caso de que la fuerza de tracción sea dominante, puede traccionarse la zona entre bajo ambas alas como se muestra en la figura A26.6.18(b).

- En el caso de que el momento flector sea dominante, se tendrá compresión bajo una de las alas del pilar y tracción bajo la otra, como se muestra en la figura A26.6.18(c) y en la figura A26.6.18(d).

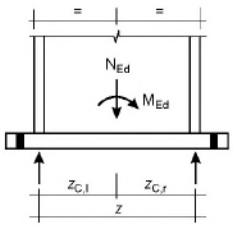
(4) Las placas base deberán dimensionarse empleando los métodos apropiados recogidos en los apartados 6.2.8.2 y 6.2.8.3.

(5) Deberá emplearse uno de los siguientes métodos para resistir el cortante entre la placa base y su apoyo:

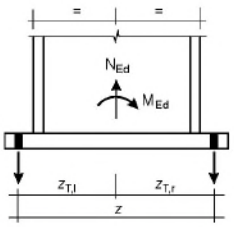
- La resistencia de cálculo a rozamiento en la junta entre la placa base y su apoyo, sumada a la resistencia de cálculo a cortante de los tornillos de anclaje.
- La resistencia de cálculo a cortante de las partes circundantes a la cimentación.

Si se emplean pernos de anclaje para resistir los esfuerzos cortantes entre la placa base y su apoyo, también deberá comprobarse la rotura del hormigón en el soporte, de acuerdo con los Anejos 19 a 21.

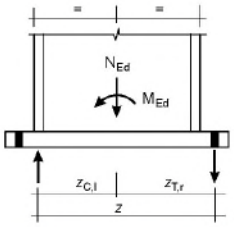
Cuando los métodos anteriores no sean adecuados, deberán emplearse elementos especiales, como bloques o pasadores, para transmitir los esfuerzos cortantes entre la placa base y su apoyo.



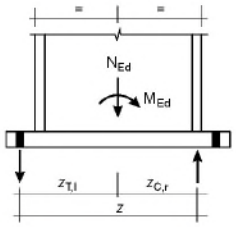
a) Conexión de apoyo del pilar en caso de una fuerza normal de compresión dominante



b) Conexión de apoyo del pilar en caso de una fuerza normal de tracción dominante



c) Conexión de apoyo del pilar en caso de un momento flector dominante

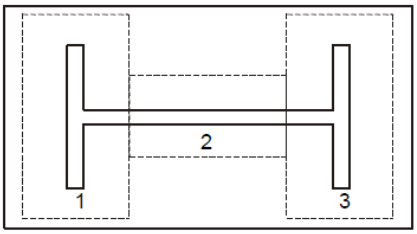


d) Conexión de apoyo del pilar en caso de un momento flector dominante

Figura A26.6.18 Determinación del brazo mecánico z para conexiones de pilares con placas base

6.2.8.2 Bases de pilares sometidas únicamente a axiles

(1) La resistencia de cálculo $N_{j,Rd}$, de una placa base simétrica de un pilar, sometida a esfuerzos axiles de compresión aplicados concéntricamente, puede determinarse añadiendo las resistencias de cálculo individuales $F_{C,Rd}$ de las tres secciones en T mostradas en la figura A26.6.19. (Dos secciones en T bajo las alas del pilar y una sección en T bajo el alma). Las tres secciones en T no deberán solaparse, véase la figura A26.6.19. La resistencia de cálculo de cada una de estas secciones en T deberá calcularse empleando el método descrito en el apartado 6.2.5.



1 Sección en T 1
2 Sección en T 2
3 Sección en T 3

Figura A26.6.19 Secciones en T sin solapar

6.2.8.3 Bases de pilares sometidas a axiles y a momentos flectores

(1) El momento resistente de cálculo, $M_{j,Rd}$, de la base de un pilar sometida a flexión compuesta, deberá determinarse empleando el método descrito en la tabla A26.6.7, en el que se omite la contribución de la porción de hormigón inmediatamente debajo del alma del pilar (sección en T 2 de la figura A26.6.19) a la capacidad a compresión. En este método se emplean los siguientes parámetros:

$F_{T,l,Rd}$ es la resistencia de cálculo a tracción del lado izquierdo de la unión, véase el apartado 6.2.8.3(2)

$F_{T,r,Rd}$ es la resistencia de cálculo a tracción del lado derecho de la unión, véase el apartado 6.2.8.3(3)

$F_{C,l,Rd}$ es la resistencia de cálculo a compresión del lado izquierdo de la unión, véase el apartado 6.2.8.3(4)

$F_{C,r,Rd}$ es la resistencia de cálculo a compresión del lado derecho de la unión, véase el apartado 6.2.8.3(5).

(2) La resistencia de cálculo a tracción $F_{T,l,Rd}$ del lado izquierdo de la unión deberá tomarse como el menor de los valores de la resistencia de cálculo de los siguientes componentes básicos:

- el alma del pilar a tracción bajo el ala izquierda del pilar $F_{t,wc,Rd}$, véase el apartado 6.2.6.3;
- la placa base a flexión bajo el ala izquierda del pilar $F_{t,pl,Rd}$, véase el apartado 6.2.6.11.

(3) La resistencia de cálculo a tracción $F_{T,r,Rd}$ del lado derecho de la unión deberá tomarse como el menor de los valores de la resistencia de cálculo de los siguientes componentes básicos:

- el alma del pilar a tracción bajo el ala derecha del pilar $\mathrm{F_{t,wc,Rd}}$, véase el apartado 6.2.6.3;
- la placa base a flexión bajo el ala derecha del pilar $\mathrm{F_{t,pl,Rd}}$, véase el apartado 6.2.6.11.

(4) La resistencia de cálculo a compresión $F_{C,l,Rd}$ del lado izquierdo de la unión deberá tomarse como el menor de los valores de la resistencia de cálculo de los siguientes componentes básicos:

- el hormigón a compresión bajo el ala izquierda del pilar $\mathrm{F_{c,pl,Rd}}$, véase el apartado 6.2.6.9;
- el ala izquierda y el alma del pilar en compresión $\mathrm{F_{c,fc,Rd}}$, véase el apartado 6.2.6.7.

(5) La resistencia de cálculo a tracción $F_{C,r,Rd}$ del lado derecho de la unión deberá tomarse como el menor de los valores de la resistencia de cálculo de los siguientes componentes básicos:

- el hormigón a compresión bajo el ala derecha del pilar $F_{c,pl,Rd}$, véase el apartado 6.2.6.9;
- el ala derecha y el alma del pilar en compresión $F_{c,fc,Rd}$, véase el apartado 6.2.6.7.

(6) Para el cálculo de $z_{T,l}$, $z_{C,l}$, $z_{T,r}$, $z_{C,r}$, véase el apartado 6.2.8.1.

Tabla A26.6.7 Momento resistente de cálculo $M_{J,Rd}$ de bases de los pilares

Carga	Brazo mecánico z	Momento resistente de cálculo $M_{J,Rd}$	
Lado izquierdo traccionado	$z = z_{T,l} + z_{C,r}$	$N_{Ed} > 0$ y $e > z_{T,l}$	$N_{Ed} \leq 0$ y $e \leq -z_{C,r}$
Lado derecho comprimido		El menor entre $\frac{F_{T,l,Rd}\, z}{z_{C,r}/e+1}$ y $\frac{-F_{C,r,Rd}\, z}{z_{r,l}/e-1}$	
Lado izquierdo traccionado	$z = z_{T,l} + z_{T,r}$	$N_{Ed} > 0$ y $0 < e < z_{T,l}$	$N_{Ed} > 0$ y $-z_{T,r} < e \leq 0$
Lado derecho traccionado		El menor de $\frac{F_{T,l,Rd}\, z}{z_{T,r}/e+1}$ y $\frac{F_{T,r,Rd}\, z}{z_{Tl}/e-1}$	El menor de $\frac{F_{T,l,Rd}\, z}{z_{T,r}/e+1}$ y $\frac{F_{T,l,Rd}\, z}{z_{T,l}/e-1}$
Lado izquierdo comprimido	$z = z_{C,l} + z_{T,r}$	$N_{Ed} > 0$ y $e \leq -z_{T,r}$	$N_{Ed} \leq 0$ y $e > z_{C,l}$
Lado derecho traccionado		El menor de $\frac{-F_{C,l,Rd}\, z}{z_{T,r}/e+1}$ y $\frac{F_{T,r,Rd}\, z}{z_{C,l}/e-1}$	
Lado izquierdo comprimido	$z = z_{C,l} + z_{C,r}$	$N_{Ed} \leq 0$ y $0 < e < z_{C,l}$	$N_{Ed} \leq 0$ y $-z_{C,r} < e \leq 0$
Lado derecho comprimido		El menor de $\frac{-F_{C,l,Rd}\, z}{z_{C,r}/e+1}$ y $\frac{-F_{C,r,Rd}\, z}{z_{C,l}/e-1}$	El menor de $\frac{-F_{C,l,Rd}\, z}{z_{C,r}/e+1}$ y $\frac{-F_{C,r,Rd}\, z}{z_{C,l}/e-1}$
$M_{Ed} > 0$ en sentido contrario de las agujas del reloj, $N_{Ed} > 0$ en tracción $e = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} = \frac{M_{Rd}}{N_{Rd}}$			

6.3 Rigidez al giro

6.3.1 Modelo básico

(1) La rigidez al giro de una unión deberá determinarse a partir de la flexibilidad de sus componentes básicos, representados, cada uno, por un coeficiente de rigidez elástico k_i obtenido del apartado 6.3.2.

NOTA: Estos coeficientes de rigidez elásticos son de aplicación general.

(2) Para una unión con chapa frontal atornillada con más de una fila de tornillos traccionada, deberán combinarse los coeficientes de rigidez k_i para los componentes básicos descritos. Para uniones viga-pilar y empalmes de vigas se da un método en el apartado 6.3.3, y para las bases de pilares se da un método en el apartado 6.3.4.

(3) En una chapa frontal atornillada con más de una fila de tornillos, como simplificación, puede despreciarse la contribución de cualquier fila, siempre que tampoco se tengan en cuenta las contribuciones de las filas más próximas al centro de compresión. El número de filas de tornillos consideradas no necesita necesariamente ser el mismo que para la determinación del momento resistente de cálculo.

(4) Siempre que el axil N_{Ed} en los elementos conectados no supere el 5% de la resistencia de cálculo $N_{p\ell,Rd}$ de su sección transversal, la rigidez al giro S_j de una unión viga-pilar o del solape de una viga, para un momento $M_{j,Ed}$ menor que el momento resistente de cálculo $M_{j,Rd}$ de la unión, puede obtenerse con suficiente precisión a partir de la siguiente expresión:

$$S_j = \frac{E_z^2}{\mu \sum_i \frac{1}{k_i}} \qquad (6.27)$$

donde:

k_i es el coeficiente de rigidez para el componente básico i de la unión

z es el brazo mecánico, véase el apartado 6.2.7

μ es la relación de rigidez $S_{j,ini}/S_j$, véase el apartado 6.3.1(6).

NOTA: La rigidez al giro inicial $S_{j,ini}$ de la unión se obtiene de la expresión (6.27) con $\mu = 1{,}0$.

(5) La rigidez al giro S_j de la base de un pilar, para un momento $M_{j,Ed}$ menor que el momento resistente de cálculo $M_{j,Rd}$ de la unión, puede obtenerse con suficiente precisión del apartado 6.3.4.

(6) La relación de rigidez μ deberá determinarse como sigue:

- si $M_{j,Ed} \leq 2/3\, M_{j,Rd}$:

  $\mu = 1$ (6.28a)

- si $2/3\ \mathrm{M_{j,Rd}} < \mathrm{M_{j,Ed}} \leq \mathrm{M_{j,Rd}}$:

  $\mu = \left(1{,}5\mathrm{M_{j,Ed}}/\mathrm{M_{j,Rd}}\right)^{\Psi}$ (6.28b)

en el que el coeficiente Ψ se obtiene de la tabla A26.6.8.

Tabla A26.6.8 Valor del coeficiente Ψ

Tipo de unión	Ψ
Soldada	2,7
Con chapa frontal atornillada	2,7
Con angulares de empalme atornillados a las alas	3,1
Conexiones con placa base	2,7

(7) Los componentes básicos que se deberán tener en cuenta en el cálculo de la rigidez de una unión soldada viga-pilar y de una unión con angulares atornillados a las alas, se dan en la tabla A26.6.9. De forma similar, los componentes básicos de una unión con chapa frontal atornillada y de una placa base, se indican en la tabla A26.6.10. Para ambas tablas, los coeficientes de rigidez k_i para los componentes básicos se definen en la tabla A26.6.11.

(8) Para las conexiones viga-pilar con chapa frontal deberá emplearse el siguiente procedimiento para obtener la rigidez de la unión. El coeficiente de rigidez equivalente k_{eq}, y el brazo mecánico equivalente, z_{eq}, de la unión deberán obtenerse a partir del apartado 6.3.3. La rigidez de la unión deberá obtenerse a partir del apartado 6.3.1(4) basándose en los coeficientes de rigidez k_{eq} (para la unión) y k_l (para el alma del pilar a cortante), y con el brazo mecánico z, tomado igual al brazo mecánico equivalente de la unión z_{eq}.

Tabla A26.6.9 Nudos con uniones soldadas o con angulares atornillados a las alas

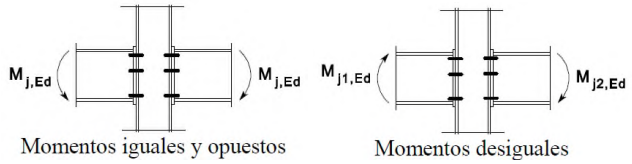
Unión viga-pilar soldada	Coeficientes de rigidez k_i a considerar
A un lado	$k_1;k_2;k_3$
A ambos lados–momentos iguales y opuestos	$k_2;k_3$
A ambos lados–momentos desiguales	$k_1;k_2;k_3$
Unión viga-pilar con angulares atornillados a las alas	**Coeficientes de rigidez k_i a considerar**
A un lado	$k_1;k_2;k_{3;}\ k_4;k_6;k_{10};k_{11}$ *); k_{12} **)
A ambos lados–momentos iguales y opuestos	$k_2;k_{3;}\ k_4;k_6;k_{10};k_{11}$ *); k_{12} **);
A ambos lados–momentos desiguales	$k_1;k_2;k_{3;}\ k_4;k_6;k_{10};k_{11}$ *); k_{12} **);
 Momentos iguales y opuestos Momentos desiguales	*) Dos coeficientes k_{11}, uno por cada ala. **) Cuatro coeficientes k_{12}, uno por cada ala y uno por cada angular.

Tabla A26.6.10 Uniones con conexiones de chapas frontales atornilladas y de placas base

Unión viga-pilar con conexiones de chapas frontales atornilladas	Número de filas de tornillos en tracción	Coeficientes de rigidez k_i a considerar
A un lado	Una	$k_1;k_2;k_{3;}\ k_4;k_5;k_{10}$
	Dos o más	$k_1;k_2;k_{eq}$
A ambos lados–momentos iguales y opuestos	Una	$k_2;k_{3;}\ k_4;k_5;k_{10}$
	Dos o más	$k_2;k_{eq}$
A ambos lados–momentos desiguales	Una	$k_1;k_2;k_{3;}\ k_4;k_5;k_{10}$
	Dos o más	$k_1;k_2;k_{eq}$
Solape de vigas con chapas frontales atornilladas	**Número de filas de tornillos traccionadas**	**Coeficientes de rigidez k_i a considerar**
A ambos lados–momentos iguales y opuestos	Una	$k_5[izquierda];k_5[derecha];k_{10}$
	Dos o más	k_{eq}
Conexiones de placa base	**Número de filas de tornillos traccionadas**	**Coeficientes de rigidez k_i a tener en cuenta**
Conexiones de placa base	Una	$k_{13};k_{15};k_{16}$
	Dos o más	$k_{13};k_{15}$ y k_{16} para cada fila de tornillos

6.3.2 Coeficientes de rigidez para componentes básicos de la unión

(1) Los coeficientes de rigidez para un componente básico de la unión deberán determinarse empleando las expresiones recogidas en la tabla A26.6.11.

Tabla A26.6.11 Coeficientes de rigidez para componentes básicos de una unión

Componente	Coeficiente de rigidez k_i	
Chapa del alma de un pilar a cortante	Sin rigidizar, unión a un lado o unión a ambos lados del pilar en la que el canto de las vigas es similar	Rigidizada
	$k_1 = \frac{0{,}38A_{VC}}{\beta z}$	$k_1 = \infty$
	z es el brazo mecánico según se indica en la figura A26.6.15; β es el parámetro de transformación del apartado 5.3(7).	
Alma de un pilar a compresión	Sin rigidizar	Rigidizada
	$k_2 = \frac{0{,}7b_{eff,c,wc}t_{wc}}{d_c}$	$k_2 = \infty$
	$b_{eff,c,wc}$ es el ancho eficaz obtenido del apartado 6.2.6.2	
Alma de un pilar a tracción	Conexión atornillada rigidizada o sin rigidizar con una única fila de tornillos traccionada o conexión soldada sin rigidizar	Conexión soldada rigidizada
	$k_3 = \frac{0{,}7b_{eff,t,wc}t_{wc}}{d_c}$	$k_3 = \infty$
	$b_{eff,t,wc}$ es el ancho eficaz del alma del pilar a tracción según el apartado 6.2.6.3. Para una unión con una única fila de tornillos en tracción, $b_{eff,t,wc}$ deberá tomarse igual a la menor longitud eficaz ℓ_{eff} (individualmente o como parte de un grupo de filas de tornillos) dada para esta fila de tornillos en la tabla A26.6.4 (para un ala de un pilar sin rigidizar) o la tabla A26.6.5 (para un ala rigidizada de un pilar).	
Ala de un pilar a flexión (para una única fila de tornillos traccionada)	$k_4 = \frac{0{,}9\ell_{eff}t_{fc}^3}{m^3}$ ℓ_{eff} es la menor longitud eficaz (individualmente o como parte de un grupo de filas de tornillos) para esta fila de tornillos en la tabla A26.6.4 para un ala sin rigidizar de un pilar o en la tabla A26.6.5 para un ala rigidizada de un pilar; m según la figura A26.6.8.	
Chapa frontal a flexión (para una única fila de tornillos traccionada)	$k_5 = \frac{0{,}9\ell_{eff}t_p^3}{m^3}$ ℓ_{eff} es la longitud eficaz más pequeña (individualmente o como parte de un grupo de filas de tornillos) dada para esta fila de tornillos en la tabla A26.6.6; m generalmente según figura A26.6.11, pero para una fila de tornillos localizada en la parte de la chapa de unión que sobresale de la sección $m = m_x$, donde m_x es según se define en la figura A26.6.10.	
Angular de empalme a flexión	$k_6 = \frac{0{,}9\ell_{eff}t_a^3}{m^3}$ ℓ_{eff} es la longitud eficaz del angular de empalme de las alas según se indica en la figura A26.6.12; m según figura A26.6.13.	
Tornillos en tracción (para una fila de tornillos)	$k_{10} = 1{,}6\,A_s/L_b$ pretensados o no pretensados L_b es la longitud de elongación del tornillo, tomada igual a la longitud de agarre (espesor total del material y de las arandelas) más la mitad de la suma de la altura de la cabeza del tornillo y de la altura de la tuerca.	
Tornillos a cortante	sin pretensar	pretensados *)
	$k_{11}(o\ k_{17}) = \frac{16n_b d^2 f_{ub}}{E d_{M16}}$	$k_{11} = \infty$
	d_{M16} es el diámetro nominal de un tornillo M16; n_b es el número de filas de tornillos a cortante	
Tornillos a deslizamiento (para cada componente *j* soportado por el tornillo)	sin pretensar	pretensados *)
	$k_{12}(o\ k_{18}) = \frac{24n_b k_b k_t d f_u}{E}$	$k_{12} = \infty$
	$k_b = k_{b1}$ si $k_b \le k_{b2}$	e_b es la distancia desde la fila de tornillos al borde libre de

Componente	Coeficiente de rigidez k_i	
	$k_{b1} = 0{,}25\, e_b/d + 0{,}5$ si $k_{b1} \leq 1{,}25$ $k_{b2} = 0{,}25\, p_b/d + 0{,}375$ si $k_{b2} \leq 1{,}25$ $k_t = 1{,}5\, t_j/d_{M16}$ si $k_t \leq 2{,}5$	la chapa en la dirección de la carga transmitida; f_u es la resistencia a tracción última del acero en el que se apoya el tornillo; p_b es el espaciamiento de las filas de tornillos en la dirección de transmisión de la carga; t_j espesor del componente.
Hormigón sometido a compresión (incluyendo el mortero)	$k_{13} = \frac{E_c\sqrt{b_{eff} l_{eff}}}{1{,}275E}$ b_{eff} es el ancho eficaz del ala de la sección en T, véase el apartado 6.2.5(3); l_{eff} es la longitud eficaz del ala de la sección en T, véase el apartado 6.2.5(3).	
Placa en flexión sometida a compresión	$k_{14} = \infty$ Este coeficiente ya se tiene en cuenta en el cálculo del coeficiente de rigidez k_{13}	
Placa base en flexión sometida a tracción (para una única fila de tornillos traccionada)	con fuerzas de palanca**)	sin fuerzas de palanca**)
	$k_{15} = \frac{0{,}85\ell_{eff} t_p^3}{m^3}$	$k_{15} = \frac{0{,}425\ell_{eff} t_p^3}{m^3}$
	ℓ_{eff} es la longitud eficaz del ala de la sección en T, véase el apartado 6.2.5(3); t_p es el espesor de la placa base; m es la distancia indicada en la figura A26.6.8.	
Pernos de anclaje en tracción	con fuerzas de palanca**)	sin fuerzas de palanca**)
	$k_{16} = 1{,}6\, A_s/L_b$	$k_{16} = 2{,}0\, A_s/L_b$
	L_b es la longitud de elongación del perno de anclaje, tomada igual a la suma de 8 veces el diámetro nominal del tornillo, la capa de mortero, el espesor de la placa, la arandela y la mitad de la altura de la tuerca.	

*) siempre que los tornillos se hayan calculado para no deslizar dentro del apoyo para el nivel de carga considerado;

**) pueden desarrollarse fuerzas de palanca, si $L_b \leq \frac{8{,}8m^3 A_s}{l_{eff} t^3}$

NOTA 1: En el cálculo de b_{eff} y de l_{eff}, la distancia de c, deberá tomarse como 1,25 veces el espesor de la placa base.

NOTA 2: Deberá suponerse que los refuerzos no afectan a la rigidez al giro S_j de la unión.

NOTA 3: Para soldaduras (k_{19}) el coeficiente de rigidez deberá tomarse igual a infinito. No es necesario tener este componente en cuenta en el cálculo de la rigidez al giro S_j.

NOTA 4: Para el ala y el alma de una viga sometida a compresión (k_7), el alma de una viga traccionada (k_8), una chapa traccionada o comprimida (k_9), vigas acarteladas (k_{20}), los coeficientes de rigidez deberán tomarse igual a infinito. No es necesario tenerlos en cuenta en el cálculo de la rigidez al giro S_j.

NOTA 5: Cuando se emplea una chapa de refuerzo del alma, los coeficientes de rigidez para los componentes básicos de la unión de k_1 a k_3 deberán aumentarse como sigue:

- k_1 para paneles del alma del pilar a cortante, deberá basarse en el aumento del área de cortante A_{VC} según el apartado 6.2.6.1(6);
- k_2 para almas de un pilar en compresión, deberá basarse en el espesor eficaz del alma según el apartado 6.2.6.2(6);
- k_3 para almas de un pilar a tracción, deberá basarse en el espesor eficaz del alma según el apartado 6.2.6.3(8).

6.3.3 Conexiones con chapas frontales con dos o más filas de tornillos en tracción

6.3.3.1 Método general

(1) Para las conexiones con chapas frontales con dos o más filas de tornillos traccionadas, los componentes básicos de todas las filas de tornillos deberán representarse por un único coeficiente de rigidez k_{eq} determinado a partir de:

$$k_{eq} = \frac{\sum_r k_{eff,r} h_r}{z_{eq}} \qquad (6.29)$$

donde:

h_r es la distancia entre la fila de tornillos r y el centro de compresión

$k_{eff,r}$ es el coeficiente de rigidez eficaz para una fila de tornillos r, teniendo en cuenta los coeficientes de rigidez k_i de los componentes básicos definidos en los apartados 6.3.3.1(4) o 6.3.3.1(5), según corresponda

z_{eq} es el brazo mecánico equivalente, véase el apartado 6.3.3.1(3).

(2) El coeficiente de rigidez equivalente $k_{eff,r}$ para una fila de tornillos r deberá determinarse a partir de:

$$k_{eff,r} = \frac{1}{\sum_i \frac{1}{k_{i,r}}} \quad (6.30)$$

donde:

$k_{i,r}$ es el coeficiente de rigidez que representa al componente i de a la fila de tornillos r.

(3) El brazo mecánico equivalente z_{eq} deberá determinarse a partir de:

$$z_{eq} = \frac{\sum_r k_{eff,r} h_r^2}{\sum_r k_{eff,r} h_r} \quad (6.31)$$

(4) En el caso de una unión viga-pilar con una conexión con chapa frontal, k_{eq} deberá basarse en (y reemplazar) los coeficientes de rigidez k_i para:

a) el alma del pilar traccionada (k_3);

b) el ala del pilar a flexión (k_4);

c) la chapa frontal a flexión (k_5);

d) los tornillos traccionados (k_{10}).

(5) En el caso de un empalme de una viga con chapas frontales atornilladas, k_{eq} deberá basarse en (y reemplazar) los coeficientes de rigidez k_i para:

e) la chapa frontal a flexión (k_5);

f) los tornillos a tracción (k_{10}).

6.3.3.2 Método simplificado para chapas frontales de mayor tamaño que el perfil y con dos filas de tornillos a tracción

(1) Para conexiones con chapas frontales de mayor tamaño que el perfil y con dos filas de tornillos traccionadas (uno en la parte de la chapa frontal que sobresale del perfil y la otra entre las alas de la viga, véase la figura A26.6.20), puede emplearse un conjunto de valores modificados para los coeficientes de rigidez de los correspondientes componentes básicos, a fin de tener en cuenta la contribución conjunta de ambas filas de tornillos. Cada uno de estos valores modificados deberá tomarse como dos veces el valor correspondiente para una única fila de tornillos en la parte de la chapa frontal que sobresale del perfil.

NOTA: Esta aproximación conduce a una estimación ligeramente inferior de la rigidez al giro.

(2) Cuando se emplee este método simplificado, el brazo mecánico z deberá tomarse igual a la distancia desde el centro de compresión al punto a medio camino entre las dos filas de tornillos traccionadas, véase la figura A26.6.20.

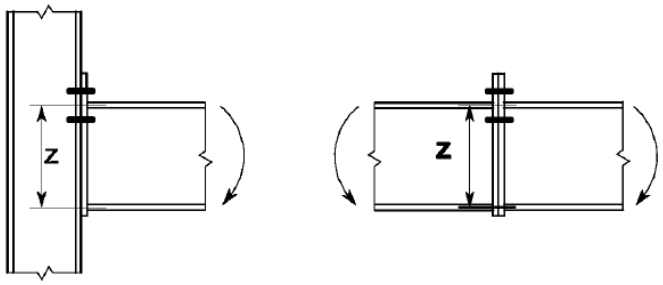


Figura A26.6.20 Brazo mecánico z para el método simplificado

6.3.4 Base de pilares

(1) La rigidez al giro S_j, de la base de un pilar sometido a flexión compuesta, deberá calcularse empleando el método descrito en la tabla A26.6.12. Este método emplea los siguientes coeficientes de rigidez:

$k_{T,l}$ es el coeficiente de rigidez a tracción del lado izquierdo de la unión y su inversa deberá tomarse igual a la suma de los coeficientes de rigidez k_{15} y k_{16} (indicados en la tabla A26.6.11) que actúan en el lado izquierdo de la unión

$k_{T,r}$ es el coeficiente de rigidez a tracción del lado derecho de la unión y su inversa que deberá tomarse igual a la suma de los coeficientes de rigidez k_{15} y k_{16} (dados en la tabla A26.6.11) que actúan en el lado derecho de la unión

$k_{C,l}$ es el coeficiente de rigidez a compresión del lado izquierdo de la unión y deberá tomarse igual al coeficiente de rigidez k_{13} (dado en la tabla A26.6.11) que actúa en el lado izquierdo de la unión

$k_{C,r}$ es el coeficiente de rigidez a compresión del lado derecho de la unión y deberá tomarse igual al coeficiente de rigidez k_{13} (dado en la tabla A26.6.11) que actúa en el lado derecho de la unión.

(2) Para el cálculo $z_{T,l}$, $z_{C,l}$, $z_{T,r}$, $z_{C,r}$, véase el apartado 6.2.8.1.

Tabla A26.6.12 Rigidez al giro S_j de las bases de los pilares

Estado de cargas	Brazo mecánico z	Rigidez rotacional $S_{j,ini}$	
Lado izquierdo traccionado Lado derecho comprimido	$z = z_{T,l} + z_{C,r}$	$N_{Ed} > 0$ y $e > z_{T,l}$	$N_{Ed} \leq 0$ y $e \leq -z_{C,r}$
		$\frac{Ez^2}{\mu\left(1/k_{T,l}+1/k_{C,r}\right)}\frac{e}{e+e_k}$ donde $e_k = \frac{z_{C,r}k_{C,r}-z_{T,l}k_{T,l}}{k_{T,l}+k_{C,r}}$	
Lado izquierdo traccionado Lado derecho traccionado	$z = z_{T,l} + z_{T,r}$	$N_{Ed} > 0$ y $0 < e < z_{T,l}$	$N_{Ed} > 0$ y $-z_{T,r} < e \leq 0$
		$\frac{Ez^2}{\mu\left(1/k_{T,l}+1/k_{T,r}\right)}\frac{e}{e+e_k}$ donde $e_k = \frac{z_{T,r}k_{T,r}-z_{T,l}k_{T,l}}{k_{T,l}+k_{T,r}}$	
Lado izquierdo comprimido Lado derecho traccionado	$z = z_{C,l} + z_{T,r}$	$N_{Ed} > 0$ y $e \leq -z_{C,l}$	$N_{Ed} \leq 0$ y $e > z_{C,l}$
		$\frac{Ez^2}{\mu\left(1/k_{C,l}+1/k_{T,r}\right)}\frac{e}{e+e_k}$ donde $e_k = \frac{z_{T,r}k_{T,r}-z_{C,l}k_{C,l}}{k_{C,l}+k_{T,r}}$	
Lado izquierdo comprimido Lado derecho comprimido	$z = z_{C,l} + z_{C,r}$	$N_{Ed} \leq 0$ y $0 < e < z_{C,l}$	$N_{Ed} \leq 0$ y $-z_{C,r} < e \leq 0$
		$\frac{Ez^2}{\mu\left(1/k_{C,l}+1/k_{C,r}\right)}\frac{e}{e+e_k}$ donde $e_k = \frac{z_{C,r}k_{C,r}-z_{C,l}k_{C,l}}{k_{C,l}+k_{C,r}}$	
$M_{Ed} > 0$ en el sentido de las agujas del reloj, $N_{Ed} > 0$ en tracción, μ véase el apartado 6.3.1(6). $e = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} = \frac{M_{Rd}}{N_{Rd}}$			

6.4 Capacidad de giro

6.4.1 Generalidades

(1) En el caso de un análisis global rígido-plástico, toda unión localizada en una rótula plástica deberá tener suficiente capacidad de giro.

(2) La capacidad de giro de una unión atornillada o soldada deberá determinarse empleando las disposiciones recogidas en los apartados 6.4.2 o 6.4.3. Los métodos de cálculo dados en estas cláusulas únicamente son válidos para aceros S235, S275 y S355 y para uniones en las que el valor de cálculo del axil N_{Ed} en el elemento conectado, no supere el 5% del axil resistente plástico $N_{p\ell,Rd}$ de su sección.

(3) Como alternativa a los apartados 6.4.2 y 6.4.3, no es necesario comprobar la capacidad de giro de una unión siempre que el momento resistente de cálculo $M_{j,Rd}$ de la unión sea al menos 1,2 veces el momento plástico resistente de cálculo $M_{p\ell,Rd}$ de la sección del elemento conectado.

(4) En los casos que no queden contemplados en los apartados 6.4.2 y 6.4.3, la capacidad de giro puede determinarse mediante ensayos, de acuerdo con el Apéndice D del Anejo 18. Alternativamente, pueden emplearse modelos de cálculo apropiados, siempre que se basen en resultados obtenidos en ensayos conformes con dicho anejo.

6.4.2 Uniones atornilladas

(1) Una unión viga-pilar en la que el momento resistente de cálculo de la unión $M_{j,Rd}$, esté definido por la resistencia de cálculo de la chapa del alma de un pilar sometido a cortante puede suponerse que tiene una capacidad de giro adecuada para realizar un análisis plástico global, siempre que $d_{wc}/t_w \leq 69\varepsilon$.

(2) Una unión con chapas frontales atornilladas o con angulares de empalme de las alas, puede suponerse que tienen capacidad de giro suficiente para realizar un análisis plástico global, siempre que cumpla con las siguientes condiciones:

a) el momento resistente de la unión se define por la resistencia de cálculo de:
   - el ala del pilar a flexión o
   - la chapa frontal de la viga o el angular sobre el ala traccionada en flexión.

b) el espesor t del ala del pilar, de la chapa frontal de la viga o del angular del ala traccionada (no necesariamente el mismo componente básico que en (a)) cumple:

$$t \leq 0{,}36d\sqrt{f_{ub}/f_y} \qquad (6.32)$$

donde:

d es el diámetro nominal del tornillo

f_{ub} es la resistencia última a tracción del material del tornillo

f_y es el límite elástico del componente básico correspondiente.

(3) No deberá suponerse que una unión atornillada, en la que el momento resistente de cálculo $M_{j,Rd}$ está determinado por la resistencia de cálculo de los tornillos a cortante, tiene capacidad de giro suficiente para realizar un análisis global plástico.

6.4.3 Uniones soldadas

(1) Puede suponerse que la capacidad de giro ϕ_{Cd} de una unión soldada viga-pilar, no es menor que el valor dado por las siguientes expresiones, siempre que el alma del pilar esté rigidizada a compresión,

pero no rigidizada a tracción, y su momento resistente de cálculo no esté condicionado por la resistencia de cálculo a cortante del panel del alma del pilar, véase el apartado 6.4.2(1):

$$\phi_{Cd} = 0{,}025\, h_c / h_b \qquad (6.33)$$

donde:

h_b es el canto de la viga

h_c es el ancho del pilar.

(2) Puede suponerse que una unión soldada viga-pilar, sin rigidizar y dimensionada conforme a las disposiciones de este apartado, tiene una capacidad de giro ϕ_{Cd} de, al menos, 0,015 radianes.

7 Uniones en perfiles tubulares

7.1 Generalidades

7.1.1 Alcance

(1) Este apartado recoge las reglas de aplicación detalladas para determinar las resistencias estáticas de cálculo de uniones planas o espaciales de estructuras en celosía compuestas por perfiles tubulares circulares, cuadrados o rectangulares, y de uniones planas de estructuras en celosía compuestas por combinaciones de perfiles tubulares y secciones abiertas.

(2) Las resistencias estáticas de cálculo de las uniones se expresan en términos de axiles máximos de cálculo y/o momentos resistentes de los elementos de arriostramiento.

(3) Estas reglas de aplicación son válidas tanto para perfiles tubulares conformados en caliente según la norma UNE-EN 10210, como para perfiles tubulares conformados en frío según la norma UNE-EN 10219, si las dimensiones de la sección tubular cumplen con los requisitos de este apartado.

(4) Para perfiles tubulares conformados en caliente y perfiles tubulares conformados en frío, el límite elástico nominal del producto final no debe ser mayor que 460 N/mm^2. Para productos finales que tengan un límite elástico nominal mayor que 355 N/mm^2, las resistencias estáticas de cálculo recogidas en este apartado deben reducirse por aplicación de un factor de 0,9.

(5) El espesor nominal de un perfil tubular no deberá ser menor que 2,5 mm.

(6) El espesor nominal de un perfil tubular, cuando trabaje como cordón de una celosía, no deberá ser mayor de 25 mm, a menos que se hayan tomado medidas especiales para asegurar que las propiedades en el sentido del espesor del material sean las adecuadas.

(7) Para comprobaciones a fatiga véase el Anejo 27.

(8) Los tipos de uniones que quedan contempladas se indican en la figura A26.7.1.

7.1.2 Campo de aplicación

(1) Las reglas de aplicación para uniones en perfiles tubulares pueden emplearse, únicamente, cuando se cumplan todas las condiciones recogidas en los apartados 7.1.2(2) a 7.1.2(8).

(2) Los elementos comprimidos deberán cumplir los requisitos para secciones de Clase 1 o Clase 2 según el Anejo 22 para la situación de compresión pura.

(3) Los ángulos θ_i formados entre los elementos de arriostramiento y los elementos tubulares, y entre elementos de arriostramiento adyacentes, deberán cumplir:

$$\theta_i \geq 30°$$

(4) Los extremos de los elementos que se encuentran en una unión deberán ejecutarse de modo que no se modifique la forma de su sección. Las uniones planas de extremo y recortadas no se incluyen en este apartado.

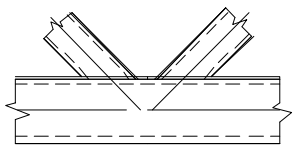
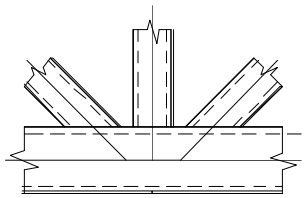
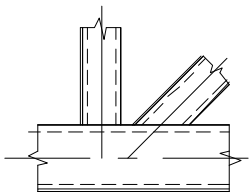
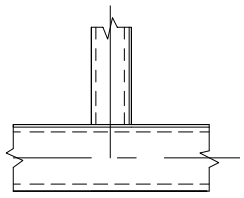
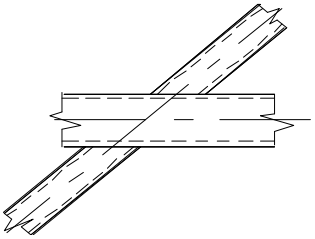
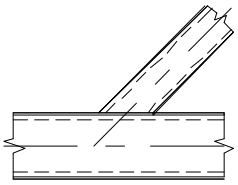
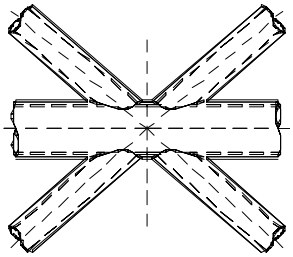
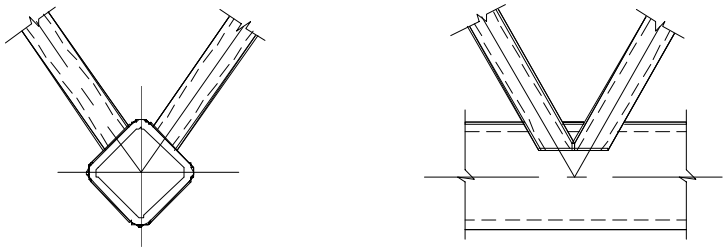
(5) En uniones con holgura, con el fin de garantizar que el espacio es el adecuado para ejecutar satisfactoriamente las soldaduras, la holgura entre elementos de arriostramiento no deberá ser menor de $(t_1 + t_2)$.

(6) En uniones con solape, éste deberá ser suficientemente largo para asegurar que la conexión de los elementos de arriostramiento sea suficiente para una transmisión adecuada de los cortantes de un arriostramiento a otro. En cualquier caso, el solape deberá ser al menos del 25%.

Si el solape supera $\lambda_{ov,lim} = 60\%$ en el caso de que la zona oculta del elemento de arriostramiento solapado no esté soldado, o $\lambda_{ov,lim} = 80\%$ en el caso de que la zona oculta del arriostramiento solapado esté soldado o si son secciones rectangulares con $h_i < b_i$ y/o $h_j < b_j$, la conexión entre los elementos de arriostramiento y la cara del cordón deberá comprobarse a cortante.

(7) Cuando los elementos de arriostramiento solapados tengan distintos espesores y/o diferentes resistencias, el elemento estructural con el menor valor de $t_i f_{yi}$ deberá solaparse al otro elemento.

(8) Cuando los elementos de arriostramiento solapados tengan anchos distintos, el elemento más estrecho deberá solaparse al más ancho.

<table>
<tr><td>
Unión en K</td><td>
Unión en KT</td><td>
Unión en N</td></tr>
<tr><td>
Unión en T</td><td>
Unión en X</td><td>
Unión en Y</td></tr>
<tr><td>
Unión en DK</td><td colspan="2">
Unión en KK</td></tr>
</table>

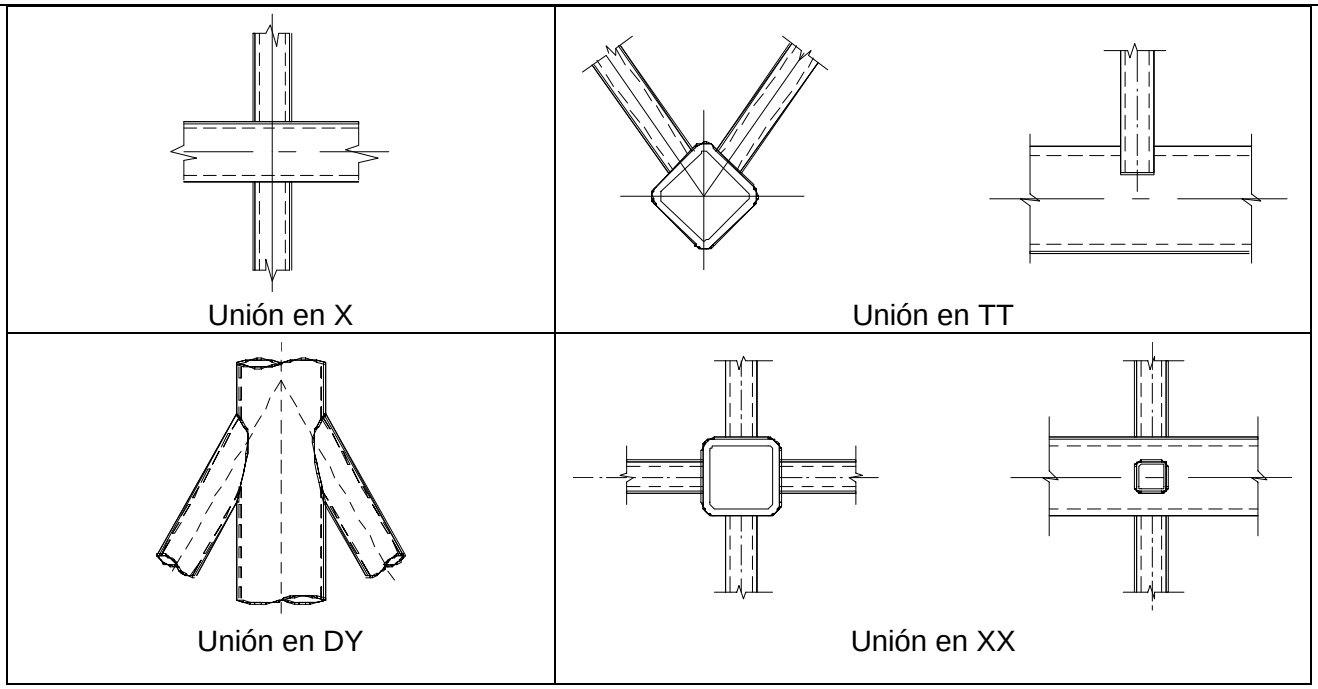


Figura A26.7.1 Tipos de uniones en vigas de celosía de perfiles tubulares

7.2 Cálculo

7.2.1 Generalidades

(1) El valor de cálculo de los esfuerzos axiles en los elementos de arriostramiento y en los cordones en estado límite último, no deberá superar las resistencias de cálculo de los elementos estructurales determinados a partir del Anejo 22.

(2) Los valores de cálculo del esfuerzo axil en los elementos de arriostramiento en estado límite último tampoco deberán superar las resistencias de cálculo de las uniones descritas en los apartados 7.4, 7.5, 7.6 o 7.7, según corresponda.

(3) Las tensiones $\sigma_{0,Ed}$ ó $\sigma_{p,Ed}$ de un elemento tubular en una unión deberá determinarse a partir de:

$$\sigma_{0,Ed} = \frac{N_{0,Ed}}{A_0} + \frac{M_{0,Ed}}{W_{el,0}} \qquad (7.1)$$

$$\sigma_{p,Ed} = \frac{N_{p,Ed}}{A_0} + \frac{M_{0,Ed}}{W_{el,0}} \qquad (7.2)$$

donde:

$$N_{p,Ed} = N_{0,Ed} - \sum_{i>0} N_{i,Ed}\, cos\theta_i$$

7.2.2 Modos de fallo para uniones de perfiles tubulares

(1) Las resistencias de cálculo de las uniones de conexiones entre perfiles tubulares y entre perfiles tubulares y secciones abiertas, deberán basarse en los siguientes modos de fallo:

a) Rotura de la cara del elemento tubular (plastificación de la cara del tubo) o plastificación del tubo (plastificación de la sección transversal del tubo);

b) Rotura de la cara lateral del tubo (o rotura del alma del tubo) por plastificación, rotura o inestabilidad (aplastamiento o abolladura de la cara o del alma del tubo) debida a la compresión transmitida por el elemento de arriostramiento;

c) Rotura del tubo por cortante;

d) Fallo por punzonamiento de la pared de la cara de un tubo (iniciación de fisura que da lugar a la separación de los elementos de arriostramiento del cordón);

e) Rotura del elemento de arriostramiento con reducción del ancho eficaz (fisuración en las soldaduras o en los elementos de arriostramiento);

f) Fallo por pandeo local del elemento de arriostramiento o del cordón tubular en la unión.

NOTA: Las frases impresas en negrita en esta lista se emplean para describir los diversos modos de fallo recogidos en las tablas de resistencias de cálculo dadas en 7.4 a 7.7.

(2) La figura A26.7.2 ilustra los modos de fallo (a) a (f) para uniones entre elementos de arriostramiento de PTC y cordones de perfiles tubulares.

(3) La figura A26.7.3 ilustra los modos de fallo (a) a (f) para uniones entre elementos de arriostramiento de PTR y cordones de perfiles tubulares.

(4) La figura A26.7.4 ilustra los modos de fallo de (a) a (f) para uniones entre elementos de arriostramiento de PTC y PTR y cordones de perfiles en I o en H.

(5) Aunque la resistencia de una unión con soldaduras bien ejecutadas sea generalmente mayor en tracción que en compresión, la resistencia de cálculo de la unión dependerá, normalmente, de la resistencia a compresión del arriostramiento, para evitar una posible deformación local excesiva o una reducción de la capacidad de giro o de la capacidad de deformación, que podrían producirse en caso contrario.

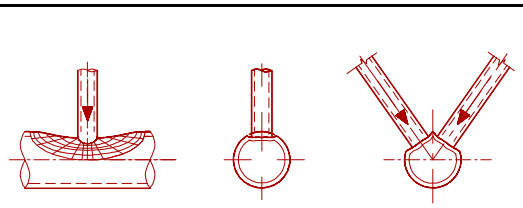
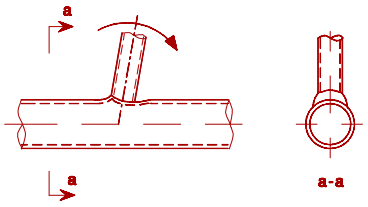
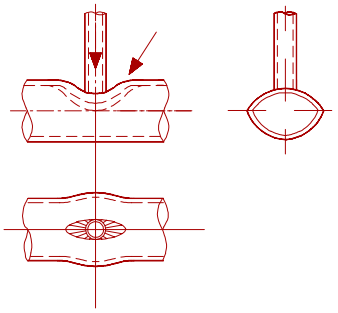
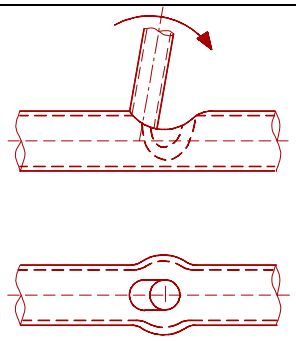
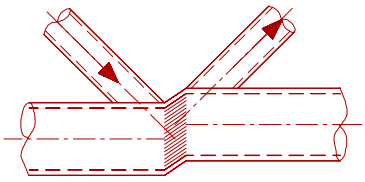
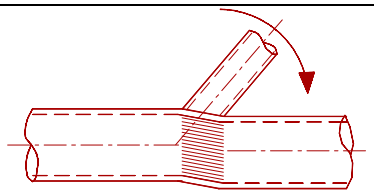
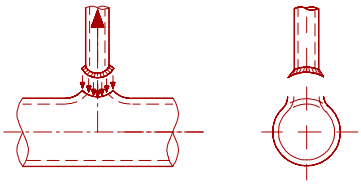
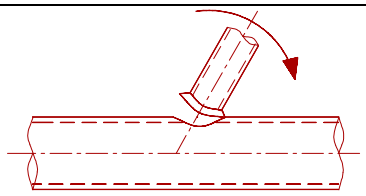
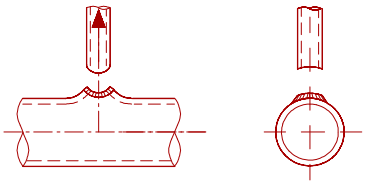
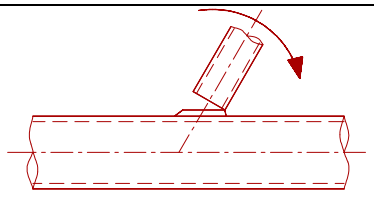
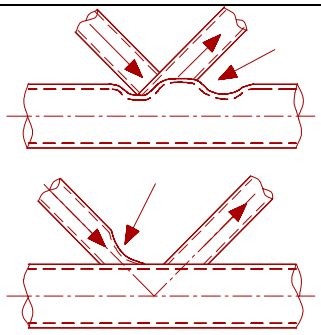
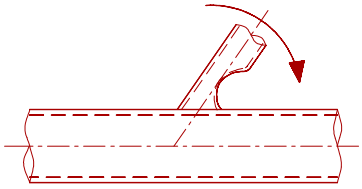
Modo	Esfuerzo axil	Momento flector
a		
b		
c		
d		
e		
f		

Figura A26.7.2 Modos de fallo para uniones entre elementos de PTC

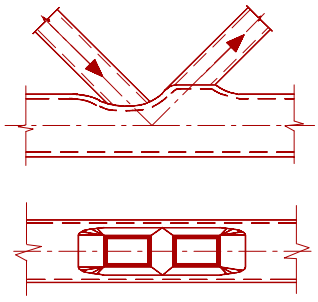
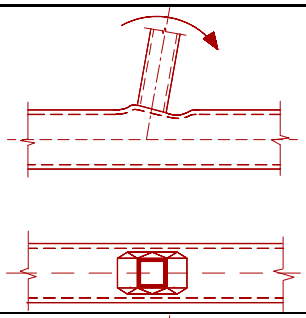
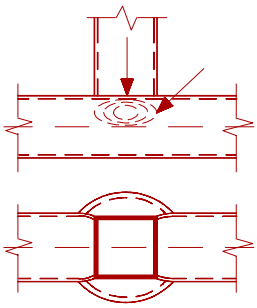
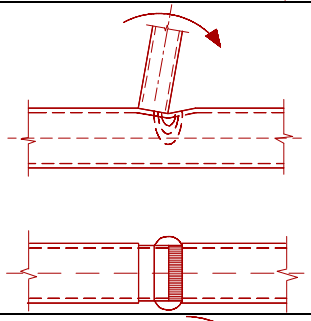
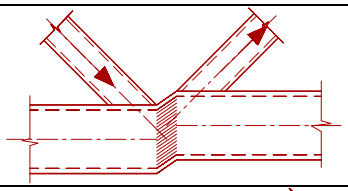
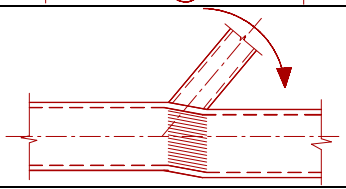
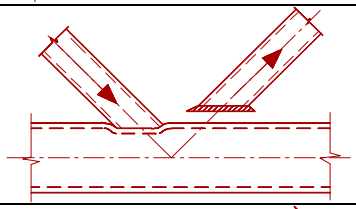
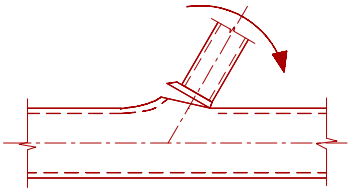
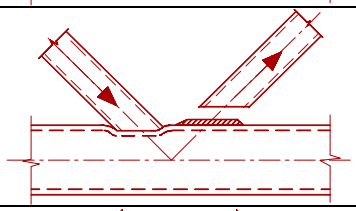
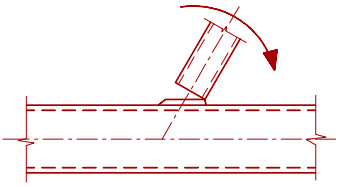
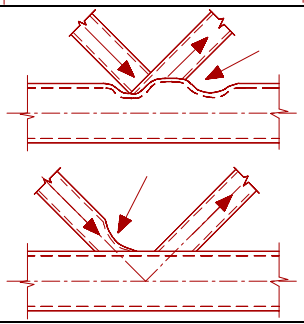
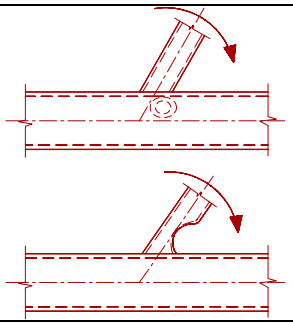
Modo	Esfuerzo axil	Momento flector
a		
b		
c		
d		
e		
f		

Figura A26.7.3 Modos de fallo en uniones entre elementos de arriostramiento de PTR y cordones de PTR

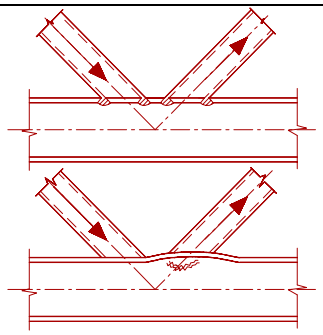
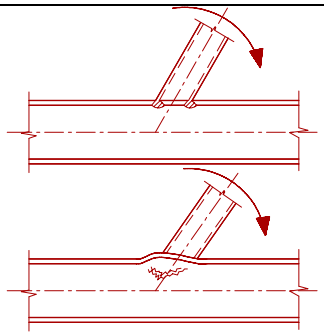
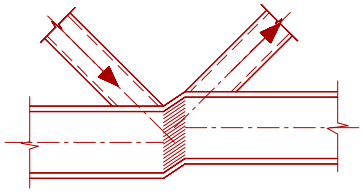
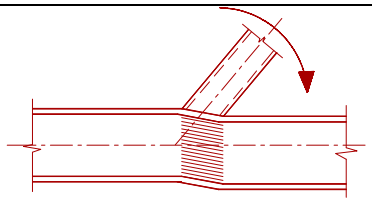
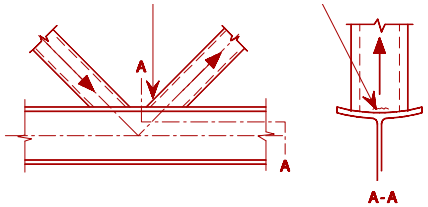
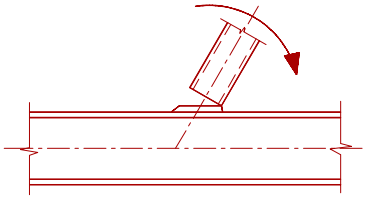
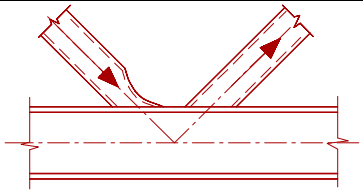
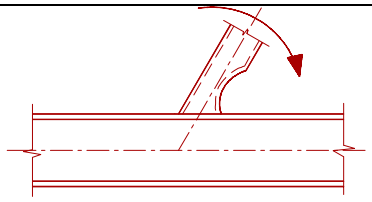
Modo	Esfuerzo axil	Momento flector
a	–	–
b		
c		
d	–	–
e		
f		

Figura A26.7.4 Modos de fallo en uniones entre elementos de arriostramiento de PTC o de PTR y cordones de perfiles en I o en H.

7.3 Soldaduras

7.3.1 Resistencia de cálculo

(1) Las soldaduras que conectan los elementos de arriostramiento a los cordones, deberán dimensionarse para tener una resistencia suficiente para poder considerar distribuciones no uniformes de tensiones y una capacidad de deformación suficiente para poder tener en cuenta la redistribución de los momentos flectores.

(2) En uniones soldadas, la conexión deberá realizarse, normalmente, alrededor de todo el perímetro del perfil tubular mediante una soldadura a tope, en ángulo, o combinación de ambas. Sin embargo, en uniones parcialmente solapadas, la parte oculta de la conexión no necesitará soldarse, siempre que los esfuerzos axiles en los elementos de arriostramiento sean tales que sus componentes perpendiculares al eje del cordón no difieran en más de un 20%.

(3) Los detalles habituales de soldadura se muestran en el Capítulo 21 del Código Estructural.

(4) La resistencia de cálculo de la soldadura, por unidad de longitud del perímetro de elemento de arriostramiento, en general, no deberá ser menor que la resistencia de cálculo de la sección de ese elemento por unidad de longitud de perímetro.

(5) El espesor de garganta requerido, deberá determinarse según el apartado 4.

(6) El criterio descrito en el apartado 7.3.1(4) podrá no aplicarse cuando se pueda justificar el empleo de una soldadura con un tamaño más pequeño, considerando tanto la resistencia como la capacidad de deformación y la de giro, teniendo en cuenta la posibilidad de que únicamente una parte de su longitud sea efectiva.

(7) Para perfiles tubulares rectangulares, el espesor de garganta de cálculo de la soldadura de chaflán se define en la figura A26.7.5.

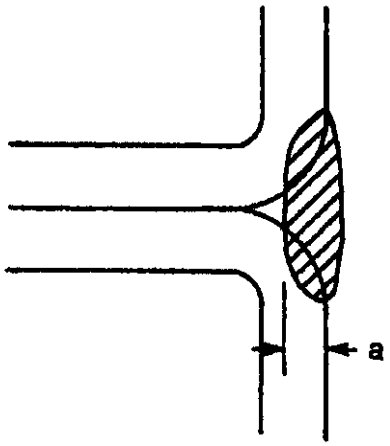


Figura A26.7.5 Espesor de garganta de cálculo de la ranura en chaflán de la soldadura en un perfil tubular rectangular

(8) Para soldaduras en zonas conformadas en frío, véase el apartado 4.14.

7.4 Uniones soldadas entre elementos de PTC

7.4.1 Generalidades

(1) Siempre que la geometría de las uniones esté comprendida en el rango de validez dado en la tabla A26.7.1, las resistencias de cálculo de las uniones soldadas entre elementos de perfiles tubulares circulares pueden determinarse empleando los apartados 7.4.2 y 7.4.3.

(2) Para uniones dentro del rango de validez dado en la tabla A26.7.1, únicamente será necesario considerar la rotura de la cara del elemento tubular y la rotura por punzonamiento de la pared. La resistencia de cálculo de una unión deberá tomarse como el valor mínimo entre estos dos criterios.

(3) Para uniones fuera del rango de validez dado en la tabla A26.7.1, deberán considerarse todos los modos de fallo dados en el apartado 7.2.2. Además, deberán tenerse en cuenta los momentos hiperestáticos en las uniones producidos por su rigidez al giro.

Tabla A26.7.1 Rango de validez para uniones soldadas entre elementos de arriostramiento de PTC y cordones de PTC

Relación de diámetro		$0{,}2 \leq d_i/d_0 \leq 1{,}0$
Cordones	tracción	$10 \leq d_0/t_0 \leq 50$ (generalmente), pero: si $10 \leq d_0/t_0 \leq 40$ (para uniones en X)
	compresión	Clase 1 o 2 y $10 \leq d_0/t_0 \leq 50$ (generalmente), pero: si $10 \leq d_0/t_0 \leq 40$ (para uniones en X)
Elementos de relleno	tracción	$d_i/t_i \leq 50$
	compresión	Clase 1 o 2
Solape		$25\% \leq \lambda_{ov} \leq \lambda_{ov,lim}$, véase 7.1.2(6)
Espaciamiento		$g \geq t_1 + t_2$

7.4.2 Uniones planas

(1) En las conexiones entre elementos de arriostramiento sometidos únicamente a axiles, los esfuerzos axiles de cálculo $N_{i,Ed}$, no deberán superar el valor del axil resistente de cálculo de la unión soldada $N_{j,Ed}$, obtenido de la tabla A26.7.2, la tabla A26.7.3 o de la tabla A26.7.4.

(2) Las conexiones entre elementos de arriostramiento sometidos a flexión compuesta deberán cumplir:

$$\frac{N_{i,Ed}}{N_{i,Rd}} + \left[\frac{|M_{ip,i,Ed}|}{M_{ip,i,Rd}}\right]^2 + \frac{|M_{op,i,Ed}|}{M_{op,i,Rd}} \leq 1{,}0 \qquad (7.3)$$

donde:

$M_{ip,i,Rd}$ es el momento resistente de cálculo dentro de su plano

$M_{ip,i,Ed}$ es el momento de cálculo dentro de su plano

$M_{op,i,Rd}$ es el momento resistente de cálculo fuera de su plano

$M_{op,i,Ed}$ es el momento de cálculo fuera de su plano.

Tabla A26.7.2 Resistencias de cálculo de uniones soldadas entre elementos de arriostramiento de PTC y cordones de PTC

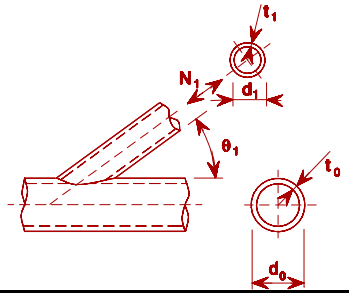
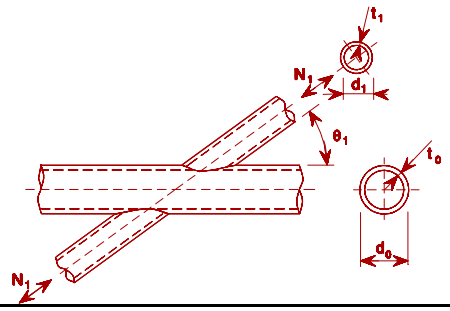
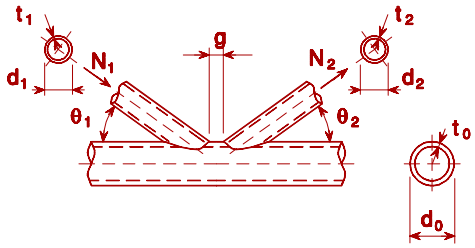
Rotura de la cara del elemento tubular - Uniones en Y y T	
	$N_{1,Rd} = \frac{\gamma^{0,2} k_p f_{y0} t_0^2}{sen\,\theta_1}(2{,}8 + 14{,}2\beta^2)/\gamma_{M5}$
Rotura de la cara del cordón tubular Uniones en X	
	$N_{1,Rd} = \frac{k_p f_{y0} t_0^2}{sen\,\theta_1}\frac{5{,}2}{(1-0{,}81\beta)}/\gamma_{M5}$
Rotura de la cara del cordón tubular Uniones en K y N con holgura o con solape	
	$N_{1,Rd} = \frac{k_g k_p f_{y0} t_0^2}{sen\theta_1}\left(1{,}8 + 10{,}2\frac{d_1}{d_0}\right)/\gamma_{M5}$ $N_{2,Rd} = \frac{sen\theta_1}{sen\theta_2} N_{1,Rd}$
Fallo por punzonamiento - Uniones en K, N y KT con holgura y uniones en T, Y y X [i = 1, 2 o 3]	
Cuando $d_i \le d_0 - 2t_0$: $N_{i,Rd} = \frac{f_{y0}}{\sqrt{3}} t_0 \pi\, d_i \frac{1+sen\theta_i}{2sen^2\theta_i}/\gamma_{M5}$	
Factores k_g y k_p	
$k_g = \gamma^{0,2}\left(1 + \frac{0{,}024\gamma^{1,2}}{1+\exp(0{,}5g/t_0 - 1{,}33)}\right)$ (véase la figura A26.7.6)	
Para $n_p > 0$ (compresión): $k_p = 1 - 0{,}3\, n_p (1 + n_p)$ si $k_p \le 1{,}0$ Para $n_p \le 0$ (tracción): $k_p = 1{,}0$	

Tabla A26.7.3 Resistencias de cálculo de uniones soldadas entre cartelas y cordones de PTC

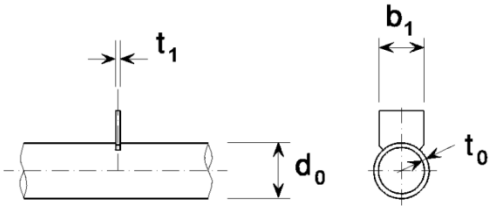
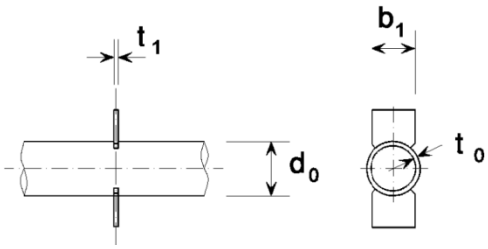
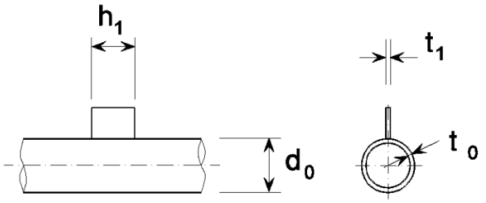
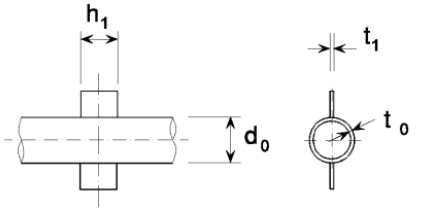
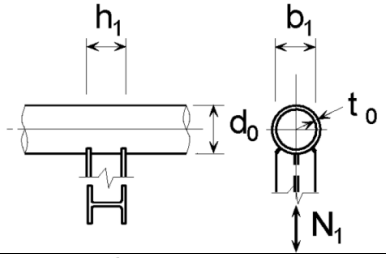
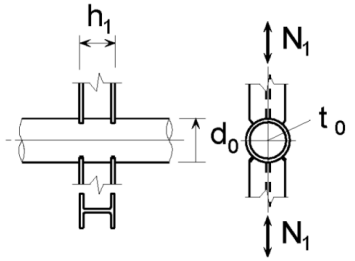
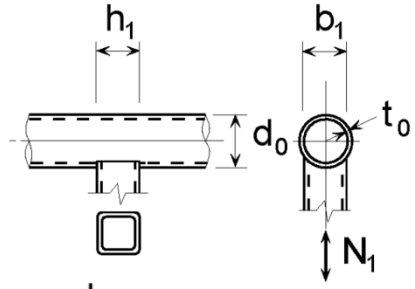
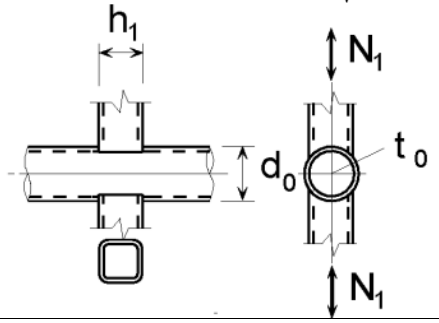
Rotura de la cara del cordón tubular	
	$N_{1,Rd} = k_p f_{y0} t_0^2 (4 + 20\beta^2) / \gamma_{M5}$ $M_{ip,1,Rd} = 0$ $M_{op,1,Rd} = 0{,}5\ b_1 N_{1,Rd}$
	$N_{1,Rd} = \frac{5 k_p f_{y0} t_0^2}{1 - 0{,}81\beta} / \gamma_{M5}$ $M_{ip,1,Rd} = 0$ $M_{op,1,Rd} = 0{,}5\ b_1 N_{1,Rd}$
	$N_{1,Rd} = 5 k_p f_{y0} t_0^2 (1 + 0{,}25\eta) / \gamma_{M5}$ $M_{ip,1,Rd} = h_1 N_{1,Rd}$ $M_{op,1,Rd} = 0$
	$N_{1,Rd} = 5 k_p f_{y0} t_0^2 (1 + 0{,}25\eta) / \gamma_{M5}$ $M_{ip,1,Rd} = h_1 N_{1,Rd}$ $M_{op,1,Rd} = 0$
Fallo por punzonamiento	
$\sigma_{max} t_1 = (N_{Ed} / A + M_{Ed} / W_{el}) t_1 \leq 2 t_0 (f_{y0} / \sqrt{3}) / \gamma_{M5}$	
Rango de validez	Factor k_p
Además de los límites dados en la tabla A26.7.1: $\beta \geq 0{,}4$ y $\eta \leq 4$ donde $\beta = b_1/d_0$ y $\eta = h_1/d_0$	Para $n_p > 0$ (compresión): $k_p = 1 - 0{,}3\ n_p(1 + n_p)$ si $k_p \leq 1{,}0$ Para $n_p \leq 0$ (tracción): $k_p = 1{,}0$

Tabla A26.7.4 Resistencias de cálculo de uniones soldadas que unen perfiles en I, H o PTR a cordones de PTC

Rotura de la cara del elemento tubular	
	$N_{1,Rd} = k_p f_{y0} t_0^2 (4 + 20\beta^2)(1 + 0{,}25\eta)/\gamma_{M5}$ $M_{ip,1,Rd} = h_1 N_{1,Rd}/(1 + 0{,}25\eta)$ $M_{op,1,Rd} = 0{,}5 b_1 N_{1,Rd}$
	$N_{1,Rd} = \frac{5 k_p f_{y0} t_0^2}{1 - 0{,}81\beta}(1 + 0{,}25\eta)/\gamma_{M5}$ $M_{ip,1,Rd} = h_1 N_{1,Rd}/(1 + 0{,}25\eta)$ $M_{op,1,Rd} = 0{,}5 b_1 N_{1,Rd}$
	$N_{1,Rd} = k_p f_{y0} t_0^2 (4 + 20\beta^2)(1 + 0{,}25\eta)/\gamma_{M5}$ $M_{ip,1,Rd} = h_1 N_{1,Rd}$ $M_{op,1,Rd} = 0{,}5 b_1 N_{1,Rd}$
	$N_{1,Rd} = \frac{5 k_p f_{y0} t_0^2}{1 - 0{,}81\beta}(1 + 0{,}25\eta)/\gamma_{M5}$ $M_{ip,1,Rd} = h_1 N_{1,Rd}$ $M_{op,1,Rd} = 0{,}5 b_1 N_{1,Rd}$

Fallo por punzonamiento	
Para perfiles en I o en H con $\eta > 2$ (para compresión axial y flexión fuera del plano) y para PTR: $\sigma_{máx} t_i = \left(N_{Ed,1}/A_1 + M_{Ed,1}/W_{el,1}\right) t_1 \leq t_0 \left(f_{y0}/\sqrt{3}\right)/\gamma_{M5}$ Para el resto de perfiles: $\sigma_{máx} t_i = \left(N_{Ed,1}/A_1 + M_{Ed,1}/W_{el,1}\right) t_1 \leq 2\, t_0 \left(f_{y0}/\sqrt{3}\right)/\gamma_{M5}$ donde t_1 es el ala o el espesor de pared del perfil transversal en I, en H o RHS	
Rango de validez	Coeficiente k_p
Además de los límites dados en la tabla A26.7.1: $\beta \geq 0{,}4$ y $\eta \leq 4$ donde $\beta = b_1/d_0$ y $\eta = h_1/d_0$	Para $n_p > 0$ (compresión): $k_p = 1 - 0{,}3 n_p (1 + n_p)$ s i$k_p \leq 1{,}0$ Para $n_p \leq 0$ (tracción): $k_p = 1{,}0$

(3) El momento de cálculo $M_{i,Ed}$, puede tomarse como el valor en el punto donde el eje del elemento de arriostramiento se encuentra con la cara del cordón.

(4) El momento resistente de cálculo en el plano de la unión y momento resistente de cálculo fuera del plano de la unión $M_{i,Rd}$, deberán obtenerse de la tabla A26.7.3, la tabla A26.7.4 o de la tabla A26.7.5.

(5) Los tipos especiales de uniones soldadas indicados en la tabla A26.7.6 deberán cumplir con los criterios de cálculo apropiados, especificados, para cada tipo, en dicha tabla.

(6) Los valores del coeficiente k_g que se emplea en la tabla A26.7.2 para uniones en K, N y KT, se dan en la figura A26.7.6. El coeficiente k_g se emplea tanto para uniones con holgura como para uniones con solape, adoptando $g$para ambas y empleando los valores negativos de g para representar el solape q, como se define en la figura A26.1.3(b).

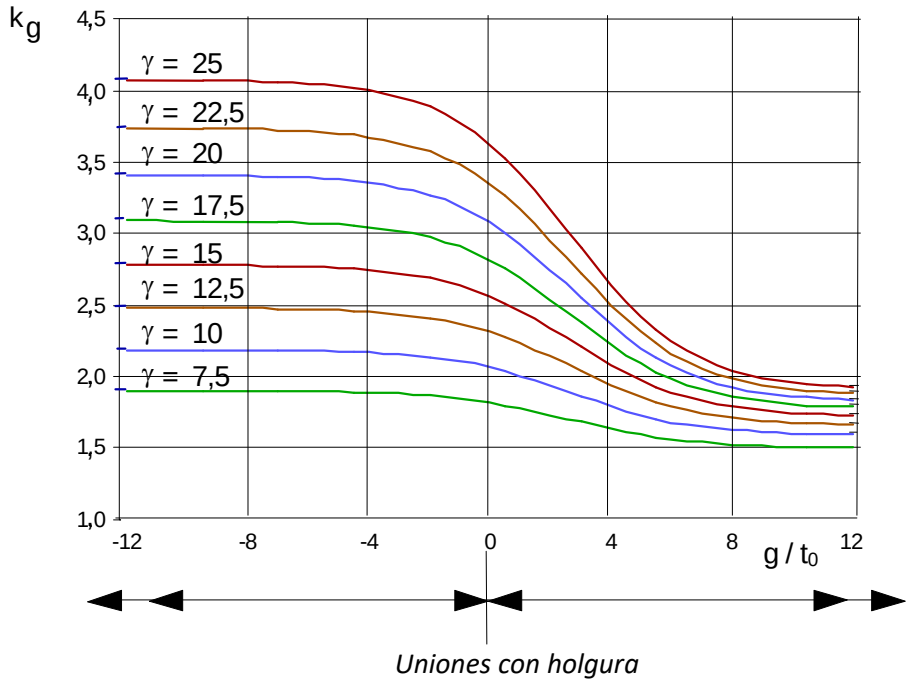


Figura A26.7.6 Valores del coeficiente k_g a emplear en la tabla A26.7.2

Tabla A26.7.5 Momentos resistentes de cálculo en uniones soldadas entre elementos de arriostramiento de PTC y cordones de PTC

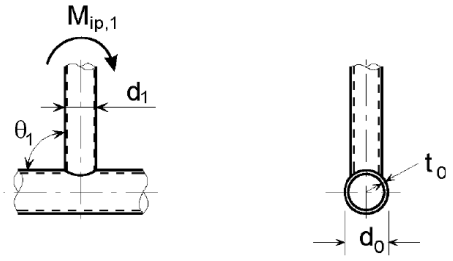
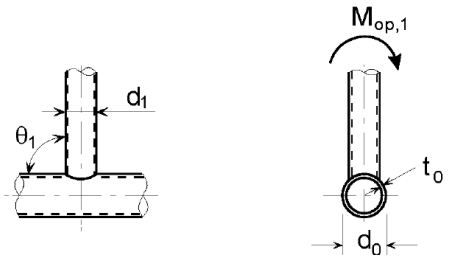
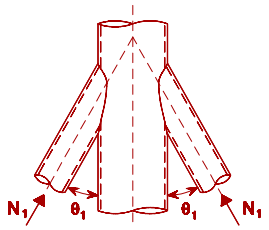
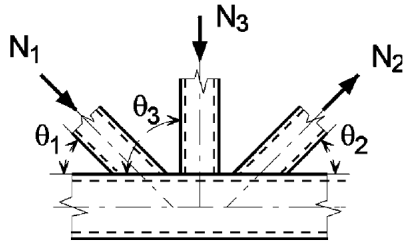
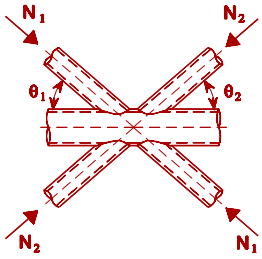
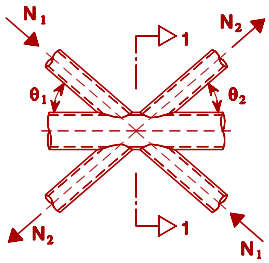
Rotura de la cara del cordón - Uniones en T, X, e Y	
	$M_{ip,1,Rd} = 4{,}85 \frac{f_{y0} t_0^2 d_1}{sen\,\theta_1} \sqrt{\gamma}\,\beta k_p / \gamma_{M5}$
Rotura de la cara del cordón tubular - Uniones en K, N, T, X, e Y	
	$M_{op,1,Rd} = \frac{f_{y0} t_0^2 d_1}{sen\,\theta_1} \frac{2{,}7}{1-0{,}81\beta} k_p / \gamma_{M5}$
Fallo por punzonamiento - Uniones en K y N con holgura y uniones en T, X e Y	
Cuando $d_1 \le d_0 - 2t_0$: $M_{ip,1,Rd} = \frac{f_{y0} t_0 d_1^2}{\sqrt{3}} \frac{1 + 3sen\,\theta_1}{4sen^2\theta_1} / \gamma_{M5}$ $M_{op,1,Rd} = \frac{f_{y0} t_0 d_1^2}{\sqrt{3}} \frac{3 + sen\,\theta_1}{4sen^2\theta_1} / \gamma_{M5}$	
Factor k_p	
Para $n_p > 0$ (compresión): $k_p = 1 - 0{,}3\, n_p (1 + n_p)$ si $k_p \le 1{,}0$ Para $n_p \le 0$ (tracción): $k_p = 1{,}0$	

Tabla A26.7.6 Criterios de cálculo para tipos especiales de uniones soldadas entre elementos de arriostramiento de PTC y cordones de PTC

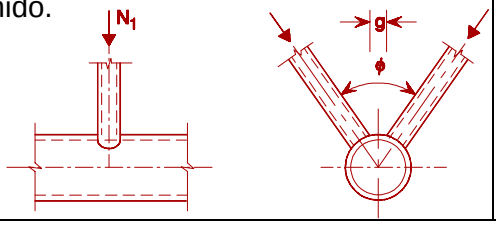
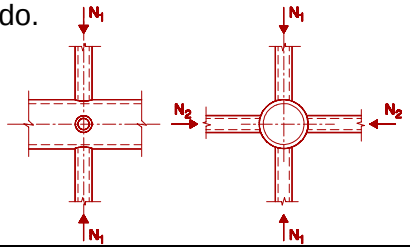
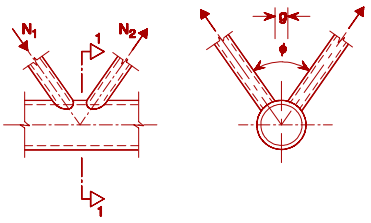
Tipo de unión	Criterios de cálculo
Los esfuerzos pueden ser de tracción o de compresión, pero deben actuar en la misma dirección en ambos elementos. 	$N_{1,Ed} \leq N_{1,Rd}$ donde $N_{1,Rd}$ es el valor de $N_{1,Rd}$ para una unión en X conforme con la tabla A26.7.2.
Elementos 1 y 3 se encuentran siempre comprimidos y el elemento 2 siempre traccionado. 	$N_{1,Ed}\,\text{sen}\theta_1 + N_{3,Ed}\,\text{sen}\theta_3 \leq N_{1,Rd}\,\text{sen}\theta_1$ $N_{2,Ed}\,\text{sen}\theta_2 \leq N_{1,Rd}\,\text{sen}\theta_1$ Donde $N_{1,Rd}$ es el valor de $N_{1,Rd}$ para una unión en K de acuerdo con la tabla A26.7.2. pero con $\frac{d_1}{d_0}$ sustituido por: $\frac{d_1 + d_2 + d_3}{3d_0}$
Todos los elementos de arriostramiento deberán estar siempre, o bien comprimidos, o bien traccionados. 	$N_{1,Ed}\,\text{sen}\theta_1 + N_{2,Ed}\,\text{sen}\theta_2 \leq N_{x,Rd}\,\text{sen}\theta_x$ donde $N_{x,Rd}$ es el valor de $N_{x,Rd}$ para una unión en X de acuerdo con la tabla A26.7.2., siendo $N_{x,Rd}\,\text{sen}\theta_x$ el mayor valor de: $\lvert N_{1,Rd}\,\text{sen}\theta_1 \rvert$ y $\lvert N_{2,Rd}\,\text{sen}\theta_2 \rvert$
El elemento 1 se encuentra siempre comprimido y el 2, siempre traccionado. 	$N_{i,Ed} \leq N_{i,Rd}$ donde $N_{1,Rd}$ es el valor de $N_{1,Rd}$ para una unión en K de acuerdo con la tabla A26.7.2. En uniones espaciadas o con holgura, en la sección 1-1 del cordón tubular de la figura, debe cumplirse además: $\left[\frac{N_{0,Ed}}{N_{pl,0,Rd}}\right]^2 + \left[\frac{V_{0,Ed}}{V_{pl,0,Rd}}\right]^2 \leq 1{,}0$

7.4.3 Uniones espaciales

(1) En una unión espacial, deberán satisfacerse los criterios de cálculo dados en 7.4.2, para cada uno de los planos, empleando las resistencias de cálculo reducidas obtenidas según el apartado 7.4.3(2).

(2) Las resistencias de cálculo para cada plano de una unión espacial deberán determinarse aplicando el coeficiente de reducción μ apropiado, dado en la tabla A26.7.7 para la resistencia de la unión plana correspondiente, calculada de acuerdo con el apartado 7.4.2, empleando la fuerza del cordón apropiada para k_p.

Tabla A26.7.7 Coeficientes de reducción para uniones espaciales

Tipo de unión	Coeficiente de reducción μ
Unión en TT	$60° \le \varphi \le 90°$
El elemento 1 puede estar traccionado o comprimido. 	$\mu = 1{,}0$
Unión en XX	
Los elementos 1 y 2 pueden estar traccionados o comprimidos. $N_{2,Ed}/N_{1,Ed}$ es negativo si un elemento está traccionado y otro comprimido. 	$\mu = 1 + 0{,}33 N_{2,Ed} / N_{1,Ed}$ teniendo en cuenta el signo de $N_{1,Ed}$ y $N_{2,Ed}$ donde: $\lvert N_{2,Ed} \rvert \le \lvert N_{1,Ed} \rvert$
Unión en KK	$60° \le \varphi \le 90°$
El elemento 1 está siempre comprimido y el elemento 2 siempre traccionado. 	$\mu = 0{,}9$ Siempre que, en uniones con holgura, en la sección 1-1 del cordón se cumpla: $\left[\frac{N_{0,Ed}}{N_{pl,0,Rd}}\right]^2 + \left[\frac{V_{0,Ed}}{V_{pl,0,Rd}}\right]^2 \le 1{,}0$

7.5 Uniones soldadas entre elementos de arriostramiento de PTC o PTR y cordones de PTR

7.5.1 Generalidades

(1) Siempre que la geometría de las uniones esté dentro del rango de validez dado en la tabla A26.7.8, las resistencias de cálculo de las uniones soldadas entre los elementos de arriostramiento con perfiles tubulares y los elementos con perfiles tubulares cuadradas o rectangulares, pueden determinarse empleando los apartados 7.5.2 y 7.5.3.

(2) Para uniones dentro del rango de validez dado en la tabla A26.7.8, únicamente es necesario considerar los criterios de cálculo recogidos por la tabla correspondiente. La resistencia de cálculo de una unión deberá tomarse como el mínimo valor entre todos los criterios aplicables.

(3) Para uniones fuera del rango de validez dado en la tabla A26.7.8, deberán considerarse todos los modos de fallo dados en el apartado 7.2.2. Además, deberán tenerse en cuenta los momentos hiperestáticos en las uniones causados por su rigidez al giro.

Tabla A26.7.8 Rango de validez para uniones soldadas entre elementos de arriostramiento de PHR y PHC, y cordones de PHR

Tipo de unión	Parámetros de unión [$i = 1 \; o \; 2, j =$ $arriostramientos \; solapados$]					
	b_i/b_0 o d_i/b_0	b_i/b_0 y h_i/t_i o d_i/t_i		h_0/b_0 o h_i/b_i	b_0/t_0 o h_0/t_0	Holgura o solape b_i/b_j
		Compresión	Tracción			
T, Y o X	$b_i/b_0 \geq 0{,}25$	$b_i/t_i \leq 35$ y $h_i/t_i \leq 35$ y Clases 1 y 2	$b_i/t_i \leq 35$ y $h_i/t_i \leq 35$	$\geq 0{,}5$ si $\leq 2{,}0$	≤ 35 y Clase 2	-
K con holgura N con holgura	$b_i/b_0 \geq 0{,}35$ y $\geq 0{,}1 + 0{,}01 \; b_0/t_0$				≤ 35 y Clase 2	$g/b_0 \geq 0{,}5(1-\beta)$ si $\leq 1{,}5(1-\beta)$ [1] y como mínimo $g \geq t_1 + t_2$
K con solape N con solape	$b_i/b_0 \geq 0{,}25$	Clase 1			Clase 2	$25\% \leq \lambda_{ov} \leq \lambda_{ov,lim}$ [2] y $b_i/b_j \leq 0{,}75$
Elemento de arriostramiento circular	$d_i/b_0 \geq 0{,}4$ si $\leq 0{,}8$	Clase 1	$d_i/t_i \leq 50$	Como anteriormente, pero d_i reemplazando b_i y d_j reemplazando b_j.		

[1] Si $g/b_0 > 1{,}5(1-\beta)$ y $g > t_1 + t_2$ se tratará la unión como dos T separadas o en Y.

[2] $\lambda_{ov,lim} = 60\%$ en el caso de que la zona oculta del elemento de arriostramiento solapado no esté soldada, y el 80% en el caso de que la zona oculta del elemento de arriostramiento esté soldada. Si el solape supera $\lambda_{ov,lim}$ o si los elementos de arriostramiento son secciones rectangulares con $h_i < b_1$ y/o $h_j < b_j$, la conexión entre los elementos de arriostramiento y la cara del cordón tubular debe comprobarse a cortante.

7.5.2 Uniones planas

7.5.2.1 Uniones sin reforzar

(1) En los elementos de arriostramiento sometidos únicamente a axiles, el esfuerzo axil de cálculo $N_{i,Ed}$, no deberá superar la resistencia de cálculo de la unión soldada $N_{i,Ed}$ determinada a partir del apartado 7.5.2.1(2) ó 7.5.2.1(4), según corresponda.

(2) Cuando la geometría de las uniones se encuentra dentro del rango de validez dado en la tabla A26.7.8 y además cumple las condiciones dadas en la tabla A26.7.9, en las uniones soldadas entre elementos de arriostramiento de perfiles tubulares cuadrados o circulares y cordones de perfiles tubulares cuadrados, pueden determinarse las resistencias de cálculo axil a partir de las expresiones dadas en la tabla A26.7.10.

(3) Para uniones dentro del rango de validez de la tabla A26.7.9, los únicos criterios de cálculo que deben considerarse son la rotura de la cara del cordón y la de los elementos de arriostramiento, considerando el ancho eficaz reducido. La resistencia de cálculo a considerar será el mínimo valor de esos dos criterios.

NOTA: La resistencia de cálculo para uniones entre elementos de arriostramiento de perfiles tubulares y elementos con un perfil tubular cuadrado dados en la tabla A26.7.10, ha sido simplificada, omitiéndose los criterios de cálculo que nunca serán críticos si se está dentro del rango de validez de la tabla A26.7.9.

(4) Las resistencias de cálculo de algunas uniones soldadas sin reforzar entre elementos de arriostramiento con PTC o PTR y cordones de PTR, que se encuentran en el rango de validez de la tabla A26.7.8, puede determinarse empleando las expresiones dadas en la tabla A26.7.10, A26.7.11, A26.7.12 ó A26.7.13, según corresponda. Para uniones reforzadas véase 7.5.2.2.

Tabla A26.7.9 Condiciones adicionales para el empleo de la tabla A26.7.10

Tipo de elemento de arriostramiento	Tipo de unión	Parámetros de unión	
Perfil tubular cuadrado	T, Y o X	$b_i/b_0 \leq 0{,}85$	$b_0/t_0 \geq 10$
	En K o en N con holgura	$0{,}6 \leq \frac{b_1 + b_2}{2b_1} \leq 1{,}3$	$b_0/t_0 \geq 15$
Perfil tubular circular	T, Y o X		$b_0/t_0 \geq 10$
	En K o en N con holgura	$0{,}6 \leq \frac{d_1 + d_2}{2d_1} \leq 1{,}3$	$b_0/t_0 \geq 15$

Tabla A26.7.10 Resistencias de cálculo de las uniones soldadas entre perfiles tubulares cuadrados o circulares

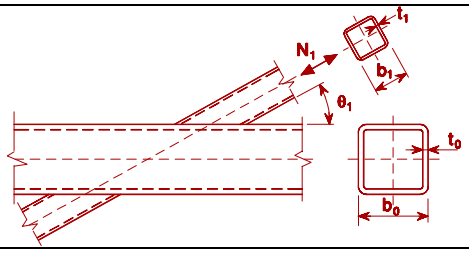
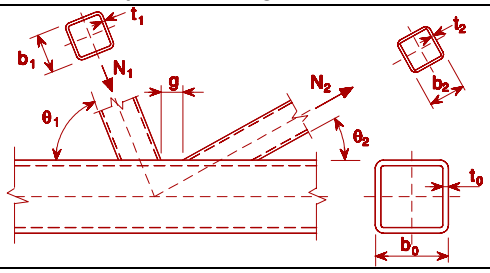
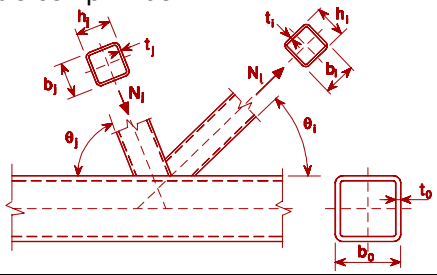
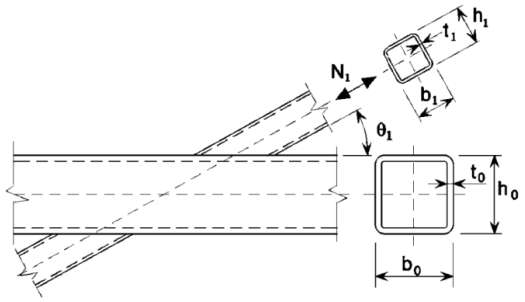
Tipo de unión	Resistencia de cálculo [i = 1 ó 2, j = elemento de arriostramiento solapado]
Uniones en T, Y y X	Rotura de la cara del elemento tubular $\beta \le 0{,}85$
	$N_{1,Rd} = \dfrac{k_n f_{y0} t_0^{\,2}}{(1-\beta) sen\theta_1}\left(\dfrac{2\beta}{sen\theta_1} + 4\sqrt{1-\beta}\right)/\gamma_{M5}$
Uniones en K y N con holgura	Rotura de la cara del elemento tubular $\beta \le 1{,}0$
	$N_{i,Rd} = \dfrac{8{,}9\gamma^{0,5} k_n f_{y0} t_0^2}{sen\theta_i}\left(\dfrac{b_1+b_2}{2b_0}\right)/\gamma_{M5}$
Uniones en K y N con solape *)	Rotura del elemento de arriostramiento $25\% \le \lambda_{ov} < 50\%$
El elemento i o j pueden estar traccionado o comprimido, pero uno deberá estar traccionado y el otro comprimido. 	$N_{i,Rd} = f_{yi} t_i \left(b_{eff} + b_{e,ov} + 2h_i \dfrac{\lambda_{ov}}{50} - 4t_i\right)/\gamma_{M5}$
	Rotura del elemento de arriostramiento $50\% \le \lambda_{ov} < 80\%$
	$N_{i,Rd} = f_{yi} t_i \left[b_{eff} + b_{e,ov} + 2h_i - 4t_i\right]/\gamma_{M5}$
	Rotura del elemento de arriostramiento $\lambda_{ov} \ge 80\%$
	$N_{i,Rd} = f_{yi} t_i \left[b_i + b_{e,ov} + 2h_i - 4t_i\right]/\gamma_{M5}$
Parámetros b_{eff} , $b_{e,ov}$ y k_n	
$b_{eff} = \dfrac{10}{b_0/t_0}\dfrac{f_{y0}t_0}{f_{yi}t_i} b_i$ si $b_{eff} \le b_i$	Para $n > 0$ (compresión): $k_n = 1{,}3 - \dfrac{0{,}4n}{\beta}$ si $k_n \le 1{,}0$
$b_{e,ov} = \dfrac{10}{b_j/t_j}\dfrac{f_{yj}t_j}{f_{yi}t_i} b_i$ si $b_{e,ov} \le b_i$	Para $n \le 0$ (tracción): $k_n = 1{,}0$
Para elementos de arriostramiento de sección circular, se multiplican las resistencias anteriores por $\pi/4$, sustituyendo b_1 y h_1 por d_1 y b_2 y h_2 por d_2.	
*) Solo es necesario comprobar el elemento de arriostramiento que solapa i. La eficiencia (es decir, la resistencia de cálculo de la unión dividida entre la resistencia plástica de cálculo del elemento de arriostramiento) del elemento de arriostramiento solapado j deberá considerarse igual al del elemento que recubre. Véase también la tabla A26.7.8.	

Tabla A26.7.11 Resistencias de cálculo al axil de uniones soldadas en T, X y en Y entre elementos de arriostramiento de PTR o PTC y cordones de PTR

Tipo de unión	Resistencia de cálculo[$i = 1$]
	Rotura de la cara del elemento tubular $\beta \le 0{,}85$
	$N_{1,Rd} = \dfrac{k_n f_{y0} t_0^2}{(1-\beta) sen\theta_1}\left(\dfrac{2\eta}{sen\theta_1} + 4\sqrt{1-\beta}\right)/\gamma_{M5}$
	Rotura de la cara lateral del cordón[1)] $\beta = 1{,}0$[2)]
	$N_{1,Rd} = \dfrac{k_n f_b t_0}{sen\,\theta_1}\left(\dfrac{2h_1}{sen\,\theta_1} + 10t_0\right)/\gamma_{M5}$
	Rotura del elemento de arriostramiento $\beta \ge 0{,}85$
	$N_{1,Rd} = f_{y1} t_1 (2h_1 - 4t_1 + 2b_{eff})/\gamma_{M5}$
	Fallo por punzonamiento $0{,}85 \le \beta \le (1 - 1/\gamma)$
	$N_{1,Rd} = \dfrac{f_{y0} t_0}{\sqrt{3} sen\theta_1}\left(\dfrac{2h_1}{sen\,\theta_1} + 2b_{e,p}\right)/\gamma_{M5}$

1) Para uniones en X con $\cos\theta_1 > h_1/h_0$ se toma como resistencia a esfuerzo cortante el menor valor entre ésta y la resistencia de cálculo a esfuerzo cortante de las caras laterales del cordón dada para uniones en K y en N con holgura en la tabla A26.7.12.

2) Para $0{,}85 \le \beta \le 1{,}0$ se interpolará linealmente entre el valor de la resistencia de cálculo para la rotura de la cara lateral del cordón con $\beta = 0{,}85$ y el valor del criterio dominante para la rotura de la cara lateral del cordón con $\beta = 1{,}0$ (abolladura de la cara lateral o por rotura del cordón por cortante).

Para elementos de arriostramiento circulares, se multiplican las resistencias anteriores por $\pi/4$, sustituyendo b_1 y h_1 por d_1 y b_2 y h_2 por d_2.

Para tracción:
$f_b = f_{y0}$
Para compresión:
$f_b = \chi f_{y0}$ (uniones en T e Y)
$f_b = 0{,}8\,\chi\, f_{y0}\, sen\,\theta_1$ (uniones en X)
donde χ es el coeficiente de reducción empleado en pandeo por flexión obtenido del Anejo 22, empleando su correspondiente curva de pandeo y una esbeltez normalizada $\bar{\lambda}$ determinada a partir de:

$$\bar{\lambda} = 3{,}46\frac{\left(\dfrac{h_0}{t_0} - 2\right)\sqrt{\dfrac{1}{sen\theta_1}}}{\pi\sqrt{\dfrac{E}{f_{y0}}}}$$

$b_{eff} = \dfrac{10}{b_0/t_0}\dfrac{f_{y0} t_0}{f_{yi} t_1} b_1$ si $b_{eff} \le b_1$

$b_{e,p} = \dfrac{10}{b_0/t_0} b_1$ si $b_{e.p} \le b_i$

para $n > 0$ (compresión): $k_n = 1{,}3 - \dfrac{0{,}4n}{\beta}$ si $k_n \le 1{,}0$

para $n \le 0$ (tracción): $k_n = 1{,}0$

Tabla A26.7.12 Resistencias de cálculo de uniones soldadas en K y N entre elementos de arriostramiento de PTR o PTC y cordones de PTR

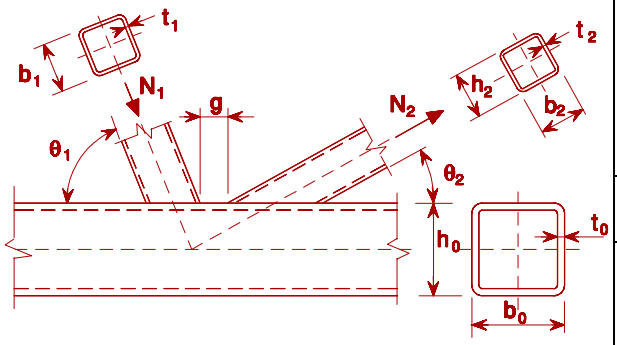
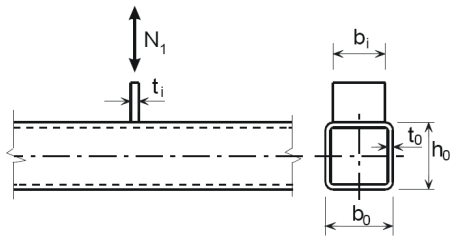
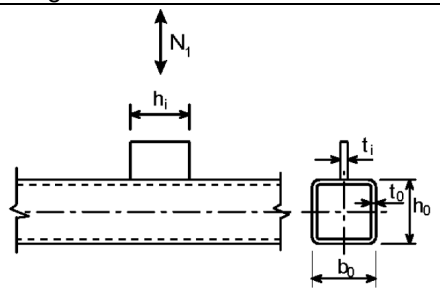
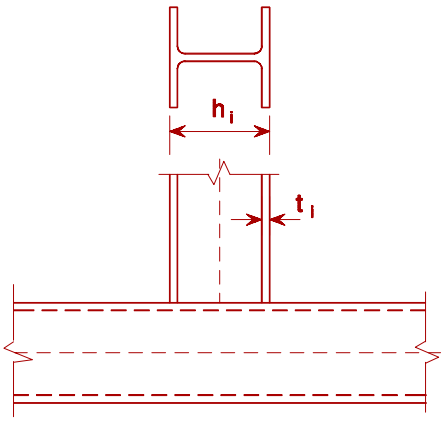
Tipo de unión	Resistencia de cálculo [i = 1 ó 2]
Uniones en K y N con holgura	Rotura de la cara del cordón tubular
	$N_{i,Rd} = \frac{8{,}9 k_n f_{y0} t_0^2 \sqrt{\gamma}}{sen\,\theta_i}\left(\frac{b_1 + b_2 + h_1 + h_2}{4 b_0}\right) / \gamma_{M5}$
	Rotura del cordón por cortante
	$N_{i,Rd} = \frac{f_{y0} A_v}{\sqrt{3} sen\,\theta_i} / \gamma_{M5}$ $N_{0,Rd} = \left[(A_0 - A_v) f_{y0} + A_v f_{y0} \sqrt{1 - (V_{Ed} / V_{pl,Rd})^2}\right] / \gamma_{M5}$
	Rotura del elemento de arriostramiento
	$N_{i,Rd} = f_{yi} t_i (2h_i - 4t_i + b_i + b_{eff}) / \gamma_{M5}$
	Fallo por punzonamiento $\beta \le (1 - 1/\gamma)$
	$N_{i,Rd} = \frac{f_{y0} t_0}{\sqrt{3} sen\,\theta_i}\left(\frac{2h_i}{sen\,\theta_i} + b_i + b_{e,p}\right) / \gamma_{M5}$
Uniones en K y N con solape	Como en la tabla A26.7.10.
Para arriostramientos circulares, se multiplican las resistencias anteriores por $\pi/4$, sustituyendo b_1 y h_1 por d_1 y b_2 y y h_2 por d_2, excepto para la resistencia a esfuerzo cortante del cordón.	
$A_v = (2h_0 + \alpha b_0) t_0$ para un elemento de arriostramiento de sección cuadrada o rectangular: $\alpha = \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{4g^2}{3t_0^2}}}$ donde g es la holgura, véase la figura A26.1.3(a). Para elementos de arriostramiento circulares: $\alpha = 0$	$b_{eff} = \frac{10}{b_0 / t_0}\frac{f_{y0} t_0}{f_{yi} t_i} b_i$ pero $b_{eff} \le b_i$ $b_{e,p} = \frac{10}{b_0 / t_0} b_i$ pero $b_{e.p} \le b_i$ para $n > 0$ (compresión): $k_n = 1{,}3 - \frac{0{,}4n}{\beta}$ pero $k_n \le 1{,}0$ para $n \le 0$ (tracción): $k_n = 1{,}0$

Tabla 7.13 Resistencias de cálculo de uniones soldadas entre cartelas o perfiles en I o en H y cordones de PTR

Chapa transversal	Rotura de la cara del cordón tubular $\beta \leq 0{,}85$
	$N_{1,Rd} = k_n f_{y0} t_0^2 \frac{2+2{,}8\beta}{\sqrt{1-0{,}9\beta}} / \gamma_{M5}$ *)
	Rotura de la cara lateral del cordón cuando $b_1 \geq b_0 - 2t_0$
	$N_{1,Rd} = k_n f_{y0} t_0 (2t_1 + 10t_0) / \gamma_{M5}$
	Fallo por punzonamiento cuando $b_1 \leq b_0 - 2t_0$
	$N_{1,Rd} = \frac{f_{y0} t_0}{\sqrt{3}} (2t_1 + 2b_{e,p}) / \gamma_{M5}$
Chapa longitudinal	Rotura de la cara del cordón tubular
 $t_1/b_0 \leq 0{,}2$	$N_{1,Rd} = k_m f_{y0} t_0^2 \left(2h_1 / b_0 + 4\sqrt{1 - t_1 / b_0}\right) / \gamma_{M5}$
Perfil en I o H	
	Como aproximación del lado de la seguridad, si $\eta \geq 2\sqrt{1-\beta}$, para un perfil en I o H, $N_{1,Rd}$ puede suponerse igual a la suma de las resistencias de cálculo de dos chapas transversales de dimensiones similares a las alas del perfil en I o H, determinadas como se especifica anteriormente. Si $\eta < 2\sqrt{1-\beta}$, deberá hacerse una interpolación lineal entre los supuestos: una única chapa y dos chapas. $M_{ip,1,Rd} = N_{1,Rd} (h_1 - t_1)$ $N_{1,Rd}$ es la capacidad de un ala; β es la relación entre el ancho del ala del elemento de arriostramiento en I o H y la anchura del cordón de RHS.
Rango de validez	
Además de los límites dados en la tabla A26.7.8: $0{,}5 \leq \beta \leq 1{,}0$ ó $b_0/t_0 \leq 30$	
Parámetros b_{eff}, $b_{e,p}$ y k_m	
$b_{eff} = \frac{10}{b_0/t_0} \frac{f_{y0} t_0}{f_{y1} t_1} b_1$ si $b_{eff} \leq b_i$	para $n > 0$ (compresión): $k_m = 1{,}3(1-n)$ si $k_m \leq 1{,}0$
$b_{e,p} = \frac{10}{b_0/t_0} b_1$ si $b_{e,p} \leq b_i$	para $n \leq 0$ (tensión): $k_m = 1{,}0$
*) Las conexiones con soldaduras en ángulo deberán calcularse de acuerdo con el apartado 4.10.	

(5) Las conexiones con elementos de arriostramiento sometidas a flexión compuesta deberán cumplir:

$$\frac{N_{i,Ed}}{N_{i,Rd}} + \frac{M_{ip,i,Ed}}{N_{ip,i,Rd}} + \frac{M_{op,i,Ed}}{M_{op,i,Rd}} \leq 1{,}0 \qquad (7.4)$$

donde:

$M_{ip,i,Rd}$ es el momento resistente de cálculo dentro de su plano

$M_{ip,i,Ed}$ es el momento de cálculo dentro de su plano

$M_{op,i,Rd}$ es el momento resistente de cálculo fuera de su plano

$M_{op,i,Ed}$ es el momento de cálculo fuera de su plano.

(6) El momento resistente de cálculo $M_{i,Ed}$ puede tomarse como el valor en el punto, donde el eje del elemento de arriostramiento se encuentra con la cara del cordón tubular.

(7) Para uniones sin reforzar, los momentos resistentes de cálculo dentro y fuera del plano $M_{i,Rd}$ deberán obtenerse a partir de las tablas A26.7.13 ó A26.7.14, según corresponda. Para uniones reforzadas véase el apartado 7.5.2.2.

(8) Los tipos especiales de uniones soldadas indicadas en las tablas A26.7.15 y A26.7.16, deberán satisfacer los criterios de cálculo apropiados para cada tipo de tabla.

7.5.2.2 Uniones reforzadas

(1) Pueden emplearse varios tipos de uniones reforzadas. El tipo más adecuado depende del modo de fallo que, en ausencia del refuerzo, gobierne la resistencia de cálculo de la unión.

(2) Las chapas de refuerzo de un ala pueden emplearse para aumentar la resistencia de la unión cuando la rotura se produce en la cara del cordón tubular, por punzonamiento o rotura del elemento de arriostramiento con el ancho eficaz reducido.

(3) Pueden emplearse un par de chapas laterales para reforzar la unión contra la rotura de la cara lateral del cordón o por fallo a cortante del cordón.

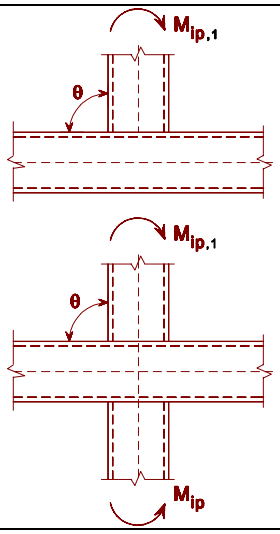
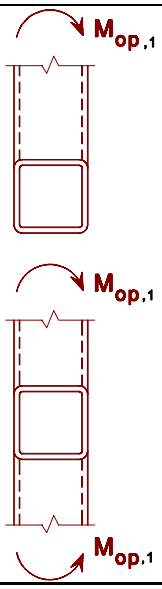
(4) Para evitar el solape parcial de los elementos de arriostramiento en una unión en K o en N, éstos pueden soldarse a un rigidizador vertical.

(5) Podrá emplearse también cualquier combinación de los tipos de refuerzo de uniones mencionados anteriormente.

(6) La calidad del acero empleado para el refuerzo no deberá ser menor que la del cordón.

(7) La resistencia de cálculo de las uniones reforzadas deberá determinarse empleando las tablas A26.17 y A26.7.18.

Tabla A26.7.14 Momentos resistentes de cálculo de uniones soldadas entre elementos de arriostramiento de PTR y cordones de PTR

Uniones en T y X	Resistencia de cálculo
Momentos en su plano (θ = 90°)	Rotura de la cara del elemento tubular $\beta \le 0{,}85$
	$M_{ip,1,Rd} = k_n f_{y0} t_0^2 h_1 \left(\frac{1}{2\eta} + \frac{2}{\sqrt{1-\beta}} + \frac{\eta}{1-\beta} \right) / \gamma_{M5}$
	Rotura de la cara lateral del cordón $0{,}85 < \beta \le 1{,}0$
	$M_{ip,1,Rd} = 0{,}5 f_{yk} t_0 (h_1 + 5t_0)^2 / \gamma_{M5}$ $f_{yk} = f_{y0}$ para uniones en T $f_{yk} = 0{,}8\, f_{y0}$ para uniones en X
	Rotura del elemento de arriostramiento $0{,}85 < \beta \le 1{,}0$
	$M_{ip,1,Rd} = f_{y1} \left(W_{pl,1} - (1 - b_{eff}/b_1)\, b_1 (h_1 - t_1)\, t_1 \right) / \gamma_{M5}$
Momentos fuera de su plano (θ = 90°)	Rotura de la cara del elemento tubular $\beta \le 0{,}85$
	$M_{op,1,Rd} = k_n f_{y0} t_0^2 \left(\frac{h_1(1+\beta)}{2(1-\beta)} + \sqrt{\frac{2b_0 b_1 (1+\beta)}{1-\beta}} \right) / \gamma_{M5}$
	Rotura de la cara lateral del cordón $0{,}85 < \beta \le 1{,}0$
	$M_{op,1,Rd} = f_{yk} t_0 (b_0 - t_0)(h_1 + 5t_0) / \gamma_{M5}$ $f_{yk} = f_{y0}$ para uniones en T $f_{yk} = 0{,}8\, f_{y0}$ para uniones en X
	Rotura del tubo por distorsión (solo uniones en T) *)
	$M_{op,1,Rd} = 2 f_{y0} t_0 \left(h_1 t_0 + \sqrt{b_0 h_0 t_0 (b_0 + h_0)} \right) / \gamma_{M5}$
	Rotura del elemento de arriostramiento $0{,}85 < \beta \le 1{,}0$
	$M_{op,1,Rd} = f_{y1} \left(W_{pl,1} - 0{,}5 (1 - b_{eff}/b_1)^2 b_1^{\,2} t_1 \right) / \gamma_{M5}$
Parámetros b_{eff} y k_n	
$b_{eff} = \frac{10}{b_0/t_0} \frac{f_{y0} t_0}{f_{y1} t_1} b_1$ si $b_{eff} \le b_1$	para $n > 0$ (compresión): $k_n = 1{,}3 - \frac{0{,}4n}{\beta}$ si $k_n \le 1{,}0$ para $n \le 0$ (tracción): $k_n = 1{,}0$

*) Este criterio no se aplica donde la rotura del tubo por distorsión se evite por otros medios.

Tabla A26.7.15 Criterios de cálculo para tipos especiales de uniones soldadas entre elementos de arriostramiento de PTR y cordones de PTR

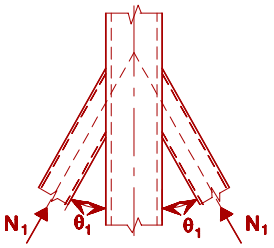
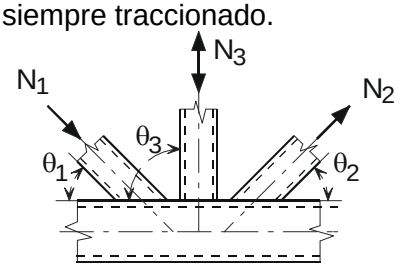
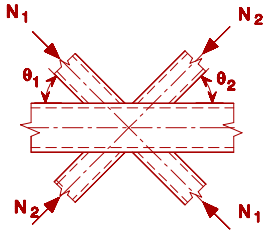
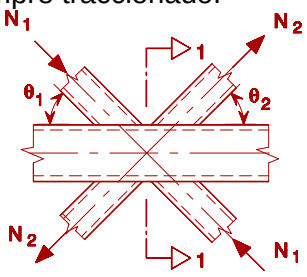
Tipo de unión	Criterios de cálculo
Los esfuerzos pueden ser de tracción o de compresión actuando en la misma dirección en ambos elementos. 	$N_{1,Ed} \leq N_{1,Rd}$ donde $N_{1,Rd}$ es el valor de $N_{1,Rd}$ para una unión en X a partir de la tabla A26.7.11.
El elemento 1 estará siempre comprimido y el 2 siempre traccionado. 	$N_{1,Ed}\,\text{sen}\theta_1 + N_{3,Ed}\,\text{sen}\theta_3 \leq N_{1,Rd}\,\text{sen}\theta_1$ $N_{2,Ed}\,\text{sen}\theta_2 \leq N_{1,Rd}\,\text{sen}\theta_1$ donde $N_{1,Rd}$ es el valor de $N_{1,Rd}$ para una unión en K a partir de la tabla A26.7.12, pero con $\frac{b_1 + b_2 + h_1 + h_2}{4b_0}$ sustituido por: $\frac{b_1 + b_2 + b_3 + h_1 + h_2 + h_3}{6b_0}$
Todos los elementos de arriostramiento deberán estar comprimidos o traccionados. 	$N_{1,Ed}\,\text{sen}\theta_1 + N_{2,Ed}\,\text{sen}\theta_2 \leq N_{x,Rd}\,\text{sen}\theta_x$ donde $N_{x,Rd}$ es el valor de $N_{x,Rd}$ para una unión en X a partir de la tabla A26.7.11, y $N_{x,Rd}\,\text{sen}\theta_x$ es el mayor de: $\lvert N_{1,Rd}\,\text{sen}\theta_1 \rvert$ y $\lvert N_{2,Rd}\,\text{sen}\theta_2 \rvert$
El elemento 1 estará siempre comprimido y el 2 siempre traccionado. 	$N_{i,Ed} \leq N_{i,Rd}$ donde $N_{i,Rd}$ es el valor de $N_{i,Rd}$ para una unión en K a partir de la tabla A26.7.12. En uniones con holgura, en la sección 1-1 del cordón de la figura deberá cumplir además: $\left[\frac{N_{0,Ed}}{N_{pl,0,Rd}}\right]^2 + \left[\frac{V_{0,Ed}}{V_{pl,0,Rd}}\right]^2 \leq 1{,}0$

Tabla A26.7.16 Criterios de cálculo para uniones soldadas acodadas y uniones con un cordón acodado de PTR

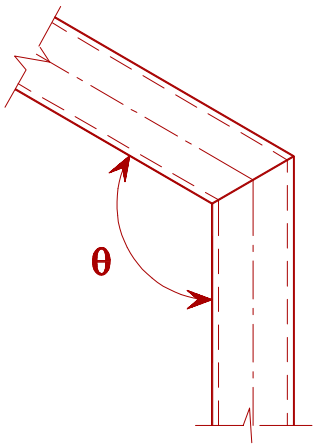
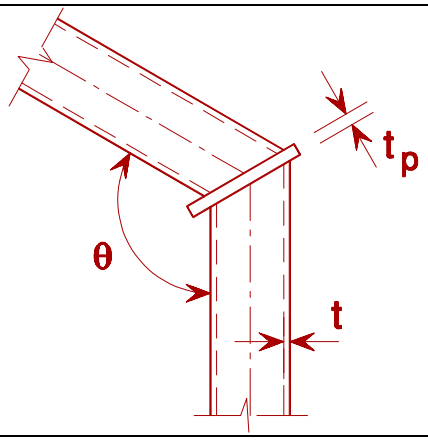
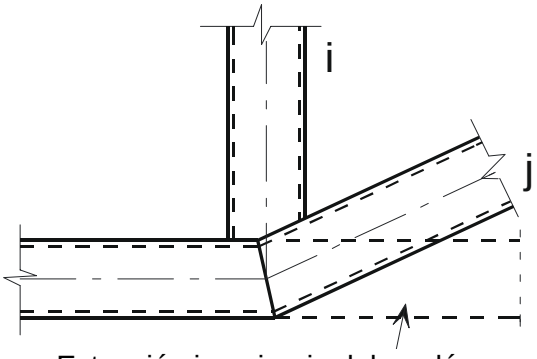
Tipo de unión	Criterios
Uniones soldadas acodadas1	
	La sección transversal debería ser de Clase 1 para flexión pura, véase el Anejo 22. $N_{ed} \leq 0{,}2N_{pl,Rd}$ y $\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} \leq \kappa$ Si $\theta \leq 90°$: $\kappa = \frac{3\sqrt{b_0/h_0}}{[b_0/t_0]^{0,8}} + \frac{1}{1+2b_0/h_0}$ Si $90° < \theta \leq 180°$: $\kappa = 1 - \left(\sqrt{2}\cos(\theta/2)\right)(1-\kappa_{90})$ donde κ_{90} es el valor de κ para $\theta = 90°$.
	$t_p \geq 1{,}5t$ y ≥ 10 mm $\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} \leq 1{,}0$
Cordón acodado	
	$N_{i,Ed} \leq N_{i,Rd}$ donde $N_{i,Rd}$ es el valor de $N_{i,Rd}$ para una unión en K o N con solape de acuerdo con la tabla A26.7.12.

Tabla A26.7.17 Resistencias de cálculo de uniones en T, Y y X soldadas entre elementos de arriostramiento de PTR o PTC y cordones de PTR

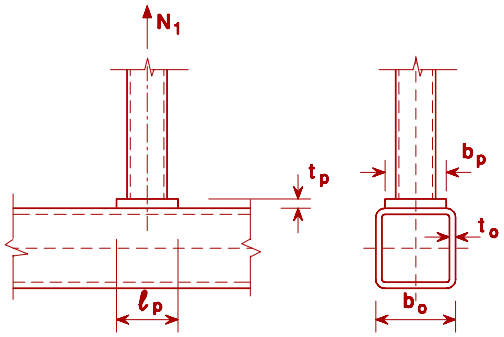
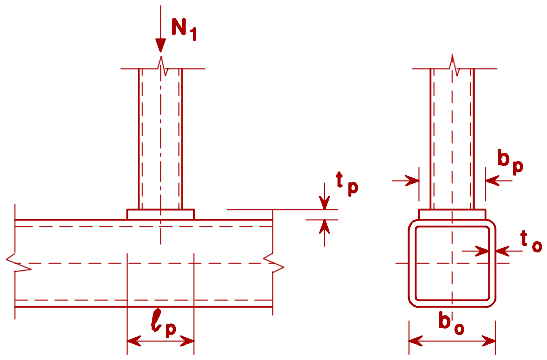
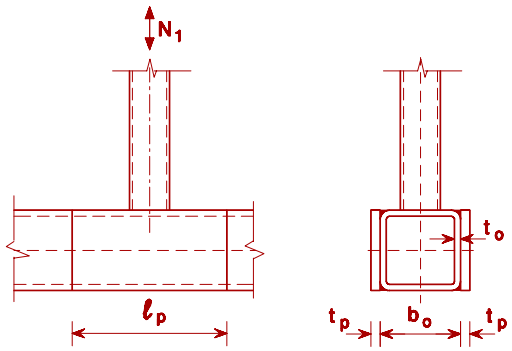
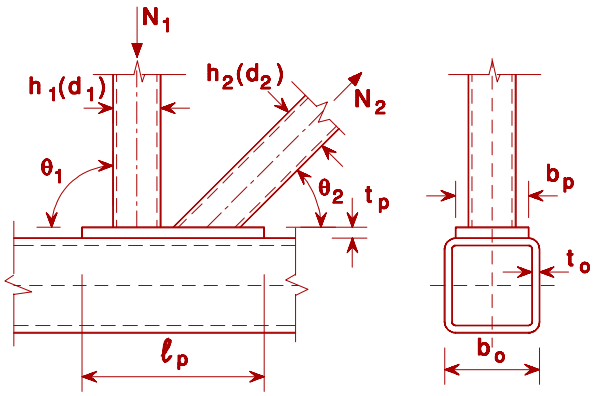
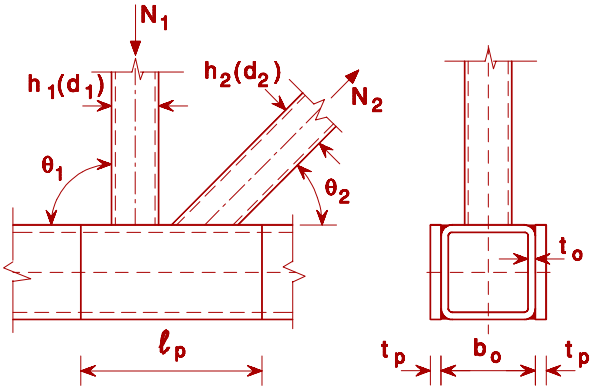
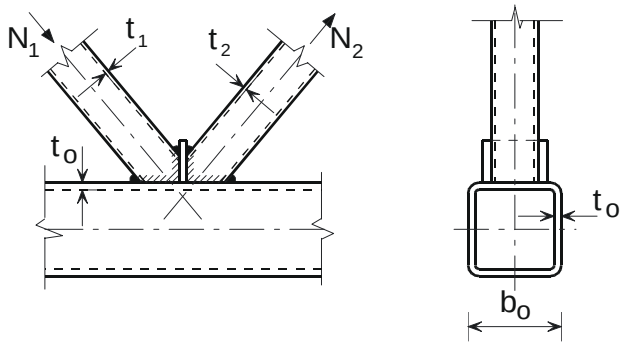
Tipo de unión	Resistencia de cálculo $[i = 1]$
Reforzada con chapas en el ala para evitar la rotura de la cara del cordón tubular, rotura del elemento de arriostramiento o fallo por punzonamiento.	
Tracción	$\beta_p \le 0{,}85$
	$\ell_p \ge \frac{h_1}{sen\theta_1} + \sqrt{b_p\left(b_p - h_1\right)}$ con $b_p \ge b_0 - 2t_0$ y $t_p \ge 2t_1$ $N_{1,Rd} = \frac{f_{yp} t_p^2}{\left(1 - b_1 / b_p\right) sen\,\theta_1} \cdot \ldots$ $\ldots \cdot \left(\frac{2h_1 / b_p}{sen\,\theta_1} + 4\sqrt{1 - b_1 / b_p} \right) / \gamma_{M5}$
Compresión	$\beta_p \le 0{,}85$
	$\ell_p \ge \frac{h_1}{sen\theta_1} + \sqrt{b_p\left(b_p - b_1\right)}$ con $b_p \ge b_0 - 2t_0$ y $t_p \ge 2t_1$ Se toma $N_{1,Rd}$ como el valor de $N_{1,Rd}$ para una unión en T, X o Y a partir de la tabla A26.7.11, pero con $k_n = 1{,}0$ y sustituyendo t_0 por t_p únicamente para la rotura de la cara del elemento tubular, la rotura del elemento de arriostramiento y fallo por punzonamiento.
Reforzada con chapas laterales para evitar el pandeo de la cara lateral del cordón o la rotura de la cara lateral del cordón por esfuerzo cortante.	
	$\ell_p \ge 1{,}5 h_1 / sen\,\theta_1$ *con* $t_p \ge 2t_1$ Se toma $N_{1,Rd}$ como el valor de $N_{1,Rd}$ para una unión en T, X o Y a partir de la tabla A26.7.11, pero sustituyendo t_0 por $(t_0 + t_p)$ únicamente para la abolladura de la cara lateral del cordón y rotura de la cara lateral del cordón por cortante.

Tabla A26.7.18 Resistencias de cálculo de uniones en K y en N soldadas y reforzadas entre elementos de arriostramiento de PTR o PTC y cordones de PTR

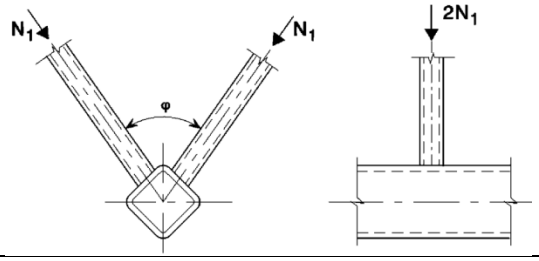
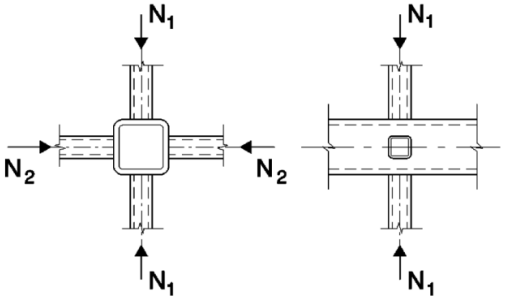
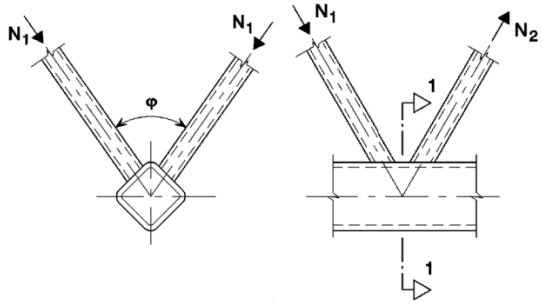
Tipo de unión	Resistencia de cálculo [i = 1 o 2]
Reforzada con chapasen el ala para evitar la rotura de la cara del elemento tubular, la rotura del elemento de arriostramiento o fallo por punzonamiento.	
	$\ell_p \geq 1{,}5\left(\frac{h_1}{sen\,\theta_1} + g + \frac{h_2}{sen\,\theta_2}\right)$ $b_p \geq b_0 - 2t_0$ $t_p \geq 2t_1$ y $2t_2$ Se toma $N_{i,Rd}$ como el valor de $N_{i,Rd}$ para una unión en K o N a partir de la tabla A26.7.12, pero sustituyendo t_0 por t_p únicamente para la rotura de la cara del cordón tubular, rotura del elemento de arriostramiento y fallo por punzonamiento.
Reforzada con un par de chapas laterales para evitar la rotura del cordón por cortante.	
	$\ell_p \geq 1{,}5\left(\frac{h_1}{sen\,\theta_1} + g + \frac{h_2}{sen\,\theta_2}\right)$ Se toma $N_{i,Rd}$ como el valor de $N_{i,Rd}$ para una unión en K o N a partir de la tabla A26.7.12, pero sustituyendo t_0 por $(t_0 + t_p)$ únicamente para rotura del cordón por cortante.
Reforzada con una placa vertical de rigidización entre los elementos de arriostramiento a causa del solape insuficiente.	
	$t_p \geq 2t_1$ y $2t_2$ Se toma $N_{i,Rd}$ como el valor de $N_{i,Rd}$ de una unión en K o N con solape a partir de la tabla A26.7.12 con λ_{ov}< 80%, pero sustituyendo b_j, t_j y f_{yj} por b_p, t_p y f_{yp} en la expresión de $b_{e,ov}$ recogida en la tabla A26.7.10.

7.5.3 Uniones espaciales

(1) En cada plano de una unión espacial, deberán satisfacerse los criterios de cálculo dados en el apartado 7.5.2 mediante el empleo de la resistencia reducida de cálculo obtenida a partir del apartado 7.5.3(2).

(2) La resistencia de cálculo para cada plano de una unión espacial, deberá determinarse aplicando el coeficiente de reducción μ, dado en la tabla A26.7.19, para la resistencia de la correspondiente unión plana, calculada de acuerdo con el apartado 7.5.2 con la carga apropiada del cordón en la situación de unión espacial.

Tabla A26.7.19 Coeficientes de reducción para uniones espaciales

Tipo de unión	Factor de reducción μ
Unión en TT	$60° \le \varphi \le 90°$
El elemento 1 puede estar traccionado o comprimido. 	$\mu = 0{,}9$
Unión en XX	
Los elementos 1 y 2 pueden estar traccionados o comprimidos. $N_{2,Ed}/N_{1,Ed}$ es negativo, si uno de los elementos está traccionado y el otro comprimido. 	$\mu = 0{,}9\left(1 + 0{,}33 N_{2,Ed} / N_{1,Ed}\right)$ teniendo en cuenta el signo de $N_{1,Ed}$ y $N_{2,Ed}$ donde $\lvert N_{2,Ed} \rvert \le \lvert N_{1,Ed} \rvert$
Unión en KK	$60° \le \varphi \le 90°$
	μ = 0,9 Siempre que, en uniones espaciadas, en la sección 1-1 del cordón de la figura deberá cumplirse además: $\left[\frac{N_{0,Ed}}{N_{pl,0,Rd}}\right]^2 + \left[\frac{V_{0,Ed}}{V_{pl,0,Rd}}\right]^2 \le 1{,}0$

7.6 Uniones soldadas entre elementos de arriostramiento con PTC o PTR y cordones con perfiles en I o H

(1) Siempre que la geometría de la unión esté dentro del rango de validez dado en la tabla A26.7.20, las resistencias de cálculo deberán determinarse empleando las expresiones dadas en la tabla A26.7.21 ó A26.7.22, según corresponda.

Tabla A26.7.20 Rango de validez para uniones soldadas entre elementos de arriostramiento con PTC o PTR y cordones con perfiles en I o H

Tipo de unión	Parámetros de unión [$i = 1$ ó $2, j = arriostramiento\ solapado$]					
	d_w/t_w	b_i/t_i y h_i/t_i ó d_i/t_i		h_i/b_i	b_0/t_f	b_i/b_j
		Compresión	Tracción			
X	Clase 1 y $\frac{d_w}{} \leq 400\ mm$	Clase 1 o 2 y $\frac{h_i}{t_i} \leq 35$	$\frac{h_i}{t_i} \leq 35$	$\geq 0{,}5$ si $\leq 2{,}0$	Clase 1 ó 2	-
T o Y	Clase 1 ó 2 y $\frac{d_w}{} \leq 400\ mm$					
K con holgura N con holgura		$\frac{b_i}{t_i} \leq 35$	$\frac{b_i}{t_i} \leq 35$	1,0		-
K con solape N con solape $25\% \leq \lambda_{ov} \leq \lambda_{ov,lim}$ [1)]		$\frac{d_i}{t_i} \leq 50$	$\frac{d_i}{t_i} \leq 50$	$\geq 0{,}5$ si $\leq 2{,}0$		$\geq 0{,}75$

[1)] $\lambda_{ov,lim} = 60\%$ en el caso de que la zona oculta del elemento de arriostramiento solapado no esté soldada, y el 80% en el caso de que la zona oculta del elemento de arriostramiento esté soldada. Si el solape supera $\lambda_{ov,lim}$ o si los elementos de arriostramiento son secciones rectangulares con $h_i < b_1$ y/o $h_j < b_j$, la conexión entre los elementos de arriostramiento y la cara del cordón tubular debe comprobarse a cortante.

(2) Para uniones dentro del rango de validez dado en la tabla A26.7.20, solo será necesario considerar los modos de fallo cubiertos en la tabla correspondiente. La resistencia de cálculo de una unión deberá tomarse como el mínimo valor de todos los criterios aplicables.

(3) Para uniones que estén fuera del rango de validez dado en la tabla A26.7.20, deberán considerarse todos los modos de fallo dados en el apartado 7.2.2. Adicionalmente, deberán tenerse en cuenta los momentos hiperestáticos causados en las uniones por su rigidez al giro.

(4) En las uniones de elementos de arriostramiento sometidos únicamente a axiles, el axil de cálculo $N_{i,Ed}$, no deberá superar el valor de la resistencia de cálculo de la unión soldada $N_{i,Rd}$ determinada a partir de la tabla A26.7.21.

(5) Las uniones de los elementos de arriostramiento sometidos a la combinación de axiles y flectores deberán cumplir:

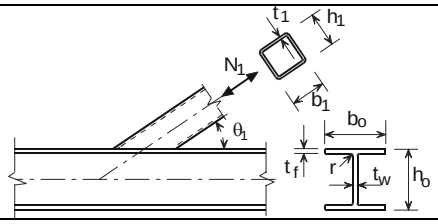
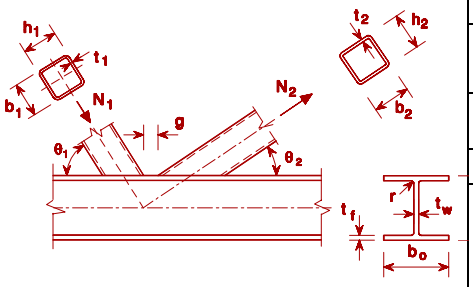
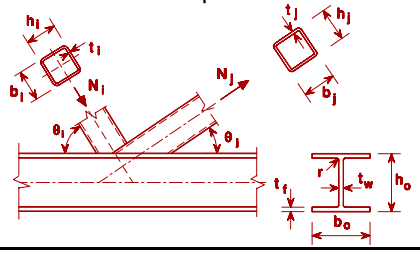
$$\frac{N_{i,Ed}}{N_{i,Rd}} + \frac{M_{ip,i,Ed}}{M_{ip,i,Rd}} \leq 1{,}0 \qquad (7.5)$$

donde:

$M_{ip,i,Rd}$ es el momento resistente de cálculo dentro de su plano

$M_{ip,i,Ed}$ es el momento de cálculo dentro de su plano.

Tabla A26.7.21 Resistencias de cálculo de uniones soldadas entre elementos de arriostramientos de PTR o PTC y cordones con perfiles en I o H

Tipo de unión	Resistencia de cálculo [i = 1 ó 2, j = arriostramiento solapado]	
Uniones en T, Y y X	Plastificación del alma del cordón	
	$N_{1,Rd} = \dfrac{f_{y0} t_w b_w}{sen\,\theta_1} / \gamma_{M5}$	
	Rotura del elemento de arriostramiento	
	$N_{1,Rd} = 2 f_{y1} t_1 p_{eff} / \gamma_{M5}$	
Uniones en K y N con holgura [i = 1 o 2]	Plastificación del alma del cordón	La rotura del elemento de arriostramiento no necesita comprobarse si: $g/t_f \le 20 - 28\beta$; $\beta \le 1{,}0 - 0{,}03\gamma$ donde $\gamma = b_0/2t_f$ y para PTC: $0{,}75 \le d_1/d_2 \le 1{,}33$ o para PTR: $0{,}75 \le b_1/b_2 \le 1{,}33$
	$N_{1,Rd} = \dfrac{f_{y0} t_w b_w}{sen\,\theta_1} / \gamma_{M5}$	
	Rotura del elemento de arriostramiento	
	$N_{i,Rd} = 2 f_{yi} t_i p_{eff} / \gamma_{M5}$	
	Rotura del cordón por cortante	
	$N_{i,Rd} = \dfrac{f_{y0} A_v}{\sqrt{3} sen\,\theta_i} / \gamma_{M5}$ $N_{0,Rd} = \left[(A_0 - A_v) f_{y0} + A_v f_{y0} \sqrt{1 - (V_{Ed}/V_{p1,Rd})^2} \right] / \gamma_{M5}$	
Uniones en K y N con solape*) [i = 1 o 2]	Rotura del elemento de arriostramiento 25% ≤ λ_{ov}< 50%	
Los elementos i y j pueden estar traccionados o comprimidos. 	$N_{i,Rd} = f_{yi} t_i \left(p_{eff} + b_{e,ov} + 2h_i \lambda_{ov}/50 - 4t_i \right) / \gamma_{M5}$	
	Rotura del elemento de arriostramiento 50% ≤ λ_{ov}< 80%	
	$N_{i,Rd} = f_{yi} t_i \left(p_{eff} + b_{e,ov} + 2h_i - 4t_i \right) / \gamma_{M5}$	
	Rotura del elemento de arriostramiento $\lambda_{ov} \ge 80\%$	
	$N_{i,Rd} = f_{yi} t_i \left(b_i + b_{e,ov} + 2h_i - 4t_i \right) / \gamma_{M5}$	
$A_v = A_0 - (2 - \alpha)\, b_0 t_f + (t_w + 2r)\, t_f$ Para elementos de arriostramientos de PTR: $\alpha = \sqrt{\dfrac{1}{\left(1 + 4g^2/(3t_f^2)\right)}}$ Para elementos de arriostramientos de PTC: α = 0	$p_{eff} = t_w + 2r + 7t_f f_{y0}/f_{yi}$ pero para uniones en T, Y, X y uniones en K y N con holgura: $p_{eff} \le b_i + h_i - 2t_i$ y para uniones en K y N con solape: $p_{eff} \le b_i$ $b_{e,ov} = \dfrac{10}{b_j/t_j} \dfrac{f_{yj} t_j}{f_{yi} t_i} b_i$ y $b_{e,ov} \le b_i$	$b_w = \dfrac{h_i}{sen\,\theta_i} + 5(t_f + r)$ y $b_w \le 2t_i + 10\,(t_f + r)$
Para elementos de arriostramientos de PTC, se multiplicarán las resistencias anteriores para rotura del arriostramiento por $\pi/4$ sustituyendo, b_1 y h_1 por d_1, y b_2 y h_2 por d_2, excepto para la resistencia a esfuerzo cortante del cordón. *) Solo es necesario comprobar el elemento de arriostramiento que solapa i. La eficiencia (es decir, la resistencia de cálculo de la unión dividida entre la resistencia plástica de cálculo del elemento de arriostramiento) del elemento de arriostramiento solapado j deberá tomarse igual al elemento de arriostramiento que solapa. Véase también la tabla A26.7.20.		

(6) El momento de cálculo $M_{i,Ed}$, puede tomarse como el valor en el punto donde el eje del elemento de arriostramiento se encuentra con la cara del cordón tubular.

(7) El momento resistente de cálculo en su plano $M_{ip,1,Rd}$, deberá obtenerse a partir de la tabla A26.7.22.

(8) Si se emplean rigidizadores en los tubos (véase la figura A26.7.7), la resistencia de cálculo a rotura del elemento de arriostramiento $N_{i,Rd}$ para uniones en T-, X-,Y-o K con holgura y uniones en N con holgura (tabla A26.7.22) se determinará como sigue:

$$N_{i,Rd} = 2f_{yi}t_i\left(b_{eff} + b_{eff,s}\right)/\gamma_{M5} \qquad (7.6)$$

donde:

$b_{eff} = t_w + 2r + 7t_f f_{y0}/f_{yi}$ si $\leq b_i + h_i - 2t_i$

$b_{eff,s} = t_s + 2a + 7t_f f_{y0}/f_{yi}$ si $\leq b_i + h_i - 2t_i$

$b_{eff} + b_{eff,s} \leq b_i + h_i - 2t_i$

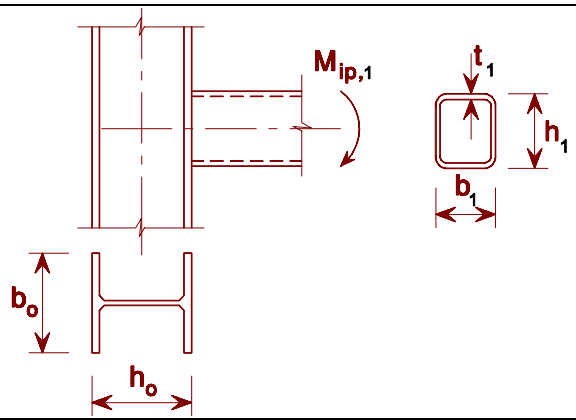
donde:

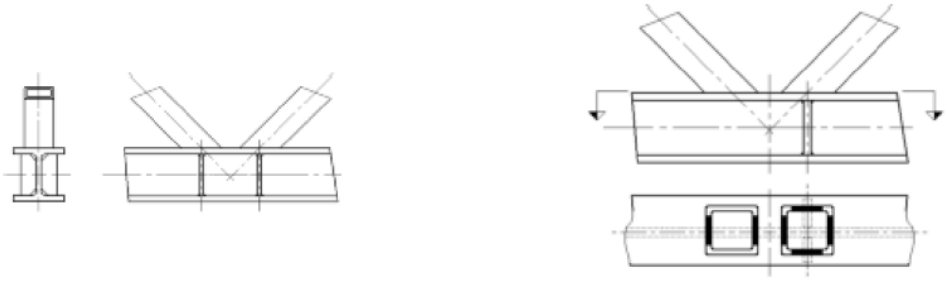
a es el espesor de la garganta de la soldadura del rigidizador, $2a$se sustituirá por a si se emplean soldaduras en ángulo solo a un lado

s hace referencia al rigidizador.

(9) Los rigidizadores deberán tener al menos el mismo espesor que el alma de la sección en I.

Tabla A26.7.22 Momentos resistentes de cálculo de uniones soldadas entre elementos de arriostramiento con perfiles tubulares rectangulares y cordones con perfiles en I o en H

<table>
<tr><th>Tipo de unión</th><th>Resistencia de cálculo [i = 1 ó 2, j = arriostramiento solapado]</th></tr>
<tr><td>Uniones en T e Y</td><td>Plastificación del alma del cordón</td></tr>
<tr><td rowspan="3">
</td><td>$M_{ip,1,Rd} = 0{,}5 f_{y0} t_w b_w \left(h_1 - t_1\right)/\gamma_{M5}$</td></tr>
<tr><td>Rotura del elemento de arriostramiento</td></tr>
<tr><td>$M_{ip,1,Rd} = f_{y1} t_1 p_{eff} h_z / \gamma_{M5}$</td></tr>
<tr><td colspan="2">Parámetros p_{eff} y b_w</td></tr>
<tr><td>$p_{eff} = t_w + 2r + 7t_f f_{y0} / f_{y1}$
si $p_{eff} \leq b_1 + h_1 - 2t_1$</td><td>$b_w = \dfrac{h_1}{sen\theta_1} + 5\left(t_f + r\right)$ si $b_w \leq 2t_1 + 10\left(t_f + r\right)$</td></tr>
</table>



Perímetro eficaz del arriostramiento, sin (izquierda) y con (derecha) rigidizadores

Figura A26.7.7 Rigidizadores para cordones con perfiles en I

7.7 Uniones soldadas entre elementos de arriostramiento de PTC o PTR y cordones de perfiles de sección en U

(1) Siempre que la geometría de las uniones esté dentro del rango de validez dado en la tabla A26.7.23, las resistencias de cálculo de las uniones soldadas entre elementos de arriostramiento con perfiles tubulares y cordones de secciones en U, pueden determinarse empleando la tabla A26.7.24.

(2) Deberán tenerse en cuenta los momentos hiperestáticos en las uniones causados por la rigidez a flexión.

(3) En una unión con holgura, la resistencia de cálculo de la sección transversal de un cordón $N_{0,Rd}$, deberá determinarse teniendo en cuenta el cortante transmitido por el cordón entre los elementos de arriostramientos, despreciando los momentos hiperestáticos asociados. Su comprobación deberá ser acorde con el Anejo 22.

Tabla A26.7.23 Rango de validez para uniones soldadas entre elementos de arriostramiento con PTC o PTR y cordones de sección en U

Tipo de unión	Parámetros de unión [$i = 1$ ó $2, j = arriostramiento\ superpuesto$]					
	b_i/b_0	b_i/t_i y h_i/t_i ód_i/t_i		h_i/b_i	b_0/t_0	Con holgura o con solape b_i/b_j
		Compresión	Tracción			
K con holgura N con holgura	$\geq 0{,}4$ y $b_0 \leq 400\ mm$	Clase 1 ó 2 y $\frac{h_i}{t_i} \leq 35$ $\frac{b_i}{t_i} \leq 35$ $\frac{d_i}{t_i} \leq 50$	$\frac{h_i}{t_i} \leq 35$ $\frac{b_i}{t_i} \leq 35$ $\frac{d_i}{t_i} \leq 50$	$\geq 0{,}5$ si $\leq 2{,}0$	Clase 1 ó 2	$0{,}5(1-\beta^*)$ $\leq g/b_0^* \leq 1{,}5(1-\beta^*)$ [1] y $g \geq t_1 + t_2$
K con solape N con solape	$\geq 0{,}25$ y $b_0 \leq 400\ mm$					$25\% \leq \lambda_{ov} < \lambda_{ov,lim}$ [2] $b_i/b_j \geq 0{,}75$

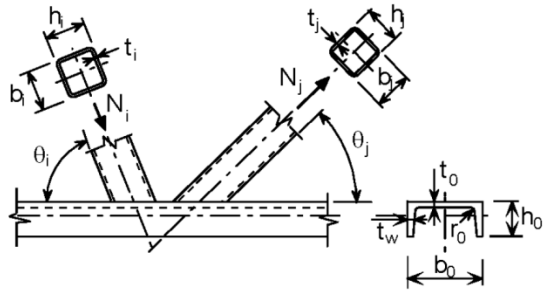
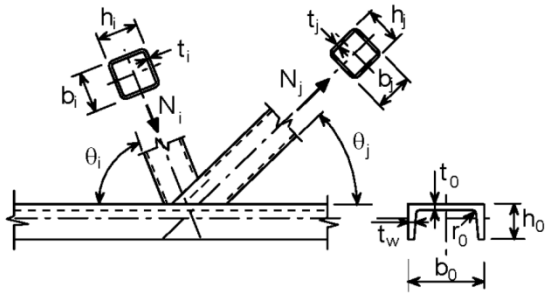
$\beta^* = b_1/b_0^*$

$b_0^* = b_0 - 2(t_w + r_0)$

1) Esta condición solo se aplicará cuando $\beta \leq 0{,}85$.

2) $\lambda_{ov,lim} = 60\%$ en el caso de que la zona oculta del elemento de arriostramiento solapado no esté soldada, y el 80% en el caso de que la zona oculta del elemento de arriostramiento esté soldada. Si el solape supera $\lambda_{ov,lim}$ o si los elementos de arriostramiento son secciones rectangulares con $h_i < b_i$ y/o $h_j < b_j$, la conexión entre los elementos de arriostramiento y la cara del cordón tubular debe comprobarse a cortante.

Tabla A26.7.24 Resistencias de cálculo para uniones soldadas entre elementos de arriostramiento con PTR o PTC y cordones con perfiles de sección en U

Tipo de unión	Resistencia de cálculo [i = 1 o 2, j = arriostramiento solapado]
Uniones en K y N con holgura	Rotura del elemento de arriostramiento
	$N_{i,Rd} = f_{yi} t_i \left(b_i + b_{eff} + 2h_i - 4t_i \right) / \gamma_{M5}$
	Rotura del cordón tubular
	$N_{i,Rd} = \dfrac{f_{y0} A_v}{\sqrt{3} sen\,\theta_i} / \gamma_{M5}$ $N_{0,Rd} =$ $\left[\left(A_0 - A_v \right) f_{y0} + A_v f_{y0} \sqrt{1 - \left(V_{Ed} / V_{pl,Rd} \right)^2} \right] / \gamma_{M5}$
Uniones en K y N con solape *)	Rotura del elemento de arriostramiento $25\% \le \lambda_{ov} < 50\%$
	$N_{i,Rd} = f_{yi} t_i \left(b_{eff} + b_{e,ov} + 2h_i \dfrac{\lambda_{ov}}{50} - 4t_i \right) / \gamma_{M5}$
	Rotura del elemento de arriostramiento $50\% \le \lambda_{ov} < 80\%$
	$N_{i,Rd} = f_{yi} t_i \left(b_{eff} + b_{e,ov} + 2h_i - 4t_i \right) / \gamma_{M5}$
	Rotura del elemento de arriostramiento $\lambda_{ov} \ge 80\%$
	$N_{i,Rd} = f_{yi} t_i \left(b_i + b_{e,ov} + 2h_i - 4t_i \right) / \gamma_{M5}$
$A_v = A_0 - (1 - \alpha)\, b_0^* t_0$ $b_0^* = b_0 - 2\,(t_w + r_0)$ Para PTR: $\alpha = \sqrt{\dfrac{1}{\left(1 + 4g^2 / 3t_f^{\,2} \right)}}$ Para PTC: $\alpha = 0$ $V_{pl,Rd} = \dfrac{f_{y0} A_v}{\sqrt{3}} / \gamma_{M5}$ $V_{Ed} = (N_{i,Ed}\ \text{sen}\ \theta_i)_{max}$	$b_{eff} = \dfrac{10}{b_0^* / t_0} \dfrac{f_{y0} t_0}{f_{yi} t_i} b_i$ si $b_{eff} \le b_i$ $b_{e,ov} = \dfrac{10}{b_j / t_j} \dfrac{f_{yj} t_j}{f_{yi} t_i} b_i$ si $b_{e,ov} \le b_i$
Para elementos de arriostramiento con PTC se multiplicarán las resistencias anteriores por $\pi/4$ sustituyendo b_1 y h_1 por d_1, y b_2 y h_2 por d_2, excepto para resistencia a esfuerzo cortante del cordón.	
*) Solo será necesario comprobar el elemento de arriostramiento que solapa *i*. La eficiencia (es decir, la resistencia de cálculo de la unión dividida por la resistencia plástica de cálculo del elemento de arriostramiento) del elemento de arriostramiento solapado *j,* deberá tomarse igual al elemento de arriostramiento que solapa.	